

## Pengaruh *Preheating* terhadap Struktur Mikro dan Ketangguhan pada Pengelasan *Adapter Bucket Excavator* dengan Metode SMAW

Igi Putra Moran Purba dan Rifky\*

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Informatika  
Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA  
Jl. Tanah Merdeka No. 6 Rambutan Ciracas Jakarta Timur DKI Jakarta 13830  
Telp.(021)87782739  
Website: www.ft.uhamka.ac.id  
\*E-mail: rifky@uhamka.ac.id

### Abstrak

Pada alat berat jenis excavator terdapat komponen bucket yang fungsinya menggali, sehingga dalam aplikasinya kerap kali mendapat beban mekanik. Bagian yang mendapat beban terbesar adalah Adapter yang posisinya menyambungkan antara base edge dan Teeth(kuku). Penelitian ini membahas kekuatan adapter yang dilas diantara dua komponen di atas. Adapun tujuan yang ingin dicapai adalah mengetahui struktur mikro dan ketangguhan hasil pengelasan Adapter tersebut. Proses penelitian diawali dengan perlakuan non preheating dan preheating pada temperatur 150°C dan 300°C. Kemudian dilakukan pengelasan metode SMAW dengan proses pengelasan dua lapisan. Benda kerja hasil lasan tersebut dilakukan uji komposisi kimia, struktur mikro, penetran dan kekuatan impak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur preheating berpengaruh terhadap struktur mikro dan ketangguhan hasil lasan

**Kata kunci:** : preheating, adapter, baja base edge, ketangguhan

### Abstract

In excavator type heavy equipment there is a bucket component whose function is to dig, so that in its application it is often subjected to mechanical loads. The part that gets the biggest burden is the adapter whose position connects the base edge and teeth (nails). This study discusses the strength of the adapter welded between the two components above. The goal to be achieved is to know the microstructure and toughness of the adapter welding results. The research process begins with non-preheating and preheating treatments at temperatures of 150°C and 300°C. Then the SMAW method of welding was carried out with a two-layer welding process. The welded workpieces were tested for chemical composition, microstructure, penetrant and impact strength. The results showed that the preheating temperature affected the microstructure and toughness of the welds.

**Keywords:** preheating, adapter, steel base edge, toughness

## 1 PENDAHULUAN

Dalam pekerjaan perakitan komponen mesin dan konstruksi diperlukan teknik penyambungan diantaranya pengelasan, sambungan mur-baut dan sambungan paku keling. Pengelasan merupakan salah satu dari teknologi penyambungan logam. Pengelasan digunakan secara meluas dalam berbagai pekerjaan bidang teknik terutama mesin dan konstruksi. Pengelasan menjadikan biaya lebih rendah, proses pengerjaan yang relatif lebih cepat, serta hasil dan bentuk konstruksi lebih variatif dan lebih ringan [1].

Material rekayasa serbaguna yang mudah digunakan untuk pengelasan adalah baja [2]. Sambungan logam atau baja harus dilakukan dalam kondisi cair, tidak ada pemanasan terlebih dahulu atau non preheating. Penyambungan logam dengan teknik pengelasan memiliki berbagai jenis dan

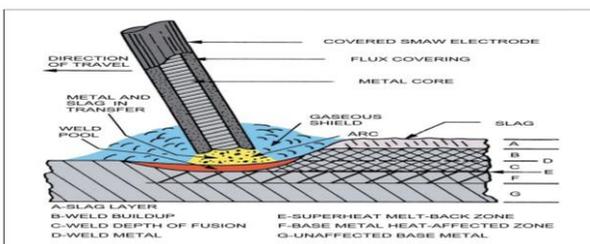
metode, diantaranya las busur listrik. Las busur listrik atau *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) non preheating, menjadi teknik penyambungan yang paling banyak digunakan pada konstruksi baja. Jenis las ini dapat digunakan pada pengelasan *adapter bucket excavator*. *Adapter bucket excavator* adalah salah satu komponen alat berat industri pertambangan yang fungsinya untuk menggali, mengangkat dan memindahkan suatu material. Material pada bagian *adapter bucket* tersebut harus mampu menahan beban dan tahan terhadap keausan pada saat digunakan. Posisi *adapter bucket* diantara *base edge* dan *teeth* yang disambungkan dengan lasan.

Penelitian ini menggunakan metode pengelasan SMAW [1], [3]. Dalam pengerjaannya, metode las SMAW dapat dilakukan di lapangan tidak harus selalu di tempat fabrikasi [4]. Pada pengelasan *adapter* dan plat baja *base edge*, temperatur untuk

*preheating* harus dijaga agar tidak menimbulkan panas berlebihan, karena panas yang berlebihan akan menyebabkan kegagalan prematur pada aplikasi akibat ketangguhan material yang turun secara drastis. Perumusan permasalahan dari penelitian yang dilakukan, bertujuan untuk mencari tahu seberapa besar dampak temperatur *preheating* pada pengelasan *adapter bucket* terhadap struktur mikro dan ketangguhan hasil lasannya. Penelitian pengelasan yang menggunakan jenis las busur listrik sangat luas apalagi menyangkut spesimen atau objek dari material yang akan dilas.

**2 DASAR TEORI**

Las adalah penyambungan logam atau paduan logam yang berupa ikatan metalurgi dan dilakukan pada kondisi cair atau lumer. Sementara yang dimaksud pengelasan merupakan kegiatan menyambungkan dua atau lebih bagian benda yang terbuat dari logam dengan metode memanaskan, metode menekan ataupun dengan cara gabungan kedua metode tersebut, sehingga menyatu sebagai benda utuh [5]. *Shield Metal Arc Welding* (SMAW) atau *stick welding* merupakan jenis pengelasan yang menggunakan elektroda berbentuk *stick* yang dibungkus *fluks*. Pada sisi luar (*coating fluks*) dari elektroda akan terbakar waktu pengelasan dilaksanakan serta ada sebagian elektroda yang terbakar itu menghasilkan gas yang berfungsi untuk memproteksi pengelasan akibat dari kontaminasi udara luar [6]. Pengelasan metode SMAW yang skemanya pada Gambar 1 sangat banyak digunakan dalam pengelasan alat berat atau lainnya. Alasannya adalah metode las ini membutuhkan harga yang terjangkau dan sangat fleksibel dalam penggunaannya [7] di lapangan teknik.



Gambar 1 Skema proses SMAW [8]

Elektroda yang digunakan pada pengelasan baja dengan SMAW adalah elektroda Stick Welding dengan kode "E" seperti E7015, E7016 dan E7018. Pembungkus elektroda pada las jenis ini mempunyai komposisi kimia hidrogen yang sedikit (kurang dari 0,5%), menjadikan deposit las dapat terbebas dari porositas.

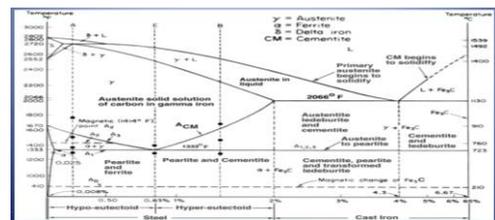
Mampu las atau *weldability* adalah kemampuan material teknik terkait dapat dilas di bawah kondisi

perakitan khusus yang sesuai perancangan struktur serta dapat menghasilkan kinerja yang memuaskan pada praktik pengelasan di lapangan. Baja karbon memiliki kadar mangan dan silikon rendah (1.60% Mn, 1.00%Si) dan kadar karbon di bawah 0,30%, dapat dilas tanpa perlakuan khusus. Ketika kadar karbon melebihi 0,30%, diperlukan *heat treatment* di titik lokasi pengelasan [4]. Ketika ada pemaduan pada baja, kemungkinan diperlukan *heat treatment* yaitu pada awal pengelesan lapisan pertama dengan menghitung karbon ekuivalen. Untuk menghitung karbon ekuivalen (CE) dapat dilakukan dengan rumus: [9]

$$CE = \%C + \% \frac{Mn}{5} + \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} + \frac{\%Ni + \%Cu}{15} \dots\dots\dots (1)$$

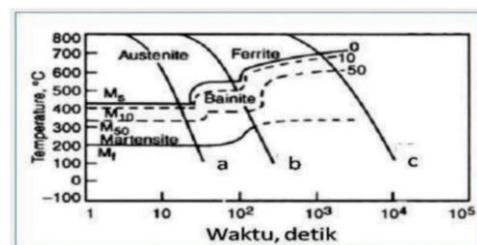
Semua pengelasan harus diperiksa secara visual dan dapat dikatakan diterima jika memenuhi persyaratan dimana cacat las seperti retak atau fusi tidak sempurna. Inspeksi las dilakukan ketika las mendingin pada temperatur ruang inspeksi yang dipersyaratkan adalah sekurang-kurangnya 48 jam setelah proses pengelasan selesai [1].

Diagram fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C pada Gambar 2 merupakan suatu diagram yang menggambarkan korelasi temperatur pemanasan dengan komposisi karbon dalam besi.



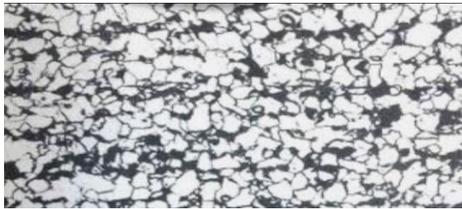
Gambar 2 Diagram fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C [3].

Pada diagram fasa Fe-Fe<sub>3</sub>C ini, selama proses pemanasan atau pendinginan dapat diketahui perubahan kelarutan karbon dalam besi hingga terbentuk fasa-fasa yang spesifik kadar karbonnya dan temperatur pembentukannya. Untuk melengkapi diagram tersebut digunakan Diagram CCT yang ditampilkan pada Gambar 3.



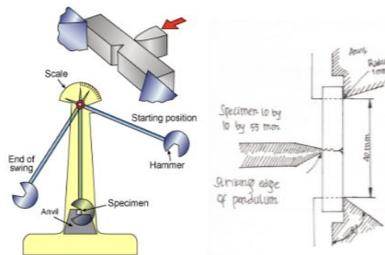
Gambar 3 Diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*) [8]

Pada perlakuan panas, media pendinginan yang tidak sama akan mendapatkan fasa dan struktur mikro yang berbeda. Diagram yang dibutuhkan dalam proses perlakuan panas dengan laju pendinginan berbeda adalah diagram *continuous cooling transformasi* atau lebih dikenal dengan sebutan diagram CCT. Diagram ini mendeskripsikan korelasi laju pendinginan kontinu dengan fasa atau struktur yang terbentuk setelah terjadinya transformasi fasa [10]. Struktur mikro baja karbon rendah diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Struktur mikro ferit (terang) perlit (gelap)[1]

Baja karbon rendah termasuk bukan baja keras karena kadar karbonnya sedikit. Jenis baja ini juga dikenal dengan sebutan baja ringan (*mild steel*) yang mempunyai kadar karbon kurang dari 0,3%. Baja karbon rendah memiliki cukup kekuatan, mudah dibentuk dan dapat dilakukan pengerjaan baik dalam keadaan panas maupun dalam keadaan dingin [11]. Kekuatan pada penelitian ini adalah kekuatan impact yang prinsip ujiannya dijelaskan pada Gambar 5.



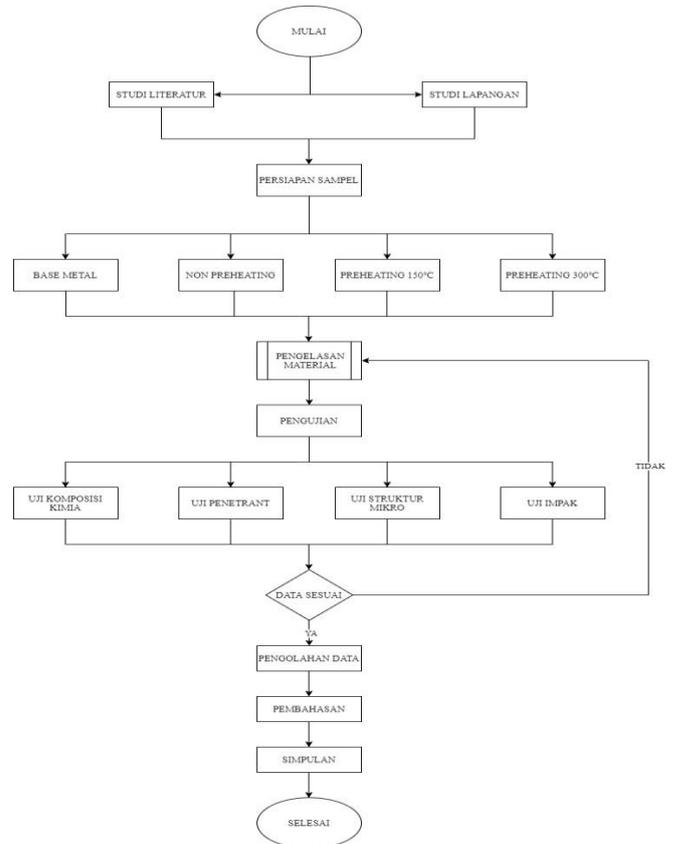
Gambar 5 Prinsip uji impact metode Charpy Test[12]

Prinsip pengujian impact dalam skala metalurgi terjadi jumlah energi yang diserap material sampai terjadinya perpatahan sebagai ukuran ketahanan impact dan ketangguhan material tersebut atas pembebanan yang diberikan secara cepat. Dari metode charpy diperoleh nilai harga impact [12]:

$$HI = \frac{E}{A} \dots \dots \dots (2)$$

**3 METODOLOGI PENELITIAN**

Diagram alir merupakan penjelasan proses penelitian mulai dari awal, pembuatan sampel, perlakuan, pengujian, pengolahan data, pembahasan hingga simpulan. Berikut diagram alir penelitian pada penelitian ini yang disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6 Diagram alir penelitian

Dalam penelitian ini digunakan material dan alat yang diperlihatkan pada Tabel 1.

**Tabel 1** Material dan alat

No	Material	Alat
1	Adapter	Transformator DC/AC
2	Baja base edge	Kabel massa dan kabel elektroda
		Holder dan klem massa
		Elektroda LB.7016 52-U
		Connectors

Prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini:

1. Mempersiapkan sampel penelitian, yang terdiri dari sampel *base metal*, sampel *non preheating*, sampel *preheating 150°C*, dan sampel *preheating 300°C*.
2. Setelah semua sampel selesai dibuat sesuai standar dilakukan proses pengelasan.
3. Semua sampel pada setiap variabel dilakukan pengujian komposisi kimia, pengujian penetran, pengujian impact, pengamatan struktur makro, dan pengujian struktur mikro.
4. Hasil dari pengujian di atas diperoleh data yang perlu diolah.

5. Setelah dilakukan pengolahan data maka dilakukan pembahasan. Setelah pembahasan ditarik simpulan.

Pada pengujian impak terhadap sampel (spesimen) dilakukan dengan lokasi pengujian, seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2.

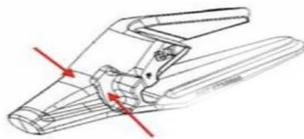
**Tabel 2** Lokasi spesimen impak

Denomination	Centre of the weld	Denomination	Fusion/joint line
	Representation		Representation
VWT 0/b		VWT 0/b	

Keterangan

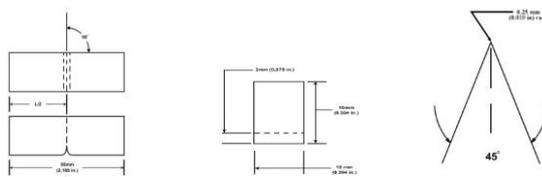
- V : Charpy V-notch
- W : Takikan pada logam las; garis referensi adalah garis tengah dari logam las pada posisi spesimen dan posisi takikan harus pada garis tengah logam las
- H : Takikan pada HAZ ; garis referensi adalah garis fusi
- b : Maksimum 2mm dibawah permukaan dan transversal ke logam las.

Sementara lokasi pengambilan sampel pada uji impak dijelaskan pada Gambar 7.



**Gambar 7** Lokasi spesimen uji impak logam dasar adapter[1]

Bentuk spesimen uji impak dibuat sesuai Gambar 8. Pemotongan sampel tidak boleh dipengaruhi panas baik pada persiapan *coupon test* atau ataupun pemotongan dalam pembuatan spesimen uji impak dan persiapan dari takikan dengan pemesinan sangat penting karena dapat mempengaruhi data yang diperoleh.



**Gambar 8** Standar uji spesimen impak [1]

**4 TEMUAN DAN PEMBAHASAN**

Pada penelitian ini data diperoleh dari pengujian komposisi kimia, pengamatan visual hasil las dengan

uji penetrasi, pengujian impak, pengamatan struktur makro, dan pengujian struktur mikro.

Tabel 3 menjelaskan komposisi kimia *base edge* dengan hasil perhitungan karbon ekivalennya.

**Tabel 3** Komposisi kimia logam baja *base edge* (wt%)

C	Mo	Mn	P	S	Si	Ni	B	Cr	CE
0,26	0,005	1,01	0,008	0,003	0,561	0,005		0,69	0,0595

$$CE = \%C + \% \frac{Mn}{6} + \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} + \frac{\%Ni + \%Cu}{15}$$

$$= 0,26 + \frac{1,01}{6} + \frac{0,69 + 0,05 + 0}{5} + \frac{0,005}{15} (\%)$$

$$= 0,0595\%$$

Sementara untuk komposisi kimia *adafter* dan hasil perhitungan karbon ekivalennya ditampilkan pada Tabel 4.

**Tabel 4** Komposisi kimia logam baja *adapter* (wt%)

C	Mo	Mn	P	Cr	Si	Ni	V	Cu	CE
0,439	0,025	0,829	0,025	2,13	0,516	0,027	0,017	0,030	2,76456

$$CE = \%C + \% \frac{Mn}{6} + \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} + \frac{\%Ni + \%Cu}{15}$$

$$= 0,439 + \frac{0,829}{6} + \frac{2,13 + 0,025 + 0,017}{5} + \frac{0,027 + 0,030}{15} (\%)$$

$$= 2,76456\%$$

Pengamatan terhadap cacat las pada sampel pengelasan dilakukan secara visual dan pengujian tidak merusak (NDT) dengan menggunakan cairan penetrasi. Hasil inspeksi las secara visual tidak ditemukan adanya cacat las dari ketiga sampel las pada pengelasan adapter dengan plat baja *base edge*. Hasil inspeksi las ditampilkan pada Tabel 5.

**Tabel 5** Hasil inspeksi las

Perlakuan panas	Cacat las				
	Retak	Porositas	Undercut	Overlap	Lac of fusion
Non preheating	Tidak ada	5mm	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
Preheating 150°C	Tidak ada	3mm	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada
Preheating 300°C	Tidak ada				

Waktu inspeksi las minimal untuk mengamati adanya retak dingin yaitu 24 jam setelah pengelasan. Pada sampel pengelasan tanpa *preheating* ditemukan adanya porositas yang ditandai dengan warna merah pada cairan *developer* yang berwarna putih sepanjang 5mm. Pada sampel pengelasan *preheating* 150°C ditemukan adanya porositas yang ditandai dengan warna merah pada cairan *developer* yang berwarna putih sepanjang 3mm.

Hasil inspeksi pada sampel *preheating* diperlihatkan pada Gambar 9.



**Gambar 9** Inspeksi las pada sampel tanpa *preheating* dengan uji penetrasi

Pada Gambar 9 hasil uji tanpa *preheating*, yang menghasilkan adanya porositas sepanjang 5 mm. Untuk hasil uji dengan *preheating* 150 °C yang ditampilkan pada Gambar 10 dijumpai porositas sepanjang 3 mm.



**Gambar 10** Inspeksi las pada sampel *preheating* 150 °C dengan uji penetrasi

Pada hasil uji dengan perlakuan *preheating* 300 °C tidak ditemukan porositas, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 11.



**Gambar 11** Inspeksi las pada sampel perlakuan *preheating* 300°C dengan uji penetrasi

Pengujian impak dilakukan pada benda uji dengan variasi perlakuan panas yaitu tanpa *preheating*, *preheating* temperatur 150°C, dan *preheating* temperatur 300°C dimana masing-masing variabel dilakukan satu kali pengujian (satu spesimen) pada temperatur ruang. Adapun hasil pengujian secara lengkap ditampilkan pada Tabel 6.

**Tabel 6** Hasil pengujian impak HAZ dan logam las

NO.	Bagian-bagian sambungan las	Perlakuan panas	Luas penampang (mm <sup>2</sup> )	Energi Impak(Joule)	Harga impak J/mm <sup>2</sup>
3	HAZ baja adapter	Non Preheating (NP)	79,8	204	2,55
4	Logam las		80,3	195	2,42
5	HAZ Baja base edge		80,1	199	2,48
6	HAZ baja adapter	Preheating 150°C	80,1	269	3,35
7	Logam las		80,0	274	3,42
8	HAZ Baja base edge		79,9	288	3,60
9	HAZ baja adapter	Preheating 300°C	80,1	149	1,81
10	Logam las		80,3	154	1,91
11	HAZ Baja base edge		80,2	140	1,74

Pengujian struktur makro dilakukan dengan pengamatan visual yang diperlihatkan pada Gambar 12.

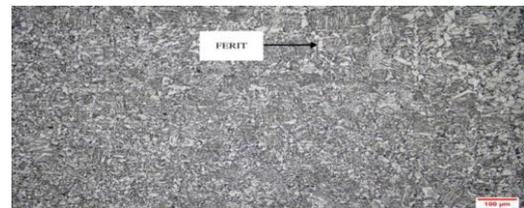


**Gambar 12** Pengamatan struktur makro

Pengujian struktur mikro dengan pembesaran 100 x dilakukan pada spesimen sebagai berikut.

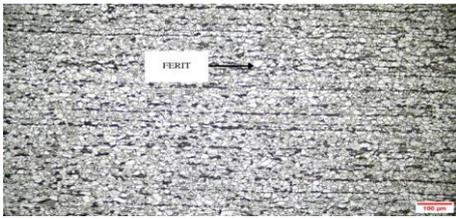
1. Struktur mikro logam dasar

Struktur mikro logam dasar terdiri dari struktur mikro *adafter* pada Gambar 13 dan struktur mikro *base edge* pada Gambar 14 di bawah ini.



**Gambar 13** Struktur mikro material *adapter non preheating*

Pada Gambar 14 struktur mikro material *adapter* menunjukkan bahwa butir halus dengan fase ferrit (terang) dengan dominasi fase pearlit (gelap).

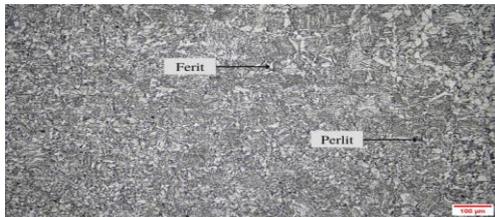


**Gambar 14** Struktur mikro baja base edge

Pada struktur mikro material baja *base edge* menunjukkan bahwa butir lebih kasar, dimana fasa ferit mendominasi, sedangkan fase pearlit lebih sedikit.

## 2. Pengujian struktur mikro *non preheating*

Untuk pengujian struktur mikro *non preheating* terdiri dari struktur mikro daerah HAZ *adapter* (Gambar 15), logam las (Gambar 16), dan daerah HAZ *base edge* (Gambar 17).



**Gambar 15** Struktur mikro haz *adapter*

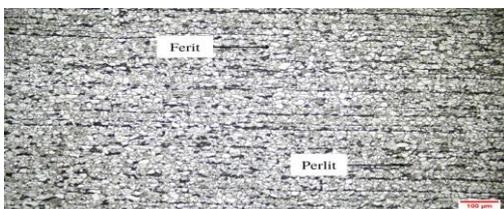
Struktur mikro daerah HAZ *adapter* pada Gambar 15 menunjukkan ukuran butir halus dengan fasa pearlit lebih banyak daripada fasa ferit.



**Gambar 16** Struktur mikro logam las

Pada struktur mikro material logam las pada Gambar 16 tampak bahwa dimensi butir lebih kasar dengan pearlit lebih sedikit daripada ferit.

Struktur mikro HAZ *base edge* diperlihatkan pada Gambar 17.

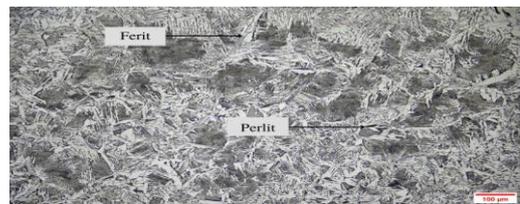


**Gambar 17** Struktur mikro HAZ *base edge*

Sementara struktur mikro daerah HAZ *base edge* pada Gambar 17 menunjukkan ukuran butir paling kasar dengan fasa ferit lebih dominan daripada fasa pearlit.

## 3. Pengujian struktur mikro *preheating* 150°C

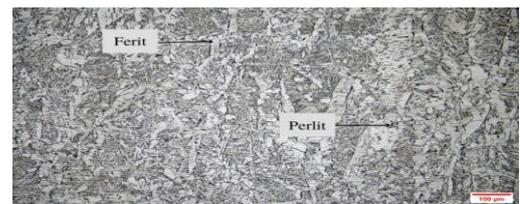
Struktur mikro dengan *preheating* 150 °C diperlihatkan pada Gambar 18 untuk daerah HAZ *adapter*, Gambar 19 untuk logam lasan, dan Gambar 20 untuk daerah HAZ *base edge*.



**Gambar 18** Struktur mikro HAZ *adapter*

Struktur mikro daerah HAZ *adapter* pada Gambar 18 menunjukkan ukuran butir kasar tidak tertata dengan dominan pada fasa ferit dibanding fasa pearlit.

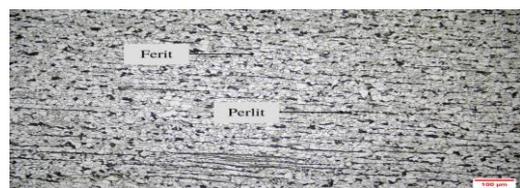
Struktur mikro logam lasan disajikan pada Gambar 19.



**Gambar 19** Struktur mikro logam las

Untuk struktur mikro material logam las pada Gambar 19 menunjukkan ukuran butir lebih tertata dengan fasa pearlit lebih banyak dari fasa ferit.

Hasil uji struktur mikro HAZ *adapter* diperlihatkan pada Gambar 20.

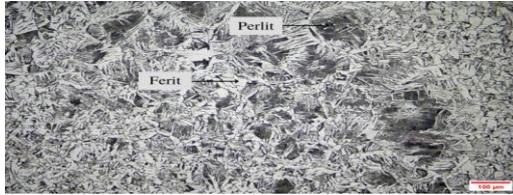


**Gambar 20** Struktur mikro haz *base edge*

Pada struktur mikro daerah HAZ *adapter* pada Gambar 20 menunjukkan bahwa butir tersusun dengan ukuran homogen, dimana fase ferit lebih dominan dari fase pearlit.

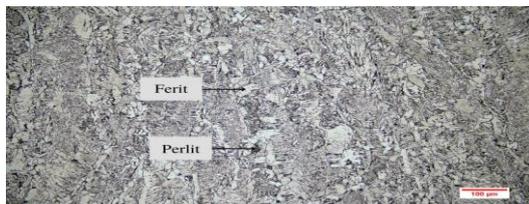
#### 4. Pengujian struktur mikro *preheating* 300°C

Struktur mikro *preheating* 300 °C terdiri atas struktur mikro HAZ *adafter* pada Gambar 21, struktur mikro logam lasan pada Gambar 22, dan struktur mikro HAZ *base edge* pada Gambar 23.



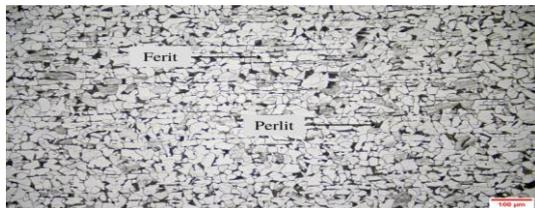
**Gambar 21** Struktur mikro HAZ *adapter*

Struktur mikro material HAZ *adapter* pada Gambar 21 menunjukkan bahwa butir acak dengan dominan fase ferit dibanding fasa pearlit.



**Gambar 22** Struktur mikro logam las

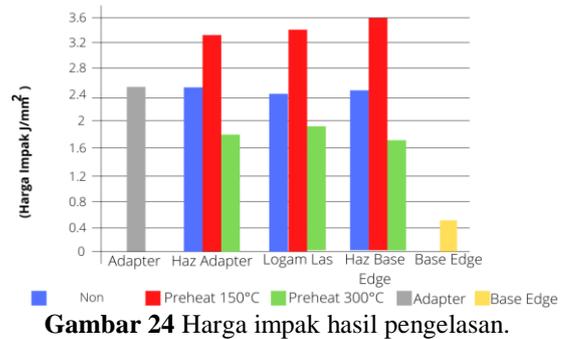
Pada struktur mikro material logam las pada gambar 22 menunjukkan bahwa butir kasar dengan lebih banyak fase ferit daripada fase pearlit.



**Gambar 23** Struktur mikro HAZ *base edge*.

Sementara struktur mikro daerah HAZ *base edge* menunjukkan butir dengan ukuran lebih besar dan didominasi fase ferit dibanding fase pearlit.

Untuk memperoleh sifat ketangguhan material digunakan pengujian impak. Hasil pengujian impak pada penelitian ini ditampilkan pada Gambar 24 di bawah ini.



**Gambar 24** Harga impak hasil pengelasan.

Dari gambar di atas terlihat bahwa *preheating* 150°C pada HAZ *adapter*, logam las, dan HAZ *base edge* memiliki nilai impak terbesar. Setelah dilakukan pengelasan terjadi variasi nilai impak baik HAZ maupun logam las. Secara umum dengan meningkatnya temperatur *preheating* maka nilai ketangguhan pada daerah las akan bervariasi [13].

## 5 SIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Temperatur *preheating* pada pengelasan *adapter bucket excavator* berpengaruh pada struktur mikro dan ketangguhan hasil lasan.
2. Material *adapter* memiliki sifat mampu las yang baik.

## DAFTAR KEPUSTAKAAN

- [1] A. Chandra, "Pengaruh Preheating terhadap Ketangguhan dan Struktur Mikro pada Pengelasan Adapter Bucket Excavator dengan Metode GMAW," 2011.
- [2] Adi Nugroho, "Kekuatan Tarik dan Kekerasan Sambungan Las Plate. Jurnal Rekayasa Sistem Industri," *Adi Nugroho*, vol. 3, no. 2, pp. 134–142, 2018.
- [3] H. Palgunadhi, H. Pratikno, D. T., "Tugas Akhir - mo141326," 2017.
- [4] K. Oktalda, "Analisis Perbandingan Sifat Mekanik Lasan SMAW dan GMAW pada Plat Baja A36 pada Lingkungan Air Laut, Air Tawar, dan Darat," p. 135, 2016.
- [5] M. Nur, A. Syahrani, and Naharuddin, "Analisis Kekuatan Tarik, Kekerasan, dan Struktur Mikro Pada Pengelasan SMAW Stainless Steel 312 dengan Variasi Arus Listrik," *J. Mek.*, vol. 9, no. 1, pp. 814–822, 2018

- [6] J. Affi and Gunawarman, "Pengaruh Lapisan Oksida Tambahan pada Struktur Mikro Lasan Baja Karbon Rendah," *Teknika*, vol. 1, no. 28, pp. 1–20, 2007.
- [7] A. Jaenal, "Pengaruh Jenis Elektroda terhadap Sifat Mekanik Hasil Pengelasan SMAW Baja ASTM A36," *Momentum*, vol. 13, no. 1, pp. 27–31, 2017.
- [8] A. O. Brien, *Welding Handbook*, vol. 1. 1987.
- [9] P. T. Iswanto and R. A. Himarosa, "Karakterisasi Sambungan SMAW Baja Karbon Rendah Menggunakan 3 Jenis Elektroda," *Mater. dan Proses Manufaktur*, vol. 1, no. 2, pp. 103–109, 2017.
- [10] D. I. Wijaya *et al.*, "PowerPlant," vol. 4, no. 2, 2016.
- [11] Nurul Insani, "Analisis Struktur Micro Material Baja Karbon (St 37) SNI Akibat Proses Bending," *BMC Public Health*, vol. 5, no. 1, pp. 1–8, 2017.
- [12] S. A. Jalil, Z. Zulkifli, and T. Rahayu, "Analisa Kekuatan Impak pada Penyambungan Pengelasan SMAW Material ASSAB 705 dengan Variasi Arus Pengelasan," *J. POLIMESIN*, vol. 15, no. 2, p. 58, 2017.
- [13] S. Askar, S. Sinarep, and N. H. Sari, "Pengaruh Preheat dan Tempering terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan Baja JIS SS 400," *Din. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 1, pp. 16–25, 2013.