

ANALISIS STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIS HASIL LAS TITIK DAN BRAZING UNTUK INDUSTRI RUMAHAN

*Deivandra Ginanjar Bhakti¹, Gunawan Dwi Haryadi², Yusuf Umardani²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: deivandra.ginanjar@gmail.com

ABSTRACT

In the welding process there are several factors that determine the success of welding. The alteration of microstructure of joined metals are expected to change the structure of the material into more dense to make connections become stronger. In this study, the material used is ferrous steel plate with a maximum thickness of 1mm. In order to know the results, It required to use some variation of a parameter such as pressing time and plate thickness used for metal welding process. The process using home brazing welding machine, the connections are welded and welding receive local heat and during the process the temperature is constantly changing so that the temperature distribution is uneven. As a result of this stretch then analyzed the results of the micro structure of the welding process using brazing home welding machine. After analysis of the microstructure was done then analyze the mechanical properties of the weld joint, all this analysis needs to be done in order to ascertain the connection is really strong welds and brazing machine can be used for home-scale cottage industry. The results of this study indicate that nugget on hardness Vickers test has a value higher than of the base metal which is 172.78 for 8.6 A current and welding time 20 second 191.58 for 6 A current and welding time of 10 second, and the value of base metals 165.7 so percentage obtained with increasing force to the current value of 8.6 A is 7.1 % and for the current 6 A 25.8 %

Keywords: Hardness Vickers test, Soldering, Brazing, Micro Structure, Spot Welding

1. PENDAHULUAN

Pada proses pengelasan ada beberapa faktor yang menentukan keberhasilan pengelasan, dimana perubahan struktur mikro logam yang disambung diharapkan mengalami perubahan struktur material menjadi lebih padat sehingga hasil sambungan menjadi lebih kuat. Pada pengelasan titik dapat juga dilakukan beberapa variasi arus maupun jarak antara titik-titik las. Las titik adalah pengelasan yang dilakukan dengan cara menjepit dua atau lebih lembaran logam diantara elektroda logam dengan menggunakan energi panas. Tujuan yang hendak dicapai dari dilaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut [1]:

- 1) Menganalisa struktur mikro hasil lasan menggunakan mesin las *brazing* rumahan.
- 2) Menganalisa sifat mekanis dan mengetahui kekuatan hasil sambungan las menggunakan mesin las *brazing* rumahan.

Manfaat penelitian:

- 1) Mempermudah masyarakat dalam melakukan pengelasan titik.
- 2) Mengetahui kekuatan sambungan hasil lasan.
- 3) Mendapatkan mesin las titik yang bisa dipakai *brazing* dan *soldering*.

Struktur mikro adalah struktur terkecil yang terdapat dalam suatu bahan yang keberadaannya tidak dapat dilihat dengan mata telanjang, tetapi harus menggunakan alat pengamat struktur mikro

diantaranya *mikroskop* cahaya, *mikroskop electron*, *mikroskop field emission* dan *mikroskop sinar-X*. adapun manfaat dari pengamatan struktur mikro ini adalah [2]:

- 1) Mempelajari hubungan antara sifat-sifat bahan dengan struktur dan cacat pada bahan.
- 2) Memperkirakan sifat bahan jika hubungan tersebut sudah diketahui.

Deformasi terjadi bila bahan menerima gaya dari luar, gaya tersebut berupa gaya tekan, gaya tarik, dan gaya punter. Pengaruh gaya tarik dan tekan terdapat nilai tegangan dan regangan. Regangan (*strain*) e , adalah deformasi per satuan panjang, dan tegangan (*stress*) s , adalah gaya per satuan luas. Selama deformasi, bahan menyerap energi sebagai akibat adanya gaya yang bekerja sepanjang jarak deformasi. Kekuatan (*strength*) adalah ukuran besar gaya yang diperlukan untuk mematahkan atau merusak suatu bahan. Keuletan (*ductility*) dikaitkan dengan besar regangan permanen sebelum patahan, ketangguhan (*toughness*) dikaitkan dengan sejumlah energi yang diserap bahan sampai patah [3].

Uji kekerasan berfungsi untuk mengetahui nilai kekerasan dari material uji. Kekerasan suatu bahan merupakan kemampuan bahan dalam menghambat deformasi plastik yang terjadi (dalam bentuk lekukan kecil atau goresan).

Proses pengujian tarik mempunyai tujuan utama untuk mengetahui kekuatan tarik bahan uji. Bahan uji

adalah bahan yang akan digunakan sebagai konstruksi, agar siap menerima pembebanan dalam bentuk tarikan

Pengelasan adalah suatu proses penyambungan plat atau logam menjadi satu akibat panas dengan atau tanpa tekanan. Yaitu dengan cara logam yang akan disambung dipanaskan terlebih dahulu hingga meleleh, kemudian baru disambung dengan bantuan perekat. Selain itu las juga bisa didefinisikan sebagai ikatan metalurgi yang timbul akibat adanya gaya tarik antara atom

Las Titik yang merupakan salah satu proses las tertua banyak digunakan di industri khususnya industri yang banyak mengerjakan plat seperti industri otomotif.

Pada las titik logam yang akan disambung umumnya berbentuk lembaran (*sheet*) disusun dalam konfigurasi sambungan tumpang (*lap joint*) dan sambungan tumpul (*butt joint*). Kedua lembaran logam tersebut ditekan satu sama lain menggunakan elektroda dan pada saat yang sama arus listrik dialirkan sehingga permukaan yang kontak dengan elektroda menjadi panas karena adanya tahanan listrik kemudian mencair.

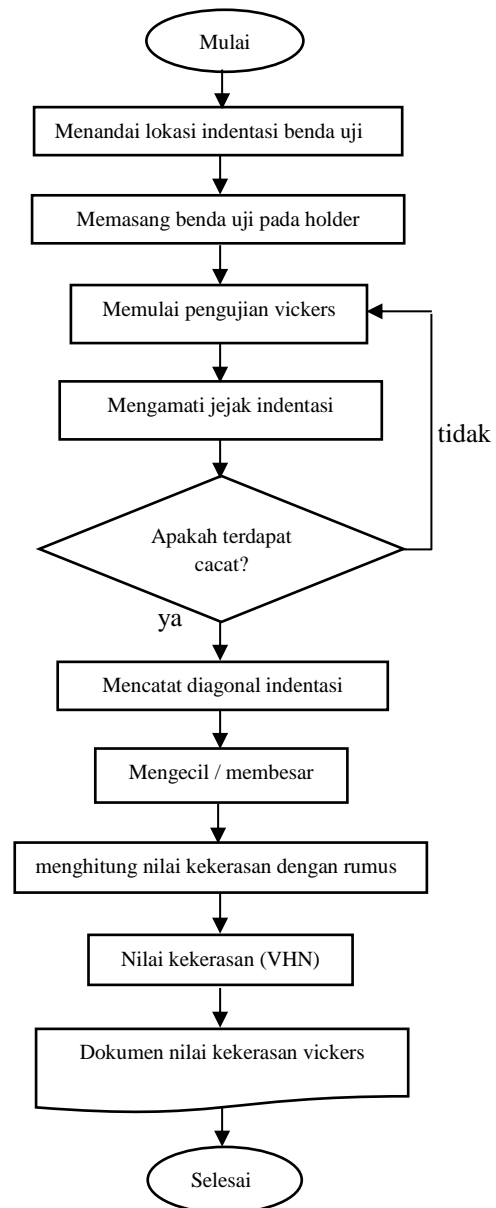
Solder keras dibagi dalam dua kelompok yakni : Brazing dan silver. Pembagian kelompok ini berdasarkan komposisi penyolderan, titik cair dan fluks yang digunakan. Brazing mempunyai komposisi kandungan tembaga dan seng. Fluks yang digunakan dalam proses penyolderan adalah boraks dengan menggunakan pemanas antara 880° - 890° C.

2. MATERIAL DAN METODOLOGI

Pengujian menggunakan metode *Vickers* untuk mengukur nilai kekerasan nugget las titik. Langkah-langkah pengujian kekerasan adalah sebagai berikut [4]:

- 1) Menentukan dan menandai titik-titik pada nugget yang akan di uji kekerasannya
- 2) Meletakkan spesimen pada holder.
- 3) Memulai pengujian kekerasan *Vickers*.
 - Mengamati titik-titik yang akan di indentasi menggunakan mikroskop dan seting meja uji dengan tuas penggeser agar titik-titik indentasi berada dalam area dua garis ukur.
 - Mengatur jarak dari lensa okuler.
 - Memilih beban dan waktu indentasi yang dikehendaki dengan menekan tombol *load* dan *time*.
 - Melakukan indentasi dengan menekan tombol start dan menunggu sampai tampak nilai diagonal indentasi pada layar.
 - Mengganti indenter dengan lensa okuler dan mengamati apakah jejak indikasi mengalami cacat bentuk atau tidak. Jika terdapat cacat jejak seperti *concavity* atau *convexity*, maka kembali ke langkah A dengan lokasi indentasi yang berbeda.
- 4) Mencatat nilai hasil pengujian *Vickers*.
- 5) Menghitung nilai kekerasan dari data diagonal indentasi rata-rata menggunakan rumus.

- 6) Mencatat nilai kekerasan *Vickers* pada data *sheet* yang disediakan. Data sheet nilai kekerasan *Vickers* bahan tercantum pada lampiran.



Gambar 1. Diagram alir pengujian *Vickers*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Panas pada pengelasan titik merupakan parameter yang sangat ditentukan oleh besarnya arus dan waktu pengelasan. Pada penelitian ini, untuk mengetahui kualitas *nugget* hasil pengelasan mesin las titik skala industri rumahan (SIR) maka digunakan acuan yaitu mesin las titik buatan pabrik (TECNA). Berikut ini adalah spesifikasi dari kedua mesin las titik.

No.	Spesifikasi	Mesin las titik SIR	Mesin las titik acuan
1.	Arus maksimum	8.6 A	10200 A
2.	Tegangan input	220 V (1 fasa)	380 V (3 fasa)
3.	Kapasitas	2200 VA	23kVA
4.	Frekuensi	50/60 Hz	50/60 Hz
5.	Tegangan output	1,8 V	-
6.	Arus yang digunakan	6 - 8.6 A	5000 A
7.	Diameter elektroda	15.4 mm	25.4 mm
8.	Pengoperasian	Hand operated	Foot operated

Tabel 1. Spesifikasi mesin las titik.

Pada pengelasan titik dengan menggunakan las titik skala industri rumahan, digunakan arus pengelasan sebesar 8.6 ampere dan waktu pengelasan antara lain: 10 detik dan 20 detik sehingga nilai panas (H) dapat di hitung, yaitu:

- Pada waktu $t = 10$ detik dan arus 8.6 A

$$\begin{aligned}
 H &= I^2 R t \\
 &= 8.6^2 \times 1.5 \times 10 \\
 &= 73.96 \times 1.5 \times 10 \\
 &= 1109.4 \text{ Joule}
 \end{aligned}$$

- Pada waktu $t = 20$ detik dan arus 6 A

$$\begin{aligned}
 H &= I^2 R t \\
 &= 6^2 \times 1.5 \times 20 \\
 &= 36 \times 1.5 \times 20 \\
 &= 1080 \text{ joule}
 \end{aligned}$$

Sedangkan besarnya panas yang diterapkan pada pengelasan dengan mesin las titik acuan (TECNA) dengan arus 8 A dan waktu pengelasan 3 detik adalah:

$$\begin{aligned}
 H &= I^2 R t \\
 &= 8^2 \times 1.5 \times 2 \\
 &= 64 \times 1.5 \times 2 \\
 &= 280 \text{ Joule}
 \end{aligned}$$

Logam dasar yang digunakan sebagai material pada penelitian ini adalah plat besi karbon tebal 1 mm dengan komposisi kimia dapat dilihat pada Tabel 1. Dari Tabel 1 diatas, dapat diketahui bahwa logam dasar yang digunakan pada penelitian ini termasuk besi karbon rendah karena kandungan karbon kurang dari 0.25% berat yaitu (0.09988% berat) dan tidak responsif terhadap perlakuan panas sampai menghasilkan struktur bainit. Kekeuatan dihasilkan dengan pengerjaan dingin. Struktur mikro mengandung ferit

dan perlit. Sebagai konsekuensinya, paduan ini cenderung lunak tetapi memiliki keuletan (*ductility*) dan ketangguhan (*toughness*) sehingga material ini mudah dalam permesinan, pengelasan. Secara umum. Besi karbon rendah memiliki kekuatan luluh (*yield strength*) 275 Mpa, kekuatan tarik antara 450-550 Mpa, dan keuletan 25% EL.

Tabel 2. Hasil uji komposisi logam dasar.

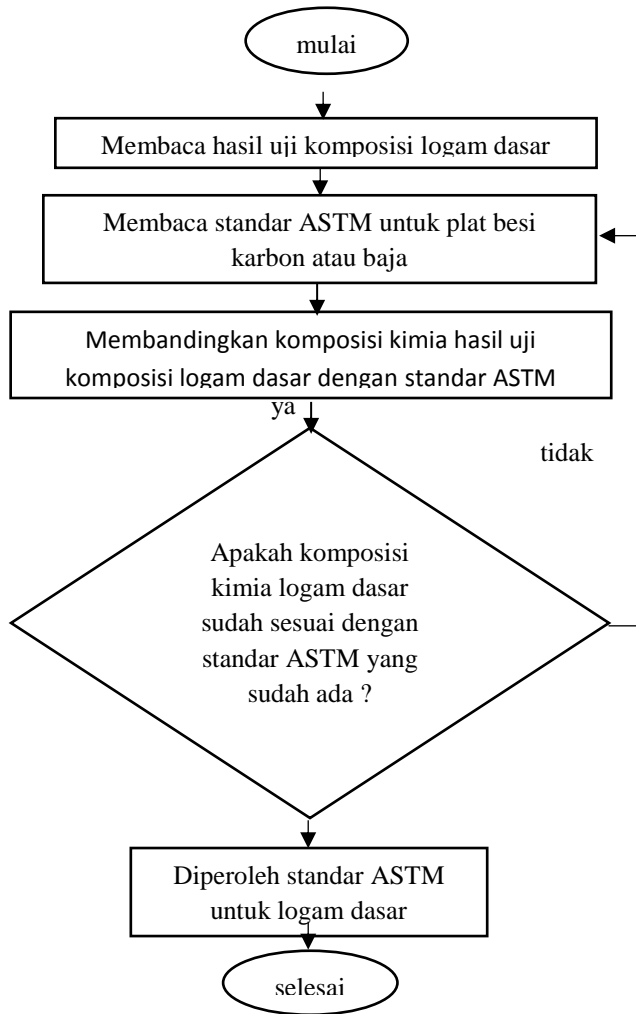
No.	Unsur	(%) berat
1.	C	0.09988
2.	Si	0.01282
3.	S	0.00485
4.	P	0.01108
5.	Mn	0.38653
6.	Ni	0.00705
7.	Cr	0.01836
8.	Mo	0.00705
9.	V	0.00724
10.	Cu	0.00891
11.	W	0.00346
12.	Ti	0.00216
13.	Sn	0.03734
14.	Al	0.08110
15.	Pb	0.00252
16.	Sb	0.00230
17.	Nb	0.00098
18.	Zr	-
19.	Zn	0.00252
20.	Fe	99.3102

Dari hasil uji komposisi logam dasar tersebut, kita dapat menghitung nilai kesetaraan karbon, yaitu:

$$\begin{aligned}
 C_{eq} &= C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \\
 C_{eq} &= 0.09988 + \frac{0.38653}{6} + \frac{0.01836+0.00705+0.00724}{5} \\
 &\quad + \frac{0.00705+0.00891}{15} \\
 C_{eq} &= 0.09988 + 0.06442 + 0.00653 + 0.00106 \\
 C_{eq} &= 0.17189
 \end{aligned}$$

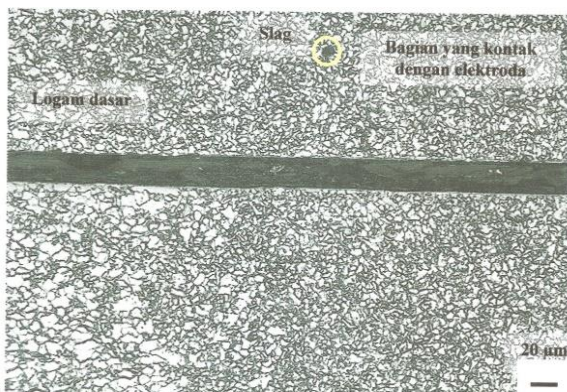
Karena nilai $CE = 0.17189 \leq 0.45$ maka logam dasar tersebut mampu las.

Sesuai dengan hasil uji komposisi, logam dasar adalah plat besi karbon dengan karbon rendah, yaitu AISI 1010. Cara menentukan standart logam dasar dapat dilihat pada Gambar 2.

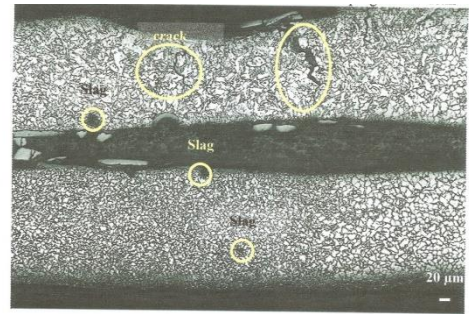


Gambar 2. Diagram alir menentukan standar logam dasar.

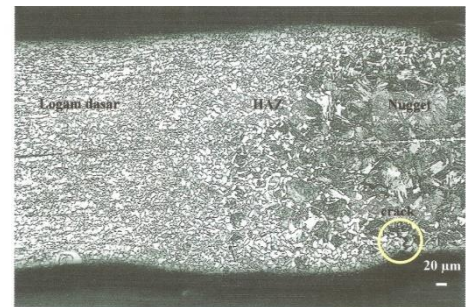
Hasil pengamatan mikrofografi pada *nugget* las titik SIR



Gambar 3. Hasil pengamatan mikrofografi (perbesaran 20 µm) untuk *nugget* las titik SIR dengan arus 8.6 A dan waktu pengelasan selama 10 detik.

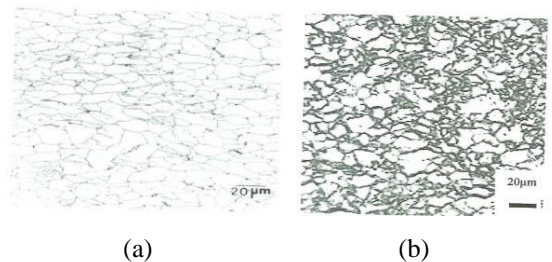


Gambar 4. Hasil pengamatan mikrofografi (perbesaran 20 µm) untuk *nugget* las titik SIR dengan arus 6 A dan waktu pengelasan selama 20 detik.

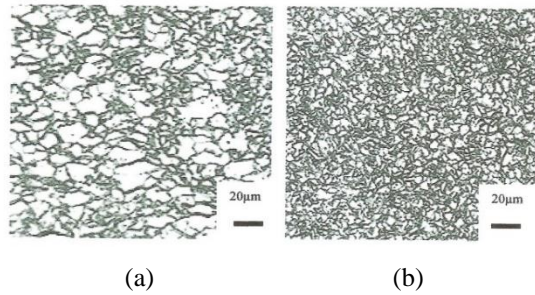


Gambar 5. Hasil pengamatan mikrofografi (perbesaran 20 µm) untuk *nugget*, HAZ, dan logam dasar las titik acuan (TECNA) dengan arus 8 A dan waktu pengelasan 3 detik.

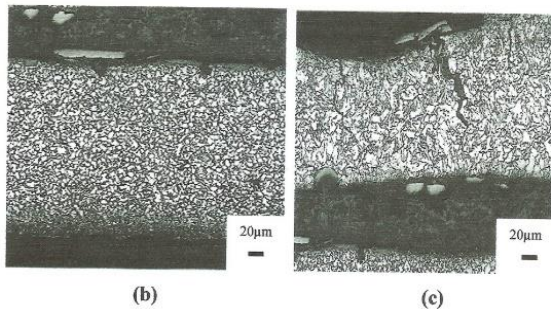
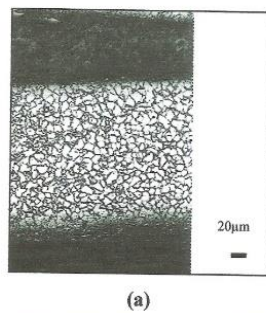
Dari hasil penamatan mikrofografi, kita akan memperoleh data mengenai struktur mikro dari *nugget* las titik skala industri rumahan (SIR) dan las titik acuan (TECNA). Dari struktur mikro tersebut, kita akan menganalisa pengaruhnya terhadap sifat kekerasan dan melihat ada tidaknya retakan.



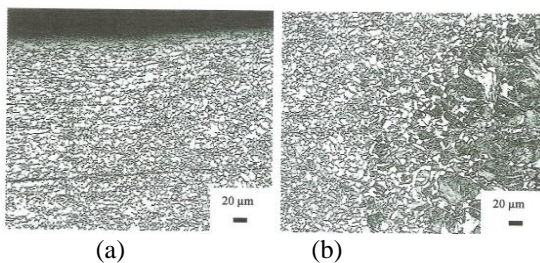
Gambar 6. (a) Struktur mikro UNS G10080 *steel* di normalisasi pada 20 µm daerah gelap adalah *pearlite* dan daerah terang adalah *ferrit*. (b) Struktur mikro logam dasar yang digunakan pada pengelasan titik baik dengan mesin las titik SIR maupun las titik acuan pada perbesaran 20µm, yaitu AISI 1010. Daerah terang adalah ferit dan daerah gelap adalah perit.



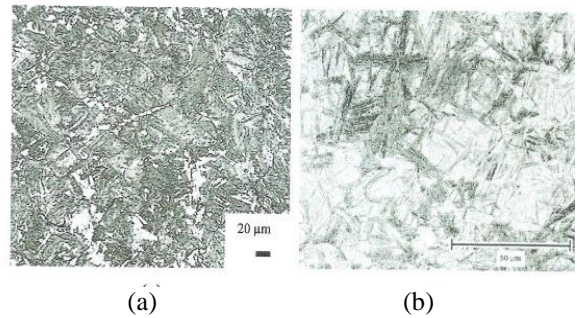
Gambar 7. Struktur mikro pada pengelasan dengan mesin las titik skala industri rumahan dengan arus 8.6 A dan waktu pengelasan 10 detik, pada perbesaran 20 μm . Daerah terang adalah *ferrite*, daerah gelap adalah *pearlite*. (a) Struktur mikro logam dasar. (b) Struktur mikro daerah yang kontak dengan elektroda.



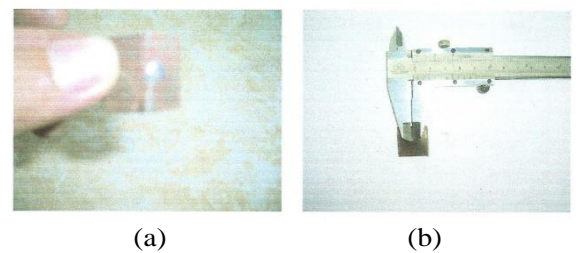
Gambar 8. Struktur mikro pada pengelasan dengan mesin las titik skala industri rumahan dengan arus 6 A dan waktu pengelasan 20 detik, pada perbesaran 200x. Daerah terang adalah *ferrite*, daerah gelap adalah *perlite* (a) Struktur mikro logam dasar. (b) HAZ. (c) Struktur mikro daerah yang kontak dengan elektroda.



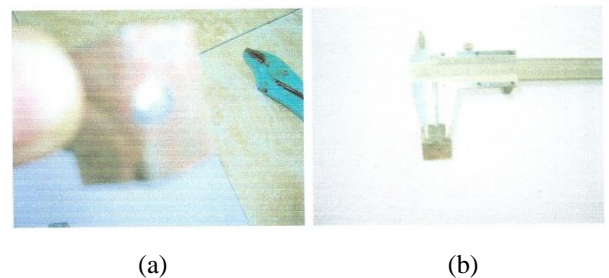
Gambar 9. Struktur mikro pada pengelasan dengan mesin las titik acuan dengan arus 8 A dan waktu pengelasan 3 detik (a) Struktur mikro logam dasar, perbesaran 20 μm . Daerah terang adalah *ferrite*, daerah gelap adalah *pearlite*. (b) Struktur mikro HAZ, pada perbesaran 20 μm . Struktur sudah terbentuk *bainit*.



Gambar 10. (a) Struktur mikro *nugget* hasil las titik acuan dengan arus 8 A dan waktu pengelasan 3 detik pada perbesaran 20 μm , struktur di dominasi oleh *bainit*. (b) Struktur mikro *bainit* pada UNS G43400 steel pada perbesaran 400x.



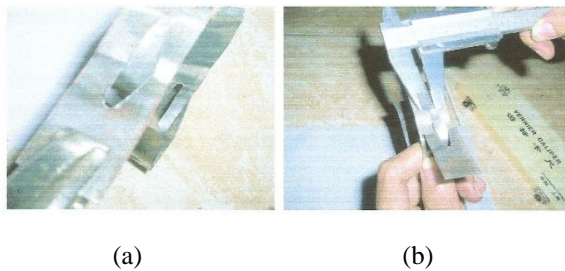
Gambar 11. (a) Hasil *peel test* las titik skala industri rumahan dengan arus 8.6 A dan waktu pengelasan 10 detik (b) Pengukuran diameter *nugget*.



Gambar 12. (a) Hasil *peel test* las titik skala industri rumahan dengan arus 6 A dan waktu pengelasan 20 detik (b) Pengukuran diameter *nugget*.

Tabel 3. Hasil pengukuran diameter *nugget* las titik SIR dengan arus 8.6 A dan waktu pengelasan 10 detik

No.	<i>Nugget</i>	Diameter <i>nugget</i> (mm)	Keterangan
1.	<i>Nugget</i> 1	1.8	Rusak di <i>nugget</i>
2.	<i>Nugget</i> 2	2.0	Rusak di <i>nugget</i>
3.	<i>Nugget</i> 3	1.7	Rusak di <i>nugget</i>
4.	<i>Nugget</i> 4	1.9	Rusak di <i>nugget</i>
5.	<i>Nugget</i> 5	2.1	Rusak di <i>nugget</i>
Hasil rata-rata		1.9	<i>Brittle</i>



Gambar 13. (a) Hasil *peel test* las titik acuan dengan arus 8 A dan waktu pengelasan 3 detik (b) Pengukuran diameter *nugget*.

Tabel 4. Hasil pengukuran diameter *nugget* las titik acuan dengan arus 8 A dan waktu pengelasan 3 detik.

No. <i>Nugget</i>	Diameter <i>nugget</i> (mm)	Keterangan
1. <i>Nugget</i> 1	4.2	Rusak di plat
2. <i>Nugget</i> 2	4.3	Rusak di plat
3. <i>Nugget</i> 3	4.1	Rusak di plat
4. <i>Nugget</i> 4	4.3	Rusak di plat
5. <i>Nugget</i> 5	4.1	Rusak di plat
Hasil rata-rata	4.2	<i>Ductile</i>

Dari Tabel 4 dan Tabel 5 dapat diketahui bahwa pada pengelasan titik dengan mesin las titik skala industri rumahan menghasilkan diameter *nugget* rata-rata 1.9 mm untuk waktu pengelasan 10 detik. Setelah *peel test*, seluruh *nugget* yang dihasilkan las titik skala industri rumahan rusak sehingga sambungan las titik skala industri rumahan tidak memiliki *ductility*. Sedangkan pada pengelasan dengan mesin las titik acuan dihasilkan diameter *nugget* rata-rata 4.2 mm, dan setelah *peel test* hasilnya adalah *nugget* yang utuh dan rusak pada bagian plat sehingga sambungan las titik acuan memiliki sifat *ductility*. Untuk mendapatkan diameter *nugget* yang optimum, teknik pengelasan titik yang harus diterapkan adalah melakukan pengelasan dengan arus tinggi yang sesuai dengan logam dasar dengan waktu pengelasan yang cepat.

Titik	Nilai kekerasan logam dasar (kg/mm^2)		
	d1	d2	VHN
1	34.18	32.73	165.7

Tabel 5. Hasil uji kekerasan pada logam dasar.

Tabel 6. Hasil uji kekerasan pada *nugget* pengelasan mesin las titik SIR dengan arus 8.6 A dan waktu pengelasan 10 detik.

No.	Titik	<i>nugget</i> las titik SIR 10 detik (kg/mm^2)		
		d1	d2	VHN
1.	1	34.92	35.01	151.7
2.	2	32.72	32.32	175.3
3.	3	33.60	32.09	171.9
4.	4	31.00	30.62	195.3
5.	5	33.27	32.85	169.7
VHN rata-rata				172.78

Tabel 7. Hasil uji kekerasan pada *nugget* pengelasan mesin las titik SIR dengan arus 6 A dan waktu pengelasan 20 detik.

No.	Titik	<i>nugget</i> las titik SIR 20 detik (kg/mm^2)		
		d1	d2	VHN
1.	1	29.94	30.45	203.4
2.	2	32.05	30.93	187.0
3.	3	32.54	32.18	177.1
4.	4	31.75	31.11	187.8
5.	5	30.34	30.17	202.6
VHN rata-rata				191.58

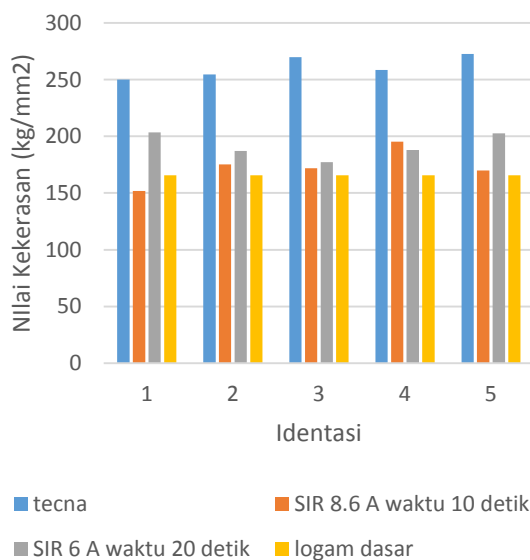
Tabel 8. Hasil uji kekerasan pada *nugget* pengelasan mesin las titik acuan dengan arus 8 A dan waktu pengelasan 3 detik.

No.	Titik	<i>nugget</i> las titik TECNA 3 detik (kg/mm^2)		
		d1	d2	VHN
1.	1	26.88	27.60	249.9
2.	2	27.17	26.83	254.4
3.	3	27.05	25.41	269.6
4.	4	27.59	25.99	258.4
5.	5	27.02	25.15	272.5
VHN rata-rata				260.96

Kekerasan pada *nugget* las titik skala industri rumahan dan acuan diukur dengan metode *microhardness vickers*. Pada pengujian ini, indentasi dilakukan pada lima titik untuk logam dasar dan masing-masing hasil las titik (sesuai Tabel 6 dan Tabel 9)

Dari Tabel 6 dan Tabel 9, maka dapat diperoleh grafik sesuai Gambar 13. Dari grafik tersebut, nilai rata-rata kekerasan *nugget* las titik skala industri rumahan dengan arus 8.6 A pada waktu pengelasan 10 detik adalah 172.78 kg/mm² sedangkan pada waktu pengelasan 20 detik dengan arus 6 A adalah 191.58 kg/mm². Keduanya lebih besar dari nilai kekerasan logam dasar yaitu 165.7 kg/mm² dan lebih kecil dari nilai kekerasan hasil las titik acuan yaitu 260.96 kg/mm².

Dari pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa struktur mikro hasil las titik skala industri rumahan terdiri atas *ferrite* dan *pearlite* dengan *interlamellar spacing* yang lebih rapat dibanding logam dasar, sehingga nilai kekerasannya sedikit lebih besar dari logam dasar (kekerasan logam dasar = 165,7 kg/mm²). Sedangkan struktur mikro *nugget* hasil las titik acuan di dominasi oleh struktur *bainit*, sehingga kekerasannya tinggi. Dari perbandingan kedua *nugget* las titik tersebut kita dapat mengetahui bahwa arus dan waktu pengelasan pada las titik akan mempengaruhi besarnya nilai kekerasan *nugget*. Semakin besar arus dan semakin cepat waktu pengelasan yang diterapkan, maka nilai kekerasan akan meningkat.



Gambar 14. Grafik nilai kekerasan *Vickers*.

Dari keseluruhan analisa data dan pembahasan, dapat diperoleh tabel perbandingan hasil las titik skala industri rumahan dengan hasil las titik acuan berikut:

Tabel 9. Perbandingan hasil las titik SIR dengan hasil las titik acuan.

No	Kriteria	Hasil SIR		Hasil las titik
		Waktu pengelasan 10 detik	Waktu pengelasan 6 detik	Acuan dengan waktu pengelasan
1.	Arus	8.6 A	6 A	8 A
2.	<i>Nugget</i>	Tidak tersambung dengan sempurna	Tidak tersambung dengan sempurna	Terbentuk <i>nugget</i>
3.	Struktur mikro	Ferit dan perlit	Ferit dan perlit	Terbentuk bainit
4.	Retak	Panjang mencapai 50 µm pada batas butir (sedikit)	Panjang mencapai 200 µm pada batas butir (besar)	Panjang mencapai 50 µm pada butir (cukup banyak)
5.	Kekerasan	172.78 kg/mm ²	191.58 kg/mm ²	260.96 kg/mm ²
6.	Diameter <i>nugget</i>	1.9mm	2.2mm	4.1 mm
7.	<i>Ductility</i> pada <i>nugget</i>	Tidak	Tidak	Ya

4. KESIMPULAN

Dari analisa dan pembahasan yang dilakukan terhadap data-data hasil pengujian *nugget* las titik, dapat diperoleh beberapa kesimpulan, yaitu:

- 1) Di lihat dari struktur mikro, arus dan waktu pengelasan yang berbeda sangat berpengaruh terhadap *nugget* yang dihasilkan. Hal ini dapat diketahui dari pengamatan mikrofografi untuk *nugget* las titik skala industri rumah yang menunjukkan bahwa :
 - Pada arus 8.6 A dan waktu pengelasan 10 detik, *nugget* belum terbentuk dengan sempurna dan struktur mikro didominasi oleh *ferrite* dan *pearlite*. Struktur ini sama dengan struktur logam dasar, hanya saja ukuran butirnya lebih halus.
 - Pada arus 6 A dan waktu pengelasan 20 detik, *nugget* juga belum terbentuk dengan sempurna dan struktur mikro didominasi oleh *ferrite* dan *pearlite*. Struktur ini sama dengan struktur logam dasar dengan ukuran butir yang tidak rata. Selain itu ditentukan retak dengan panjang sekitar 200 µm. Sedangkan pada hasil pengelasan dengan las titik acuan dengan menggunakan arus 8 A dibutuhkan waktu

pengelasan selama 3 detik, *nugget* telah terbentuk dengan sempurna dengan struktur yang mendominasi adalah *bainit*.

- 2) Dilihat dari uji kekerasan, besarnya arus dan waktu pengelasan juga berpengaruh pada nilai kekerasan hasil sambungan las titik (*nugget*). Pada hasil las titik skala industri rumahan, nilai rata-rata kekerasan untuk waktu pengelasan 10 detik adalah 172.78 kg/mm^2 . Sedangkan nilai-nilai kekerasan untuk waktu pengelasan 20 detik adalah 191.58 kg/mm^2 . Keduanya lebih tinggi dari nilai kekerasan logam dasar yaitu 165.7 kg/mm^2 . Sedangkan pada sambungan las titik acuan, nilai rata-rata kekerasan *nugget* las titik untuk waktu pengelasan 3 detik yaitu 290.96 kg/mm^2 . Nilai ini lebih tinggi dari nilai kekerasan logam dasar (165.7 kg/mm^2) dan nilai rata-rata kekerasan hasil las titik skala industri rumahan. Dari hasil *peel test* menunjukkan bahwa *ductility* tidak diperoleh pada sambungan las titik skala industri rumahan. Sedangkan pada las titik acuan, *ductility* tidak diperoleh sambungan las titik (*nugget*) telah dihasilkan.

5. REFERENSI

- [1] http://www.robotwelding.com/spot_welding.html diakses pada tanggal 22 Februari 2012
- [2] Yuriyanto, MT., 2010. Diktat Teknik Pengelasan Logam. Universitas Diponegoro. Semarang.
- [3] Wirjosumarto, Harsono, 2000, Teknologi Pengelasan Logam, Jakarta : PT Pradya Paramita Bandung.
- [4] Dwi J., Riswan., 2008, Diktat Teori Fabrikasi 2. Universitas Negeri Yogyakarta.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan artikel ini penulis tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Gunawan Dwi Haryadi, ST, MT dan bapak Yusuf Umardani ST, MT yang telah memberikan bimbingan, pengarahan-pengarahan dan masukan kepada penulis hingga terselesainya artikel ini.
2. Nova Arief Setianto selaku partner dalam penyusunan artikel.
3. Dan semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan dan penyusunan ini yang tidak dapat penulis sebut satu persatu.