



Pengaruh Variasi Sudut Kampuh dan Kuat Arus Pengelasan Hasil Las SMAW Baja SS400 untuk Bahan Bejana Tekan terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan

Hanan Setia Abadi^{1*}, Subagiyo Subagiyo²

^{1,2} Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Alamat: Jl. Soekarno Hatta No.9, Jatimulyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur

Korespondensi penulis: hanansetiaabadi@gmail.com

Abstract. A pressure vessel is a closed container designed to store pressurized liquids or gases. Low-carbon steel is used as a material for pressure vessels that operate at low to moderate temperatures. One of the important aspects of manufacturing pressure vessels is the welding process. The welded area tends to be the weakest point due to exposure to high heat, which can lead to greater residual stress and potentially cause cracking. This study aims to evaluate the effect of variation in ample angle and current strength on mechanical properties, especially tensile strength and hardness, in order to determine the optimal amplitude angle and current strength. The research method applied is an experiment by conducting SMAW welding on SS400 steel using E7016 electrodes, with a single V ample angle variation of 55°, 60°, 65°, and strong welding current of 110 A, 120 A, and 130 A, then a tensile test and hardness test are carried out. The results show that the tensile strength of the raw material is 481.2 N/mm² with a hardness of 191.95 HVN. For the variation of the amputation angle, the highest tensile strength value was recorded at an angle of 55°, which was 567.471 N/mm², while the lowest was at an angle of 65°, which was 559.997 N/mm². The highest hardness value at a 65° angle reached 328.422 HVN, while the lowest at a 55° angle was 312.878 HVN. In terms of current strength variation, the highest tensile strength is obtained at 130 A which is 568.421 N/mm² and the lowest at 110 A is 552.339 N/mm². The highest hardness value is found at a current strength of 110 A, which is 343.411 HVN, and the lowest at a current strength of 130 A, which is 295.122 HVN. The optimal parameters were found at a yield angle of 55° with a tensile strength of 567.471 N/mm² and a hardness of 312.8 HVN and a current strength of 130 A with a tensile strength of 568.421 N/mm² and a hardness of 295.1 HVN.

Keywords: current strength, included angle, hardness, tensile strength

Abstrak. Bejana tekan adalah wadah tertutup yang dirancang untuk menyimpan cairan atau gas bertekanan. Baja karbon rendah digunakan sebagai material untuk bejana tekan yang beroperasi pada suhu rendah hingga sedang. Salah satu aspek penting dalam pembuatan bejana tekan adalah proses pengelasan. Area yang dilas cenderung menjadi titik terlemah karena terpapar panas tinggi, yang dapat menyebabkan tegangan sisa yang lebih besar dan berpotensi menimbulkan retak. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi sudut kampuh dan kuat arus terhadap sifat mekanik, khususnya kekuatan tarik dan kekerasan, guna menentukan sudut kampuh dan kuat arus yang optimal. Metode penelitian yang diterapkan adalah eksperimen dengan melakukan pengelasan SMAW pada baja SS400 menggunakan elektroda E7016, dengan variasi sudut kampuh V tunggal sebesar 55°, 60°, 65°, dan kuat arus las 110 A, 120 A, serta 130 A, kemudian dilakukan uji tarik dan uji kekerasan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik bahan baku adalah 481,2 N/mm² dengan kekerasan 191,95 HVN. Untuk variasi sudut kampuh, nilai kekuatan tarik tertinggi tercatat pada sudut 55° yaitu 567,471 N/mm², sedangkan terendah pada sudut 65° yaitu 559,997 N/mm². Nilai kekerasan tertinggi pada sudut kampuh 65° mencapai 328,422 HVN, sedangkan terendah pada sudut 55° adalah 312,878 HVN. Dalam hal variasi kuat arus, kekuatan tarik tertinggi diperoleh pada 130 A yaitu 568,421 N/mm² dan terendah pada 110 A yaitu 552,339 N/mm². Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada kuat arus 110 A yaitu 343,411 HVN dan terendah pada kuat arus 130 A yaitu 295,122 HVN. Parameter optimal ditemukan pada sudut kampuh 55° dengan kekuatan tarik sebesar 567,471 N/mm² dan kekerasan 312,8 HVN serta kuat arus 130 A dengan kekuatan tarik sebesar 568,421 N/mm² dan kekerasan 295,1 HVN.

Kata kunci: kekerasan, kekuatan tarik, kuat arus, sudut kampuh

1. LATAR BELAKANG

Efek dari perkembangan yang cepat membuat pemanfaatan sumber daya yang ada semakin efektif, salah satunya adalah penggunaan energi alternatif berupa biodiesel.

Biodiesel dapat dibuat dengan bahan baku minyak nabati berupa minyak sawit (Julianti et al., 2014). Pembuatan minyak sawit tentunya juga menghasilkan produk sampingan yang berupa limbah. Limbah hasil olahan minyak sawit dapat dimanfaatkan menjadi biodiesel yang salah satu tahapannya melalui perebusan menggunakan bejana tekan (Rodiawati et al., 2013).

Penggunaan baja karbon rendah dipilih karena memiliki sifat yang ulet dan mudah untuk dibentuk. Namun, penggunaan baja karbon rendah bukanlah solusi terbaik dalam pembuatan bejana tekan (*pressure vessel*), karena baja karbon rendah memiliki kepekaan keretakan las yang tinggi (Faizal & Umam, 2018). Bagian yang dilas merupakan bagian paling lemah karena mendapat panas tinggi sehingga terdapat tegangan sisa lebih besar yang bisa memicu terjadi retak atau *stress corrosion cracking* pada bejana tekan (Nitiswati & Haryanto, 2017). Pada pengelasan SMAW besar sudut kampuh dan kuat arus pada baja karbon rendah adalah dua parameter pengelasan yang menjadi penentu kualitas sambungan las yang baik. Semakin besar kuat arus dan sudut kampuh V pengelasan maka masukan panas juga meningkat, hal ini berakibat pada kenaikan keuletan sambungan las (Nugroho et al., 2022).

Studi kasus lapangan sebuah perusahaan di Kota Pasuruan yang bergerak di bidang Manufaktur Peralatan Industri (MPI), ditemukan cacat las pada sambungan pengelasan dalam pembuatan bejana tekan. Cacat las yang ditemukan ialah cacat las *porosity*, cacat las *crack*, cacat las *slag inclusion*, dan keretakan bagian dalam pengelasan yang ditemukan dengan pengujian X-Ray.

Berdasarkan pemaparan latar belakang di atas, terdapat adanya kesenjangan antara hasil sambungan las yang diharapkan dengan kondisi aktual di lapangan. Keadaan ini disebabkan karena kurang tepatnya pemilihan besar sudut kampuh dan kuat arus yang diterapkan pada proses pengelasan pembuatan bejana tekan.

Penelitian yang dilakukan oleh Huda Kholif Rahman dan Sunyoto berjudul “Pengaruh Arus SMAW terhadap Kekuatan Tarik dan Impak Baja Konstruksi IWF JIS G3101 SS400” dengan variasi kuat arus 150 A, 170 A, dan 190 A menggunakan sudut kampuh V 60°, elektroda E7018 berdiameter 4 mm, mesin las SMAW DC polaris terbalik, material yang dipakai memiliki tebal 7 mm. Pengujian yang dipakai adalah uji tarik standar ASTM E8 dan impak standar E23. Hasil pengujian kekuatan tarik paling rendah pada 150 A dengan rata-rata 509,1 Mpa dan kekuatan tarik paling tinggi pada 190 A dengan kekuatan tarik 567,8 Mpa (Rahman & Sunyoto, 2021).

Penelitian yang dilakukan oleh M Mudrikunni'am, Xander salahudin, dan Fuad Hilmy berjudul "Analisis Baja SS400 Hasil Pengelasan SMAW dengan Variasi Kuat Arus terhadap Nilai Kekerasan" dengan variasi arus 60 A, 80A, dan 100 A dengan kampuh V. Hasil nilai kekerasan tertinggi didapat pada arus 80 A yaitu 261 kg/mm² sedangkan nilai terendah didapat pada Arus 60 A dengan 125 kg/mm² (Mudrikunni'am Zumrotul Muniroh, 2023).

2. KAJIAN TEORITIS

Baja SS400

Baja SS400 adalah standar baja yang diadopsi oleh JIS (*Japanese Industrial Standards*) di Jepang. Kode "SS" dalam SS400 mengacu pada "*Structural Steel*" atau baja struktural SS400 adalah baja karbon rendah dengan kadar karbon maksimal 0,17 %. Komposisi kimia baja SS400 dijelaskan pada Tabel 2.1 (Bin Afan et al., 2020).

Tabel 1. Komposisi Material

<i>Element</i>	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N
<i>% Of Wt</i>	0,14	0,13	0,69	0,009	0,005	0,01	0,01	<0,008

SS400/ JIS G3101/ASTM A36, merupakan material yang tidak dapat dikeraskan atau dilakukan perlakuan panas melalui proses quench dan temper (Prastiwi & Irfa'i, 2019).

Las SMAW

Las SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) merupakan proses las busur listrik yang mana panas pengelasan dihasilkan oleh busur listrik antara elektroda terumpan berpelindung *flux* dengan permukaan benda kerja (Huda & Setiawan, 2016). Pengelasan las busur listrik atau dikenal dengan SMAW sering digunakan dalam bidang industri karena peralatannya yang sederhana, dapat dibawa kemana saja, serta penggunaannya yang sangat mudah. Fluks yang terdapat pada jenis las SMAW bertujuan untuk menghasilkan gas pelindung elemen repair degan tujuan memperbaiki tumpahan yang berlebih pada elektroda. Kegunaan dari lapisan fluks adalah untuk melindungi carian las dari udara luar yang mampu mempengaruhi sifat mekanisnya. Elektroda yang mencair dan bercampur dengan logam induk mengisi alur kampuh pengelasan dan setelah dingin akan ditutupi oleh *flux*. Keuntungan dari las SMAW adalah penggunaannya yang sangat sederhana dan serbaguna (Bin Afan et al., 2020).

Sudut Kampuh V tunggal

Sudut kampuh merupakan bagian dari logam induk dibuat dengan bentuk tertentu yang nantinya diisi oleh logam las atau *filler* metal sehingga pada saat proses pengelasan logam induk dan logam pengisi dapat menyatu. Logam *filler* yang mencair akan mengisi kubangan (kampuh) alur yang telah di bentuk. Penggunaan sudut kampuh yang tidak tepat

juga menyebabkan kegagalan sambungan las, keadaan ini dipengaruhi oleh tegangan sisa akibat dari masukan panas pada proses pengelasan (Las, 2020). Pemilihan sudut kampuh las memiliki pengaruh yang penting terhadap proses pengelasan yaitu untuk meningkatkan nilai kekuatan sambungan las, karena kampuh las memiliki peranan penting dalam memperbaiki kekuatan sambungan las.

Kuat Arus Las

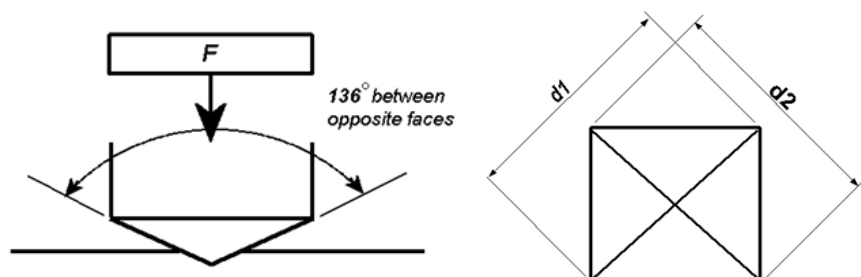
Penyetelan kuat arus saat proses pengelasan dapat mempengaruhi hasil pengelasan. Saat arus yang digunakan *terlalu* rendah menyebabkan sulitnya penyalaan busur listrik. Busur yang didapat tidak stabil. Panas yang diperoleh tidak cukup untuk mencairkan elektroda dan logam induk sehingga menghasilkan penembusan yang dangkal. Apabila arus yang dipakai terlalu besar maka elektroda mencair terlalu cepat, menghasilkan permukaan las yang lebar, penembusan yang dalam sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang rendah, dan menambah kerapuhan dari hasil pengelasan (Santoso et al., 2016).

Pengujian Kekuatan Tarik

Uji tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan tarik material terhadap beban tarik yang telah diberikan. Berdasarkan hasil pengujian tarik yang telah dilakukan maka didapat grafik beban dan pertambahan panjang material yang kemudian dikonversikan menjadi grafik tegangan dan regangan. Analisa data tersebut didapatkan batas beban deformasi plastis dan elastis (Rahman Hakim & Imran, 2020).

Pengujian Kekerasan Metode Vickers

Uji kekerasan (*hardness test*) merupakan uji NDT (*Non Destructive Test*) yang pada pengujiannya dapat diketahui suatu nilai kekerasan pada suatu material (logam). Uji kekerasan yang digunakan adalah uji kekerasan metode *vickers* dengan skema pengujian ditunjukkan pada *Gambar 1*.



Gambar 1. Skema Uji Kekerasan Metode *Vickers*
Sumber: Rauf et al., 2018

3. METODE PENELITIAN

Jenis penelitian yang digunakan oleh penulis adalah penelitian eksperimen. Metode penelitian eksperimen digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dengan keadaan yang terkendali. Adapun desain penelitian yang digunakan adalah *Design of Eksperiment*, yang mana metode ini digunakan untuk merencanakan, melakukan, dan menganalisis eksperimen secara sistematis dengan tujuan untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi hasil dari suatu proses atau sistem.

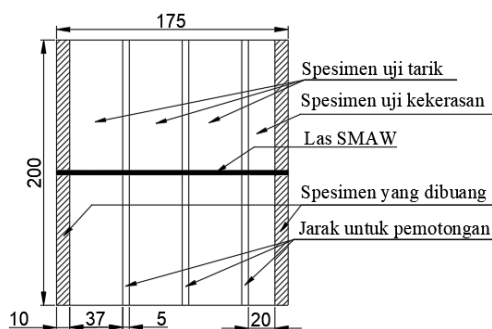
Metode penelitian secara garis besar dimulai dari persiapan peralatan, pembuatan panjang dan lebar spesimen sesuai kebutuhan, pembuatan sudut kampuh sesuai dengan variasi, melakukan pengelasan sesuai dengan variasi ampere, pemotongan spesimen dan pembuatan spesimen sesuai standar pengujian tarik dan kekerasan, melakukan pengujian tarik dan kekerasan, dan terakhir dilakukan analisis dan kesimpulan.

Pada penelitian ini menggunakan material baja SS400 dengan ketebalan 8 mm. Kemudian baja di potong dengan ukuran 175 mm x 100 mm. Selanjutnya dibuat kampuh V tunggal dengan variasi sudut 55° , 60° , dan 65° . Selanjutnya dilakukan pengelasan yang amperenya sudah terukur menggunakan tang ampere dan disesuaikan dengan variasi penelitian yaitu 110 A, 120 A, dan 130 A.

Parameter penelitian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

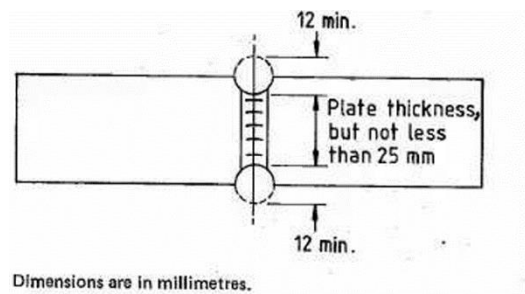
- Variabel bebas: besar sudut kampuh V tunggal dengan variasi sudut 55° , 60° , dan 65° ; dan variasi arus yaitu 110 A, 120 A, dan 130 A.
- Variabel terikat: Kekuatan tarik dan kekerasan metode Vickers sambungan las baja SS400.
- Variabel kontrol: material baja SS400 tabal 8 mm, bentuk kampuh V tunggal, jenis sambungan butt joint, posisi pengelasan 1G, pengelasan root menggunakan polaritas lurus (DCEN) dan pengelasan layer menggunakan polaritas terbalik (DCEP), dan pendinginan udara suhu ruang.

Spesimen yang didapat sebanyak 9 pasang dengan variasi variabel bebas. Setiap pasang spesimen terdapat 3 buah spesimen uji tarik dan 1 buah uji kekerasan.



Gambar 2. Model Pemotongan Spesimen

Jumlah spesimen yang digunakan untuk pengujian tarik sebanyak 27 buah dengan masing-masing setiap variasi dilakukan tiga kali replikasi, sedangkan untuk pengujian kekerasan metode vickers setiap variasi di buat satu buah spesimen dengan total ada sembilan buah dengan pengujian tiga kali pada bagian *weld* metal. Pemotongan spesimen disesuaikan dengan acuan standar BS 709 untuk pengujian tarik dan ASTM E-92 untuk uji kekerasan metode vickers.



Gambar 3. Spesimen Uji Tarik Standar BS 709

Sumber: Standar BS 709 : 1983

Hasil dari spesimen yang di buat kemudian dilakukan uji tarik dan selanjutnya dilakukan perhitungan kekuatan tarik dengan persamaan sebagai berikut.

$$\sigma_{Max} = \frac{P_{Max}}{A_0} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (2.1)$$

Dimana:

σ_{Max} : Kekuatan tarik (N/mm²)

P_{max} : Beban maksimum (N)

A_0 : Luas penampang awal (mm²)

Untuk pengujian kekerasan metode vickers digunakan standar ASTM E-92, standar ini mengatur jarak pengujian antara indentasi pertama dengan indentasi seanjutnya yang di tampilkan pada Gambar 4.

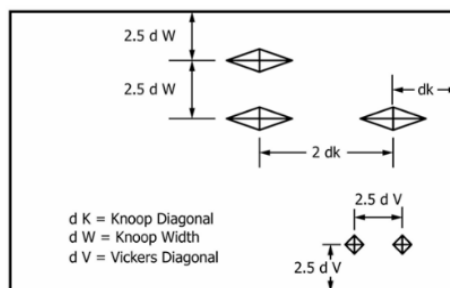


FIG. 1 Minimum Recommended Spacing for Vickers and Knoop Indentations

Gambar 4. Jarak Indentasi Standar ASTM E-92

Sumber: ASTM E-92

Selanjutnya hasil diagonal pengindetasian dicatat dan dilakukan perhitungan dengan persamaan sebagai berikut.

$$HVN = \frac{\text{Test Force}}{\text{Surface Area}} = \frac{F(gf)}{A_s(mm^2)} \quad (2.2)$$

$$A_s = \frac{d_v^2}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{d_v^2}{1,8544} \quad (2.3)$$

Dimana:

P : Pembebanan yang menekan (gf)

α : Sudut piramida intan (136°)

d_v : Diagonal bekas injakan penetrator (mm)

A_s : Luas permukaan indenter (mm^2)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Hasil spesimen uji tarik dengan standar BS 709 dan kekerasan metode *vickers* yang sudah di buat selanjutnya dilakukan pengujian. Setelah dilakukan pengujian, hasil data selanjutnya dikumpulkan dalam bentuk tabel dan dilakukan pengolahan data sehingga didapatkan nilai tegangan dan regangannya. Berdasar pada hasil tersebut dapat diketahui bagaimana kekuatan pada setiap spesimen setelah di beri perlakuan variasi besar sudut kampuh dan kuat arus pengelasan SMAW.

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa variasi besar sudut kampuh 65° dengan variasi arus 110 A memiliki kekuatan tarik terendah dibanding dengan spesimen lainnya dengan rata-rata sebesar $528,08 N/mm^2$.

Tabel 2. Variasi Sudut Kampuh terhadap Kekuatan Tarik

Sudut Kampuh	Kekuatan Tarik (N/mm^2)			Rata-rata N/mm^2
	I	II	III	
55°	569,161	603,092	572,944	567,471
	548,059	546,25	552,553	
	567,398	577,963	569,822	
60°	544,814	547,376	549,428	560,181
	610,927	592,45	587,419	
	534,377	525,632	549,209	
65°	506,45	548,559	529,232	559,997
	543,568	561,322	559,457	
	607,321	597,339	586,728	

Berdasar data dari pengujian tarik terhadap variasi besar sudut kampuh yang digunakan didapat nilai kekuatan tarik tertinggi terdapat pada sudut kampuh 55° dengan nilai kekuatan tarik sebesar 567,471 N/mm² dan nilai kekuatan tarik terendah pada sudut kampuh 65° dengan rata-rata nilai kekuatan tarik sebesar 559,997 N/mm².

Tabel 3. Variasi Arus terhadap Kekuatan Tarik

Kuat Arus	Kekuatan Tarik (N/mm ²)			Rata-rata N/mm ²
	I	II	III	
110 A	569,161	603,092	572,944	552,340
	544,814	547,376	549,428	
	506,45	548,559	529,232	
120 A	548,059	546,25	552,553	566,889
	610,927	592,45	587,419	
	543,568	561,322	559,457	
130 A	567,398	577,963	569,822	568,421
	534,377	525,632	549,209	
	607,321	597,339	586,728	

Berdasar data dari pengujian tarik terhadap variasi kuat arus yang digunakan didapat nilai kekuatan tarik tertinggi terdapat pada arus 130 A dengan nilai kekuatan tarik sebesar 568,421 N/mm² dan nilai kekuatan tarik terendah pada arus 110 A dengan rata-rata nilai kekuatan tarik sebesar 552,340 N/mm².

Tabel 4. Variasi Sudut Kampuh terhadap Nilai Kekerasan Metode *Vickers*

Sudut Kampuh	Kekerasan Metode Vickers (HVN)			Rata-rata HVN
	I	II	III	
55°	301,7	324	314,2	312,9
	309,3	297	303,5	
	313,2	335,5	317,5	
60°	313,4	326,4	329,4	314,0
	343,2	338,1	339,1	
	274,6	284,6	277,6	
65°	407,7	382,5	391,4	342,9
	342,6	364,7	344,2	
	289,2	286,6	277,3	

Berdasar data dari pengujian kekerasan metode *vickers* terhadap variasi besar sudut kampuh yang digunakan didapat nilai kekerasan tertinggi pada sudut kampuh 65° dengan nilai kekerasan sebesar 342,9 HVN dan kekerasan terendah pada sudut kampuh 55° dengan rata-rata nilai kekerasan sebesar 312,9 HVN.

Tabel 5. Kuat Arus terhadap Nilai Kekerasan Metode *Vickers*

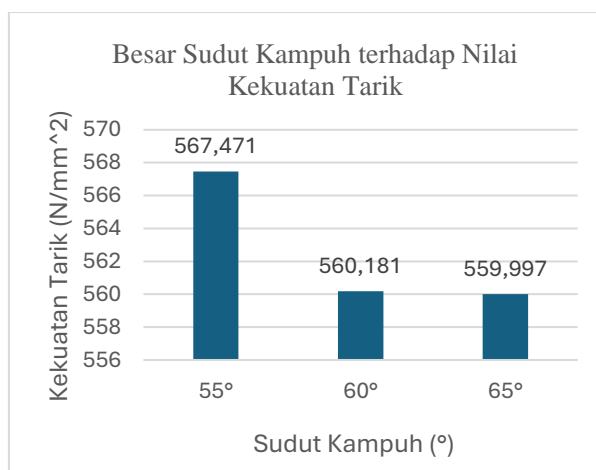
Kuat Arus	Kekerasan Metode Vickers (HVN)			Rata-rata HVN
	I	II	III	
110 A	301,7	324	314,2	343,4
	313,4	326,4	329,4	
	407,7	382,5	391,4	
120 A	309,3	297	303,5	331,3
	343,2	338,1	339,1	
	342,6	364,7	344,2	
130 A	313,2	335,5	317,5	295,1
	274,6	284,6	277,6	
	289,2	286,6	277,3	

Berdasar data dari pengujian kekerasan metode *vickers* terhadap variasi kuat arus yang digunakan didapat nilai kekerasan tertinggi pada kuat arus 110 A dengan nilai kekerasan sebesar 343,4 HVN dan kekerasan terendah pada kuat arus 130 A dengan rata-rata nilai kekerasan sebesar 295,1 HVN.

Pembahasan

Berdasar pada hasil pengujian tarik dan kekerasan metode *vickers* yang telah dilakukan maka dapat dibuat grafik nilai kekuatan tarik dan kekerasan terhadap variasi besar sudut kampuh dan kuat yang digunakan adalah sebagai berikut.

a. Variasi Besar Sudut Kampuh terhadap Kekuatan Tarik

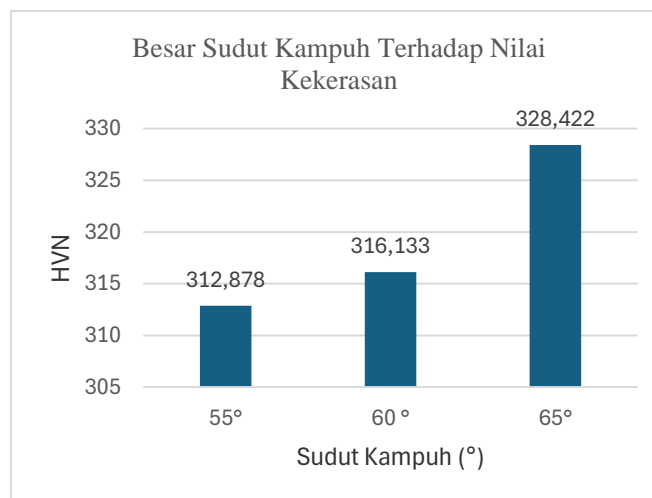
**Gambar 5.** Grafik Nilai Kekuatan Tarik terhadap Variasi Besar Sudut Kampuh

Gambar 5 di atas terlihat pada ketiga variasi besar sudut kampuh menunjukkan kekuatan tarik yang berbeda yaitu 55° merupakan kekuatan tarik tertinggi yaitu 567,471 N/mm², sedangkan sudut kampuh 60° agak rendah yaitu 560,181 N/mm², dan terendah yaitu 65° adalah 559,997 N/mm². Hasil pengelasan yang telah dilakukan mengalami peningkatan kekuatan tarik jika dibandingkan dengan kekuatan tarik raw

material yang hanya memiliki nilai sebesar 481,2 N/mm². Penurunan kekuatan tarik dari variasi besar sudut kampuh yang dilakukan adalah akibat dari adanya tegangan sisa atau *residual stress*. Tegangan sisa dapat terjadi karena adanya penyusutan pada saat proses pendinginan logam las. Keadaan ini sesuai dengan yang dijelaskan pada penelitian yang dilakukan oleh Dewangga dan Yulianto. Tegangan sisa yang dihasilkan akibat pengelasan berasal dari distribusi panas yang tidak merata, sehingga terjadi pemuaian material volumetrik yang tidak seragam pula. Pada saat material memasuki tahap pendinginan, suhu material akan kembali ke suhu ruang plastisitas dari material tersebut sehingga akan kembali menyusut. Namun, dengan adanya volum material yang terlebih dahulu mendingin menjadi penghalang dan penyebab terjadinya tegangan pada pengelasan (Dewangga & Yulianto, 2012).

b. Variasi Besar Sudut Kampuh terhadap Nilai Kekerasan

Pada Gambar 6 dipaparkan bahwa Kekerasan yang didapat dari variasi besar sudut kampuh paling tinggi adalah 65° yaitu 328,4 HVN, sedangkan 60° memiliki kekerasan yang sedikit rendah yaitu 316,1 HVN, dan kekerasan terendah adalah 55° adalah 312,8 HVN.



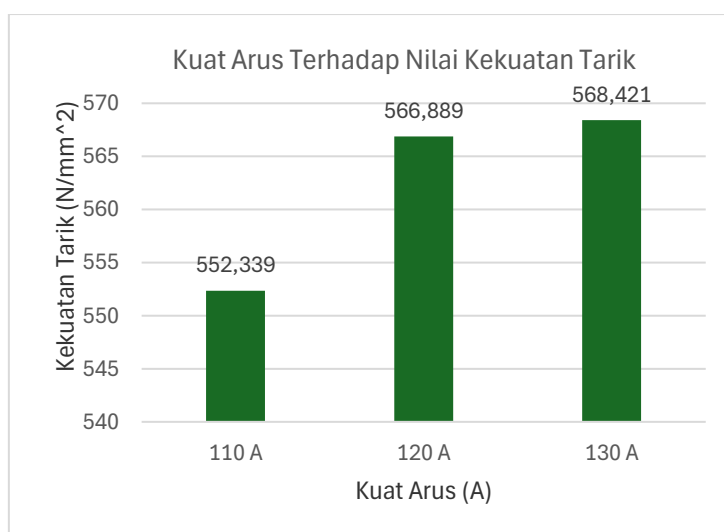
Gambar 6. Grafik Variasi Besar Sudut Kampuh terhadap Nilai Kekerasan *Vickers*

Kekerasan meningkat akibat penggunaan sudut kampuh yang semakin besar dikarenakan semakin besar sudut kampuh menyebabkan banyak cairan *filler* yang ditampung, karena banyaknya filler yang ditampung semakin banyak maka proses pendinginan yang terjadi juga semakin lama. Pendinginan yang landai mampu memperkeras hasil pengelasan. Hasil penelitian ini juga didukung oleh penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Aris Widyogroho dkk. Kekerasan akan meningkat seiring dengan besarnya sudut kampuh yang digunakan, semakin besar sudut kampuh yang digunakan butiran yang dihasilkan lebih kecil, keadaan ini terjadi karena pada

butir yang lebih kecil pergerakan dislokasi akan lebih sulit. Sedangkan jika laju pendinginan yang cepat membuat butir tidak sempat berubah menjadi besar, sehingga butir kecil memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dari pada butir berukuran besar (Nugroho et al., 2022).

c. Variasi Kuat Arus Terhadap Nilai Kekuatan Tarik

Berdasar pada hasil uji tarik dapat digambarkan grafik yang dapat mengetahui pengaruh kekuatan tarik terhadap variasi kuat arus yang dipakai. Pada Gambar 11 terlihat ketiga variasi kuat arus menunjukkan kekuatan tarik yang berbeda yaitu 130 memiliki kekuatan tarik tertinggi yaitu $568,421 \text{ N/mm}^2$, sedangkan arus 120 A agak rendah yaitu $566,889 \text{ N/mm}^2$, dan terendah pada arus 110 A yaitu $552,339 \text{ N/mm}^2$.



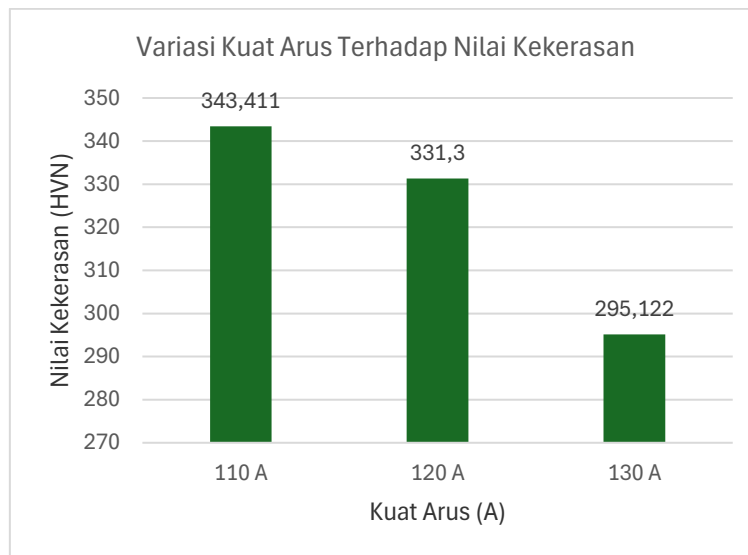
Gambar 7. Grafik Variasi Kuat Arus terhadap Nilai Kekuatan Tarik

Pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 7 dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan nilai kekuatan tarik, perbedaan yang terjadi yaitu semakin besar arus yang digunakan maka semakin tinggi juga nilai kekuatan tariknya. Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa pada arus 130 A memiliki kekuatan tarik yang paling tinggi yaitu $568,421 \text{ N/mm}^2$. Peningkatan kekuatan nilai kekuatan tarik yang semakin tinggi ini terjadi karena adanya penembusan pengelasan yang baik. Kuat arus menghasilkan panas, semakin besar arus yang dipakai maka masukan panas yang diterima juga lebih besar masukan panas yang besar mampu memperdalam penembusan pengelasan. hasil penelitian ini juga sesuai dengan yang dilakukan oleh Kholif Rahman Huda, adanya peningkatan kekuatan tarik seiring dengan peningkatan kuat arus karena arus yang ditingkatkan maka juga akan meningkatkan masukan panas, masukan panas yang tinggi mampu memperdalam dan memperlebar penetrasi logam las sehingga daerah

logam las atau campuran leleh-an elektroda dan benda kerja semakin dalam (Rahman & Sunyoto, 2021).

d. Variasi Kuat Arus Terhadap Nilai Kekerasan Metode *Vickers*

Pada Gambar 8 dipaparkan kuat arus yang memiliki nilai kekerasan tertinggi adalah 110 A yaitu 343,4 HVN, sedangkan arus 120 A sedikit rendah yaitu 331,3 HVN, dan kekerasan terendah adalah 130 A adalah 295,1 HVN. Pada hasil variasi kuat arus terhadap uji kekerasan metode *vickers* semakin besar variasi kuat arus yang digunakan nilai kekerasannya semakin menurun



Gambar 8. Grafik Variasi Kuat Arus terhadap Nilai Kekerasan *Vickers*

Hasil dari nilai kekerasan yang ditunjukkan pada Gambar ibci menunjukkan bahwa kuat arus yang digunakan berpengaruh terhadap nilai kekerasan *weld metal*. Pengelasan yang dilakukan pada pelat dengan tebal 8 mm, dengan tebal pelat, penggunaan *root gap*, dan sudut kampuh maka pengisian kampuh las dengan satu kali lintasan sangat sulit. Keadaan tersebut membuat pengelasan dilakukan dengan beberapa lintasan atau *multipass*. Karena pengelasan yang dilakukan secara berulang pada satu sambungan dan arus yang digunakan berbeda maka masukan panas atau *heat input* yang didapat juga berbeda. Masukan panas yang tinggi ini membuat pendinginannya juga semakin lambat yang membuat kekerasannya menurun. Pendinginan yang lambat mampu menurunkan kekerasan ini sesuai dengan hasil penelitian oleh Helanianto dkk. Akibat proses mencairnya logam induk dan elektroda yang lama sehingga kecepatan pendinginan logam las juga lambat menyebabkan kekerasan logam menurun namun keuletannya meningkat (Helanianto et al., 2020)

e. Interaksi Besar Sudut Dan Kuat Arus Terhadap Nilai Kekuatan Tarik Dan Kekerasan

Hasil interaksi antara pengaruh variasi besar sudut kampuh dan kuat arus yang digunakan yang dalam hal ini adalah 50° , 60° dan 65° ; dan 110 A, 120 A, dan 130 A adalah semakin besar sudut kampuh dapat menurunkan nilai kekuatan tarik dan meningkatkan nilai kekerasan pada *weld metal*. semakin besar sudut kampuh yang digunakan maka memungkinkan terjadinya tegangan sisa yang lebih besar dan semakin kecil sudut kampuh yang digunakan maka semakin kecil juga terjadinya tegangan sisa yang terjadi. Semakin besar arus yang digunakan maka nilai kekuatan tariknya meningkat, namun dengan semakin besarnya arus yang digunakan maka dapat menurunkan nilai kekerasannya. Arus yang semakin besar mampu membuat penetrasi pengelasan yang dihasilkan semakin dalam, tetapi berlawanan arah dengan nilai kekerasannya. kekerasan dari penggunaan arus yang semakin besar membuat masukan panas dari hasil pengelasan menjadi besar, masukan panas yang besar membuat penurunan suhu kembali ke keadaan normal menjadi lebih lambat yang membuat nilai kekerasannya menurun.

Hasil las yang baik adalah memiliki nilai kekuatan tarik yang tinggi dan kekerasan rendah (Subagiyo et al., 2019). Penelitian ini juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Subagiyo dkk yaitu pengelasan yang baik adalah pengelasan yang memiliki nilai kekuatan tarik tinggi dan kekerasan yang rendah. Pada penelitian ini didapatkan variasi besar sudut kampuh dan kuat arus yang optimal yaitu pada Sudut kampuh 55° dengan nilai kekuatan tarik tertinggi yaitu $567,471 \text{ N/mm}^2$ dan kekerasan yang rendah yaitu 312,8 HVN sedangkan kuat arus yang optimal yaitu 130 A yang memiliki kekuatan tarik tertinggi yaitu $568,421 \text{ N/mm}^2$ dan nilai kekerasan terendah yaitu 295,1 HVN. Variasi yang optimal tersebut masih memiliki kekerasan yang cukup tinggi jika dibandingkan dengan kekerasan *raw material* sehingga untuk sifat mekanis yang lebih baik lagi dapat dilakukan proses annealing untuk menurunkan nilai kekerasannya.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Hasil dari penelitian yang dilakukan mengenai pengaruh variasi besar sudut kampuh dan kuat arus pengelasan SMAW pada baja SS400 untuk bahan bejana tekan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut variasi besar sudut kampuh mempengaruhi kekuatan tarik dan kekerasan yaitu semakin besar sudut kampuh yang dalam hal ini 55° , 60°

dan 65° menurunkan nilai kekuatan tarik dan meningkatkan kekerasan. Peningkatan arus yang dalam penelitian ini adalah 110 A, 120 A, dan 130 A mampu meningkatkan kekuatan tarik dan menurunkan nilai kekerasannya. Interaksi dari variasi besar sudut kampuh dan kuat arus yaitu semakin kecil sudut kampuh yang digunakan dan semakin besar arus yang digunakan mampu meningkatkan kekuatan tarik dan menurunkan nilai kekerasan, hasil paling optimal dari penelitian yang dilakukan adalah sudut kampuh 55° dipadukan dengan kuat arus 130 A.

Saran

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kekerasan pada *weld metal* masih memiliki nilai kekerasan yang terlalu tinggi, maka pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan proses annealing untuk menurunkan nilai kekerasannya.

DAFTAR REFERENSI

- Bin Afan, M., Purwantono, Muliandi, & Rahim, B. (2020). Pengaruh Suhu Penyimpanan Elektroda Low Hydrogen E7016 terhadap Hasil Uji Tekuk Sambungan Las Pelat Baja Karbon SS400. In *Jurnal Rekayasa Mesin* (Vol. 15, Issue 1). <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa>
- Dewangga, D. V., & Yulianto, T. (2012). Analisa pengaruh flange angle, toe radius, dan preparation angle terhadap deformasi dan tegangan sisa pada pengelasan butt joint dengan kampuh double v ganda menggunakan metode elemen hingga. *Jurnal Teknik ITS*, 1(1), G40–G45.
- Faizal, M., & Umam, S. (2018). Analisis Kekuatan Dan Kualitas Sambungan Las Dengan Variasi Pendinginan Oli Dan Udara Pada Material Astm a36 Dengan Pengujian Ndt (Non Destructive Test). *Bina Teknika*, 14(2), 131–138.
- Helanianto, H., Epriyandi, E., & Rahmadi, H. (2020). Pengaruh Variasi Arus Pengelasan SMAW Terhadap Kekerasan Logam Induk Dan Logam Las. *Elemen: Jurnal Teknik Mesin*, 7(2), 138–147.
- Huda, M., & Setiawan, F. (2016). *Pengaruh variasi sudut kampuh V dan kuat arus dengan las shielded metal arc welding (SMAW) pada baja A36 terhadap sifat mekanik.*
- Julianti, N. K., Wardani, T. K., Gunardi, I., & Roesyad, A. (2014). Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit RBD dengan Menggunakan Katalis Berpromotor Ganda Berpenyangga γ -Alumina (CaO/MgO/ γ -Al₂O₃) dalam Reaktor Fluidized Bed. *Jurnal Teknik ITS*, 3(2), B143–B148.
- Las, S. (2020). *Pengaruh Kuat Arus Dan Besar Sudut Kampuh Terhadap Kekuatan Impact Dan Nilai Kekerasan Plat Baja Karbon Rendah Dengan Menggunakan.*

- Mudrikunni'am Zumrotul Muniroh, M. (2023). ANALISIS BAJA SS400 HASIL PENGELASAN SMAW DENGAN VARIASI KUAT ARUS TERHADAP NILAI KEKERASAN. *SENASTER" Seminar Nasional Riset Teknologi Terapan"*, 4(1).
- Nitiswati, S., & Haryanto, M. (2017). PRE-SERVICE INSPECTION BEJANA TEKAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR. *SIGMA EPSILON-Buletin Ilmiah Teknologi Keselamatan Reaktor Nuklir*, 20(2).
- Nugroho, A. W., Hartanto, S., Nugroho, M. A. E., & Himarosa, R. A. (2022). Pengaruh Sudut Kampuh V Tunggal terhadap Sifat Mekanis Sambungan Las SMAW pada Pipa Baja Karbon API 5L X46. *Semesta Teknika*, 25(2), 188–200.
- Prastiwi, A. R., & Irfa'i, M. A. (2019). Analisa pengaruh variasi ketebalan plat terhadap kekuatan tarik pada sambungan las butt joint mild steel ss 400. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 8(3), 37–44.
- Rahman Hakim, A., & Imran. (2020). Analisa pengaruh variasi kampuh terhadap hasil pengelasan SMAW pada stainless steel 304 menggunakan pengujian ultrasonic dan kekuatan tarik. *Jurnal Polimesin*, 18(1), 30–38.
- Rahman, H. K., & Sunyoto, S. (2021). Pengaruh Arus SMAW Terhadap Kekuatan Tarik dan Impak Baja Konstruksi IWF JIS G3101 SS400. *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 6(1), 35–45.
- Rauf, F. A., Sappu, F. P., & Lakat, A. M. A. (2018). Uji Kekerasan dengan Menggunakan Alat Microhardness Vickers pada Berbagai Jenis Material Teknik. *Jurnal Tekno Mesin*, 5(1).
- Rodiawati, M., Risano, A. Y. E., & Su'udi, A. (2013). Perancangan Bejana Tekan (Pressure Vessel) untuk Pengolahan Limbah Kelapa Sawit dengan Variabel Kapasitas Produksi 10.000 Ton/Bulan. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 1(4).
- Santoso, T. B., Solichin, S., & Trihutomo, P. (2016). Pengaruh kuat arus listrik pengelasan terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro las SMAW dengan elektroda E7016. *Jurnal Teknik Mesin*, 23(1).
- Subagiyo, S., Hadi, S., Agustriyana, L., & Rarindo, H. (2019). ANALISIS KEKUATAN TARIK DAN KEKERASAN BAJA TAHAN KARAT MARTENSITIK HASIL PENGELASAN DENGAN VARIASI LAJU PENDINGINAN. *Jurnal Teknologi*, 13(2), 1–5.