

# ANALISIS VARIASI POLARITAS SHIELD METAL ARC WELDING DAN BUILD-UP ROOT GAP TERHADAP DISKONTINUITAS, METALOGRAFI, DAN NILAI KETANGGUHAN PADA MATERIAL BAJA SS400 UNTUK STRUKTUR BANGUNAN KAPAL

Alvalo Toto Wibowo\*, Mochammad Karim Al Amin, Dimas Saputro, Elham Aprilian

Program Studi Teknik Pengelasan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

\*Corresponding author: alvalototo@ppns.ac.id

## Article history

**Received:**

15-04-2025

**Accepted:**

13-06-2025

**Published:**

30-06-2025

Copyright © 2025  
Jurnal Teknologi dan  
Riset Terapan

Open Access

## Abstrak

Dalam fabrikasi struktur bangunan kapal, *root gap* yang terlalu lebar sering ditemukan saat pengelasan, umumnya akibat kesalahan pemotongan pelat. Untuk memenuhi dimensi desain, perbaikan diperlukan. Metode *build-up*, penambahan lapisan logam las untuk memperkecil *gap* menjadi solusi. Dalam penelitian ini metode *build-up* menggunakan variasi *layer* sebanyak 2 sampai 4 *layer* serta perbedaan polaritas pada pengelasan SMAW menggunakan AC dan DC+ agar mendapatkan lelehan deposit las yang besar dan penetrasi dangkal sehingga ketebalan *layer* yang direncanakan terpenuhi. Akibat dari metode *build-up* material terkena *heat input* secara berulang yang dapat mempengaruhi struktur dan sifat mekanisnya sehingga penelitian ini bertujuan untuk mengetahui diskontinuitas, metalografi, dan ketangguhan akibat proses tersebut. Hasilnya menunjukkan area *build-up* tidak terdapat diskontinuitas dan cacat. Struktur mikro menunjukkan perbedaan jumlah kandungan *pearlite* dan batas butir, dengan jumlah paling banyak hingga paling sedikit yaitu di daerah logam las, *build-up*, HAZ, dan logam dasar yang tidak banyak berubah. Uji makro menunjukkan HAZ melebar hingga 1 mm seiring penambahan lapisan, namun variasi polaritas tidak berpengaruh signifikan. Ketangguhan tertinggi terjadi pada polaritas AC sebesar 116,16 J dan paling rendah dengan polaritas DC sebesar 85,66 J akibat perbedaan *heat input* dan *travel speed*, sementara peningkatan jumlah *layer build-up* menurunkan ketangguhan.

**Kata Kunci:** *Build-up*, Polaritas, SMAW, Metalografi, Ketangguhan

## Abstract

In the fabrication of ship building structures, root gaps that are too wide are often found during welding, generally due to plate cutting errors. To meet the design dimensions, repairs are required. The build-up method, the addition of weld metal layers to minimize the gap, is a solution. In this research, the build-up method uses a variation of 2 to 4 layers and different polarities in SMAW welding using AC and DC+ in order to obtain a large weld deposit melt and shallow penetration so that the planned layer thickness is met. As a result of the build-up method, the material is exposed to repeated heat input which can affect its structure and mechanical properties so this study aims to determine discontinuities, metallography, and toughness due to the process. The results show that the build-up area has no discontinuities and defects. The microstructure shows differences in the amount of pearlite content and grain boundaries, with the most to least amount in the weld metal, build-up, HAZ, and base metal areas which do not change much. Macro tests showed that the HAZ widened up to 1 mm as the coating was added, but the polarity variation had no significant effect. The highest toughness occurred with AC polarity at 116.16 J and the lowest with DC polarity at 85.66 J due to differences in heat input and travel speed, while increasing the number of build-up layers decreased toughness.

**Keywords:** *Build-Up*, *Polarity*, *SMAW*, *Metallography*, *Toughness*

## 1.0 PENDAHULUAN

Konstruksi pada kapal umumnya menggunakan baja sebagai bahan utama seperti SS400 yang lambung kapal. Material ini merupakan baja karbon rendah yang mudah dilas serta memiliki ketangguhan dan keuletan yang baik [1]. Dalam fabrikasi terdapat beberapa aspek yang perlu diperhatikan, salah satunya adalah ukuran material. Tetapi seringkali pada pemotongan dimensi material tidak sesuai dengan desain sehingga saat pengelasan terjadi *over root gap*.

Agar dimensi material saat disambung sesuai harapan maka perlu dilakukan perbaikan, salah satunya dengan metode *build-up*. Pada sambungan las, metode *build-up* merupakan penambahan lapisan las di area *bevel* agar memenuhi kriteria dari *root gap* yang disyaratkan WPS (*Welding Procedure Specification*) [2]. *Build-up* dilakukan untuk menambah dimensi dengan melelehkan logam pengisi pada kampuh baik satu sisi maupun kedua sisi material untuk memperkecil *root gap* agar proses las lebih mudah dilakukan.

Metode *build-up* menyebabkan *heat input* yang besar sehingga sifat mekanik material mungkin dapat berubah [3]. *Heat input* menjadi salah satu faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pengelasan karena dapat mempengaruhi kekuatan dan kekerasan pada hasil pengelasan. Pemberian *heat input* berlebihan dapat menyebabkan degradasi distribusi panas pada material sehingga memiliki potensi terbentuknya struktur *martensite* lebih tinggi [4].

Pemilihan polaritas dan besar arus bisa digunakan sebagai parameter untuk menghasilkan sambungan las dengan sifat mekanik yang baik, kegagalan pada hasil las salah satunya disebabkan akibat pemilihan arus dan jenis polaritas yang tidak tepat [5]. Pemilihan untuk *setting* arus pada proses pengelasan bergantung dari material dan ukuran kampuh las, geometri sambungan las, jenis *filler* dan diameter inti *filler* yang digunakan [6]. Jika penggunaan arus semakin besar maka proses pencairan logam semakin cepat yang berdampak pada hasil rigi-rigi las bertambah lebar sehingga mempengaruhi struktur atom pada daerah lasan [7].

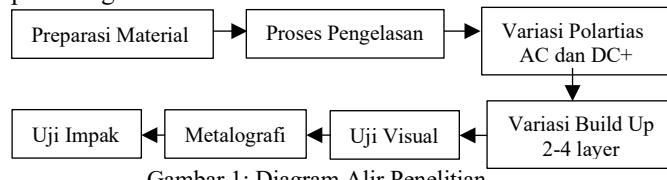
SMAW merupakan proses pengelasan yang paling banyak digunakan karena peralatannya sederhana dan fleksibel untuk mengelas pada semua posisi [8]. Terdapat dua jenis polaritas yang digunakan pada pengelasan yaitu *Alternating Current* (AC) dan *Direct Current* (DC). Polaritas DC terbagi lagi menjadi dua. Pertama, polaritas lurus (DC-/DCSP) yakni elektroda bermuatan negatif dan material yang dilas bermuatan positif. Kedua, polaritas terbalik (DC+/DCRP) yakni elektroda di kutub positif dan material yang dilas di kutub negatif [9].

Pada proses SMAW, polaritas DC+ menghasilkan penetrasi lebih dalam dibanding DC- karena arus listrik mengalir dari kutub positif ke kutub negatif mesin las sedangkan elektron berasal dari kutub negatif yang mengalir kutub positif mesin las. Hal tersebut dapat mempengaruhi distribusi panas pada proses las [10]. Pemilihan polaritas perlu dipertimbangkan dalam melakukan *build-up* karena dapat mempengaruhi sifat mekanik, penyebaran panas, serta kedalaman penetrasi.

Dari permasalahan tersebut maka dapat dirumuskan tujuan penelitian ini, yakni mengetahui pengaruh *build-up* pada *over root gap* dengan variasi polaritas pada proses las SMAW terhadap nilai ketangguhan dan kekerasan yang terjadi setelah dilakukan *build-up* maupun pengelasan pada material SS400.

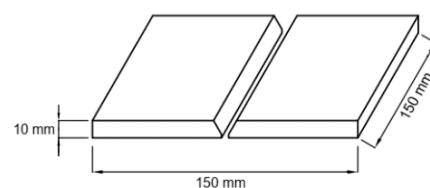
## 2.0 METODE

Secara garis besar, metode dalam penelitian ini dijelaskan pada diagram berikut:



### 2.1 Material

Material menggunakan baja karbon rendah berjenis SS400 grade A dengan dimensi 150 mm, lebar 150 mm, dan tebal 10 mm sesuai *design v-groove butt joint* pada Gambar 2 berikut



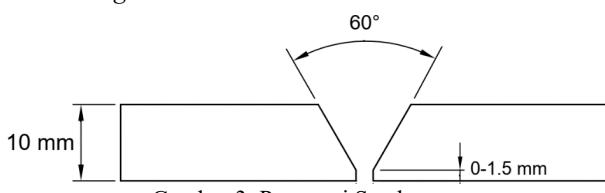
Gambar 2: Dimensi Spesimen

Baja SS400 merupakan baja karbon rendah yang banyak diaplikasikan pada dunia industri. Baja ini termasuk dalam kategori SA-36. Pada standard Jepang (JIS), SS400 mempunyai arti "SS" singkatan dari *Structural Steel*, sedangkan "400" menunjukkan *grade* dari material tersebut, yang sejenis dengan AISI 1081 [10]. Komposisi kimia baja SS400 ditunjukkan pada Tabel 1

Tabel 1: Komposisi Kimia Baja SS400

Unsur	Kandungan %
Carbon (C)	0,203
Mangan (Mn)	0,295
Phosphorus (P)	0,007
Sulfur (S)	0,004

Material yang telah dipersiapkan dengan dimensi seperti yang terdapat pada Gambar 2 dilakukan *fit-up* sebanyak 6 joint dengan menggunakan *root face* berukuran 0-15 mm dan sudut *groove* 60°

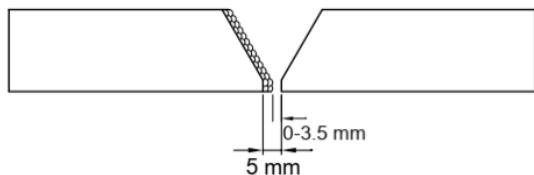


Gambar 3. Preparasi Sambungan

## 2.2 Langkah-Langkah Proses Pengelasan

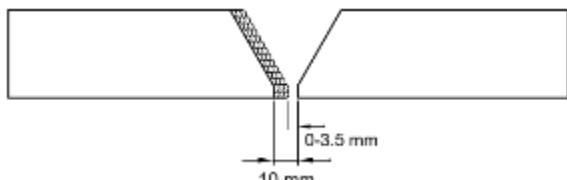
Proses pengelasan dilakukan pada 6 joint dengan rincian sebagai berikut:

- Joint A: pada *root gap* 5 mm dilakukan proses pengelasan dengan *build-up* 2 layer di salah satu sisi pada 2 spesimen dengan polaritas yang berbeda, yaitu polaritas DCEP (A1) dan polaritas AC (A2) menggunakan arus dan elektroda yang sama.



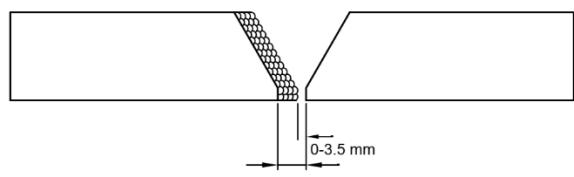
Gambar 4: Mekanisme *Build-Up* pada *Root Gap* 5 mm

- Joint B: pada *root gap* 10 mm dilakukan proses pengelasan dengan *build-up* 3 layer di salah satu sisi pada 2 spesimen dengan polaritas yang berbeda, yaitu polaritas DCEP (B1) dan Polaritas AC (B2) menggunakan arus dan elektroda yang sama.



Gambar 5: Mekanisme *Build-Up* pada *Root Gap* 10 mm

- Joint C: pada *root gap* 15 mm dilakukan proses pengelasan dengan *build-up* 4 layer di salah satu sisi pada 2 spesimen dengan polaritas yang berbeda, yaitu polaritas DCEP (B1) dan polaritas AC (B2) menggunakan arus dan elektroda yang sama.



Gambar 6: Mekanisme *Build-Up* pada *Root Gap* 15 mm

## 2.3 Pengujian Mikro

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran detail struktur mikro pada area permukaan benda uji. Area yang akan diamati adalah *weld metal*, *build-up*, *HAZ*, dan *base metal*.

## 2.4 Pengujian Makro

Uji makro adalah pemeriksaan secara visual terhadap penampang lasan untuk mengetahui kualitas hasil las. Uji ini bertujuan untuk mengamati area penampang las seperti lebar *weld metal*, lebar *HAZ* dan juga bisa mengetahui cacat las.

## 2.5 Pengujian Ketangguhan (*Impact Test*)

Pengujian impak bertujuan untuk mengetahui kecenderungan logam untuk patah getas dan untuk

mengukur energi impak atau disebut dengan notch toughness (mengukur ketangguhan logam terhadap adanya takik) [12]. Pengujian impak ini dilakukan menggunakan metode Charpy dengan takik V notch dengan ukuran spesimen uji 55 mm × 10 mm × 10 mm pada area HAZ dengan spesimen sebanyak 3 buah pada masing-masing variasi dengan total 18 spesimen uji. Temperatur yang digunakan adalah 21°C dengan nilai minimum yang dipersyaratkan adalah 27 J sesuai dengan standar ASTM E23 [13]. Spesimen pengujian impak terdapat pada Gambar 7.

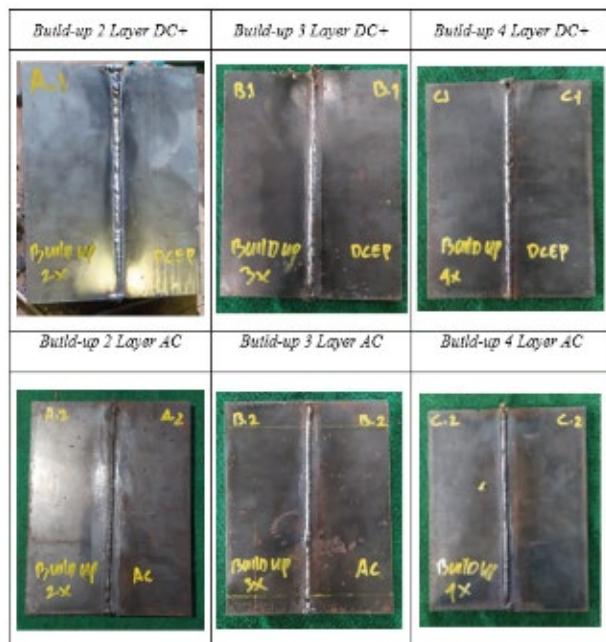


Gambar 7: Spesimen Pengujian Impact

## 3.0 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Hasil Pengamatan Visual

Hasil pengamatan visual menunjukkan bahwa pengelasan bagian root terjadi *full penetration* dan tidak ditemukan diskontinuitas pada *build-up root gap* yang dapat dilihat pada Gambar 8.

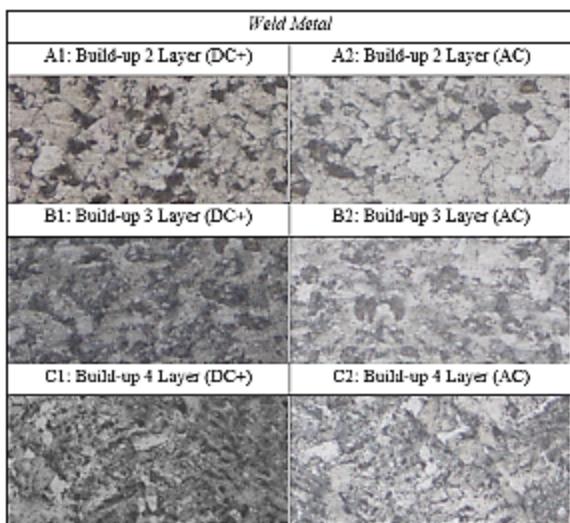


Gambar 8: Hasil *Build-Up Root Gap*

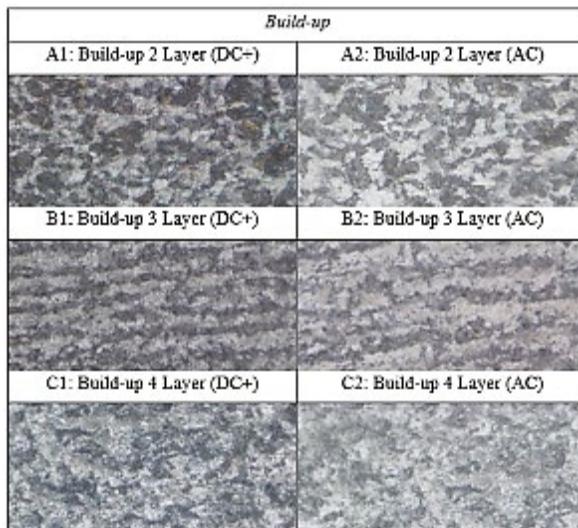
### 3.2 Hasil Pengujian Mikro

Pengujian struktur mikro bertujuan untuk mengamati perubahan struktur mikro yang terjadi pada spesimen setelah dilakukan proses *build-up* dengan variasi *layer* dan polaritas yang berbeda. Pengujian dilakukan pada daerah *weld metal*, *build-up*, *HAZ*, dan *base metal* pada setiap spesimen dengan perbesaran 500X. Hasil

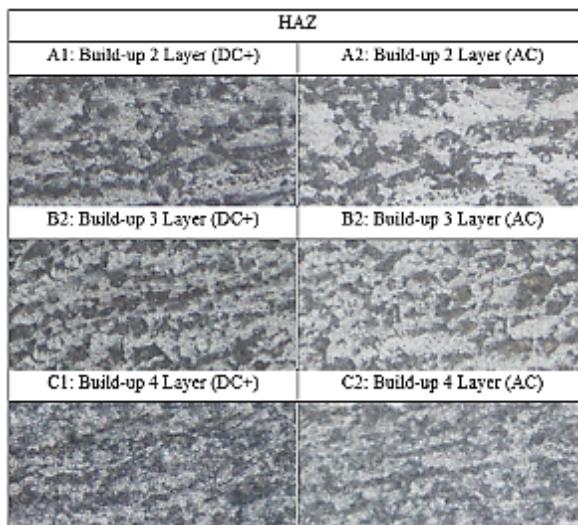
pengujian struktur mikro terdapat pada Gambar 9 untuk area *weld metal*, Gambar 10 area *build-up*, Gambar 11 area HAZ dan Gambar 12 di area *base metal*.



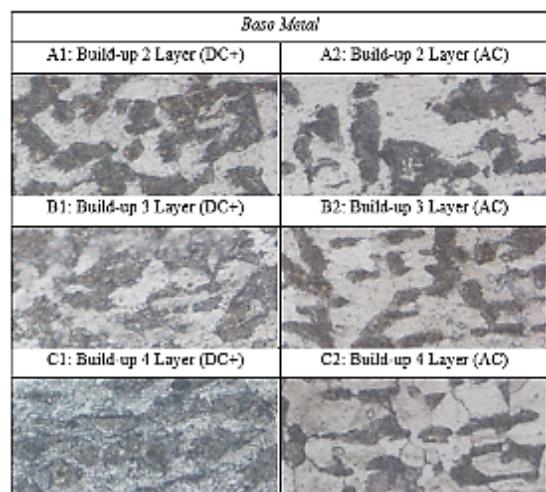
Gambar 9: Hasil Pengujian Struktur Mikro Area *Weld Metal*



Gambar 10: Hasil Pengujian Struktur Mikro Area *Build-Up*



Gambar 11: Hasil Pengujian Struktur Mikro Area *HAZ*

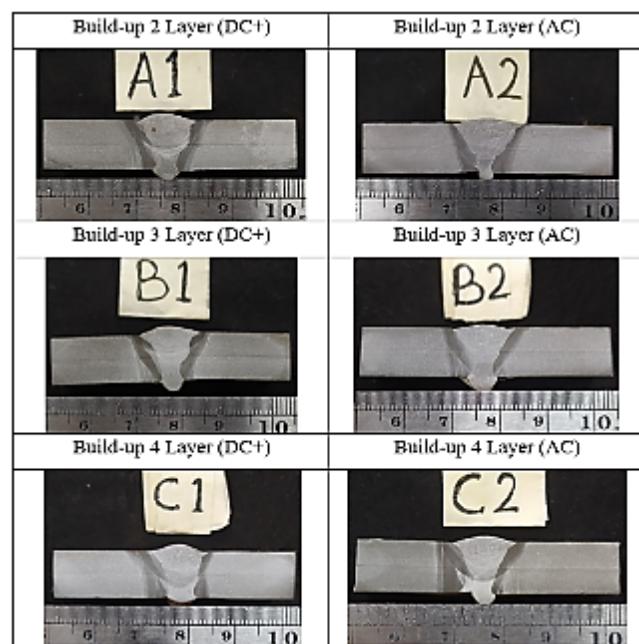


Gambar 12: Hasil Pengujian Struktur Mikro Area *Base Metal*

Hasil uji struktur mikro menunjukkan bahwa proses *build-up* menyebabkan terjadinya perubahan struktur mikro pada setiap variasi jumlah *layer*, sedangkan pada perbedaan polaritas struktur mikro tidak mengalami perubahan yang signifikan. Struktur mikro yang terbentuk adalah *ferrite* dengan warna putih dan *pearlite* dengan warna agak gelap. Pada *base metal* perubahan struktur mikro tidak begitu besar. Jumlah *pearlite* dan batas butir area *weld metal* lebih tinggi daripada area *build-up* dan kandungan *pearlite* serta batas butir pada area *build-up* lebih banyak dibandingkan area *HAZ*.

### 3.3 Hasil Pengujian Makro

Pengujian struktur makro bertujuan untuk mengetahui luasan *HAZ* akibat proses pengelasan pada *build-up* dengan variasi *layer* dan polaritas. Selain itu, pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kedalaman penetrasi dan fusi yang dihasilkan. Proses etsa dilakukan pada spesimen uji menggunakan larutan  $\text{HNO}_3$  sebanyak 2% dan alkohol sebanyak 98%.

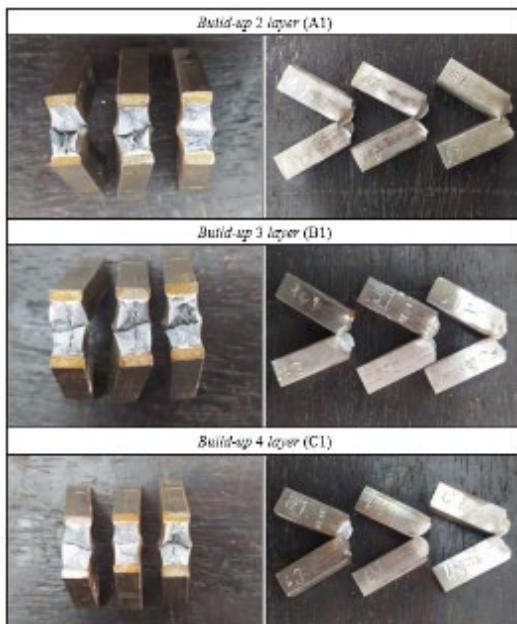


Gambar 13: Hasil Pengujian Struktur Makro

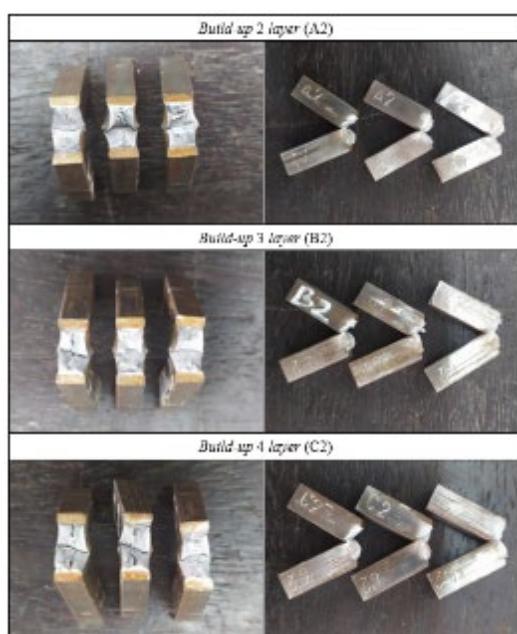
Berdasarkan pengujian makro yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 12, spesimen A1 dan A2 memiliki lebar HAZ sebesar 1 mm, pada material B1 dan B2 lebar HAZ sebesar 2 mm, serta pada spesimen C1 dan C2 lebar HAZ sebesar 3 mm. Hal ini disebabkan akibat dari semakin banyak jumlah *layer build-up* maka masukan panas semakin tinggi, selain itu *layer build-up* juga berpengaruh terhadap luas HAZ. Semua spesimen mempunyai fusi dan penetrasi yang bagus dengan kedalaman fusi tidak berbeda secara signifikan baik polaritas AC maupun DC+.

### 3.4 Hasil Pengujian Impact (Ketangguhan)

Pengujian yang telah dilakukan didapatkan hasil seperti yang tertera pada Gambar 14 dan Gambar 15 di bawah ini.



Gambar 14: Hasil Uji Impact Polaritas DC+



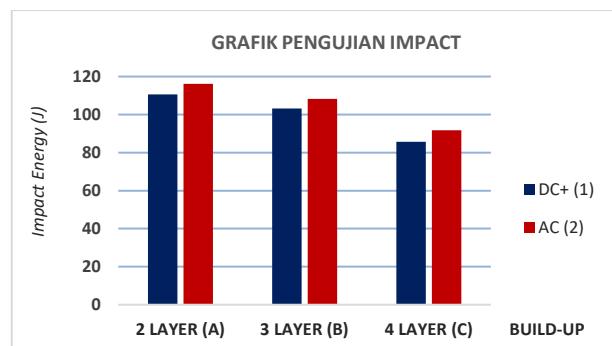
Gambar 15: Hasil Uji Impact Polaritas AC

Pada Tabel 2 ditunjukkan nilai rata-rata dari pengujian *impact*.

Tabel 2: Hasil Pengujian Ketangguhan

<i>Layer Build-up</i>	<i>Mark (Polarity)</i>	<i>Impact Energy (J)</i>
2	A1 (DC+)	110,66
	A2 (AC)	116,16
3	B1 (DC+)	103,16
	B2 (AC)	108,33
4	C1 (DC+)	85,66
	C2 (AC)	91,83

Dari Tabel 2 tersebut diambil rata-rata pada setiap variasi kemudian dibandingkan dan disajikan dalam grafik pada Gambar 16.



Gambar 16: Grafik Nilai Energi Pengujian Impact

Dari data yang diperoleh pada Gambar 16, semakin banyak *layer build-up* maka nilai ketangguhan semakin menurun. Nilai ketangguhan pada polaritas AC lebih tinggi dibandingkan pada polaritas DC+. Nilai ketangguhan polaritas AC tertinggi di 2 layer dengan nilai ketangguhan 116,16 J, diikuti dengan 3 layer dengan nilai 108,33 J dan terendah di 4 layer dengan nilai 91,83 J. Sementara untuk polaritas DC+ Nilai ketangguhan tertinggi terdapat pada 2 layer dengan nilai 110,66 J, diikuti dengan layer 3 sebesar 103,16 J dan terendah di layer 4 dengan nilai ketangguhan 85,66 J. Dengan demikian dapat diketahui bahwa dengan bertambahnya jumlah *layer* maka akan menurunkan nilai ketangguhan.

## 4.0 KESIMPULAN

*Build-up* dengan variasi polaritas dan jumlah *layer* pada material SS400 dengan pengelasan SMAW telah dilakukan. Pada pengujian radiografi tidak ditemukan cacat pada area *build-up* yang artinya metode tersebut tidak menyebabkan cacat pengelasan. Pada variasi jumlah *layer build-up* terjadi pengaruh pada beberapa pengujian. Hasil uji impak menunjukkan semakin banyak *layer build-up* nilai ketangguhan semakin turun. Nilai ketangguhan terbesar terdapat pada spesimen A2 yaitu pengelasan dengan *build-up* 2 layer dan polaritas AC dengan nilai sebesar 116,16 J sedangkan nilai ketangguhan terkecil terdapat pada spesimen C1 yaitu pengelasan dengan *build-up* 4 layer dan polaritas DC+ dengan nilai sebesar 85,66 J.

Pada uji makro jumlah *layer* berpengaruh pada lebar HAZ, serta pada uji mikro jumlah *layer* berpengaruh terhadap perubahan struktur mikro. Hal tersebut

menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah *layer* pada *build-up* maka *heat input* juga semakin besar sehingga berpengaruh pada lebar HAZ dan pembentukan struktur mikro yang kemudian berdampak pada nilai ketangguhan. Semakin banyak jumlah *layer build-up* semakin besar lebar HAZ yang berpengaruh pada turunnya nilai ketangguhan. Pada variasi polaritas baik DC+ maupun AC tidak terjadi perubahan secara signifikan terhadap, uji impak, uji mikro, dan uji makro.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. G. Abdul Ghofar, D. N. Zulfika, and A. Rijanto. (2023). "Perbandingan Pengelasan Smaw Dengan Preheating Dan Non - Preheating Terhadap Nilai Kekerasan Pada Sambungan Baja SS400," *Semin. Nas. Fak. Tek.*, vol. 2, no. 1, pp. 177–182, 2023, doi: 10.36815/semostek.v2i1.96.
- [2] R. V. B. Anggara. (2015). "Simulasi dan Analisa Pengaruh Jarak Gap Pengelasan dengan Penambahan Build Up pada Kuat Tarik, Deformasi dan Structure Material" p. 100.
- [3] Khafidz, A. M., (2017) Analisa Jumlah Lapisan Build Up Terhadap Sifat Mekanik, Struktur Mikro Dan Laju Korosi Pada Material SA-240 TP304.
- [4] S, Syukran. A, Syahri. and A, S. Ismy. (2023). "The Effect of Heat Input on the Tensile Strength and Toughness of welded SS400 Materials by SMAW," *J. Weld. Technol.*, vol. 5, no. 1, pp. 21–25, 2023, doi: 10.30811/jowt.v5i1.3508.
- [5] Rizki, M., & Darmo, S. (2021). Analisis Pengaruh Polaritas Dan Kuat Arus Terhadap Sifat Mekanik Sambungan Las Baja SS400 Pada Pengelasan SMAW.
- [6] I. R. Fariski and A. Fathier, "ANALISA VARIASI ARUS PENGEELASAN SMAW TERHADAP SIFAT MEKANIK DENGAN MENGGUNAKAN MATERIAL BAJA ST 42 POSISI PENGEELASAN 3G Pengaruh Parameter Pengelasan Untuk mendapatkan hasil dari sebuah proses pengelasan yang baik , hal yang perlu diperhatikan sebelum mel," vol. 8, no. 1, 2024.
- [7] A. Azwinur, S. A. Jalil, and A. Husna, "Pengaruh variasi arus pengelasan terhadap sifat mekanik pada proses pengelasan SMAW," *J. POLIMESIN*, vol. 15, no. 2, p. 36, 2017, doi: 10.30811/jpl.v15i2.372.
- [8] R. A. Prasetya and W. Hendroprasetyo, "Analisa Pengaruh Pengelasan Build-Up Pada Produk Casting Komponen Kapal Terhadap Timbulnya Indikasi Linier Pada Pengujian Magnetik Partikel Ditinjau Dari Sisi Metalurgi," 2018.
- [9] H. Gerrish, H. (1968). Electricity and Electronics. G-W Publisher.
- [10] Ambiyar. (2019). Teknik Pembentukan Plat. Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan
- [11] Japanese Industrial Standard. (2015). JIS G3101 (2015th ed.).
- [12] M.M. Munir, ST., M., M. Thoriq Wahyudi, ST., M., Hendri Budi Kurniyanto, S.ST., M., & Dika Anggara, S.ST., M. (2019). *Modul Praktik DT NDT (Issue April).* <http://eprints.stikes-aisiyah.ac.id/773/1/28. Modul Praktik Komunitas.pdf>
- [13] ASTM E 23-16b. (2016). Standard test methods for notched bar impact testing of metallic materials. Standards, i, 1–25. <https://doi.org/10.1520/E0023-16B.2>
- [14] Ilmiyahwan, M. A. R. (2016). Analisa Proses Pengelasan 3g Vertical Up Dan Vertical Down Pada Layer Build Up Terhadap Sifat Mekanik Dan Strukture Makro, Mikro.
- [15] M. Yusuf Setiawan and M. Saleh, "Analisa Pengaruh Arus & Variasi Jarak Kampuh Las Berdasarkan Kekuatan Uji Tarik & Radiografi Pada Proses Pengelasan Material Baja ASTM A36," *J. Ilm. Multidisiplin*, vol. 2, no. 5, pp. 155–170, 2024, [Online]. Available: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1137282>
- [16] B. I. G. Sembiring, U. Budiarto, and ..., "Analisis Pengaruh Variasi Kuat Arus Listrik dan Posisi Pengelasan Shielded Metal Arc Welding (SMAW) Terhadap Kekuatan Material Baja Karbon Sedang," *J. Tek. Perkapalan*, vol. XX, no. X, pp. 1–10, 2024, [Online].