

Program Studi Teknik Mesin

Lembar Persetujuan Naskah Publikasi dan Abstrak Tugas Akhir (TA)

Judul TA: Pengaruh Variasi Tegangan Listrik Pengelasan Titik (*Spot Welding*) terhadap Sifat Mekanis pada Sambungan *Dissimilar* Baja *Stainless Steel* AISI 304 dengan Baja Karbon Tinggi

Judul Naskah Publikasi: Pengaruh Variasi Tegangan Listrik Pengelasan Titik (*Spot Welding*) terhadap Sifat Mekanis pada Sambungan *Dissimilar* Baja *Stainless Steel* AISI 304 dengan Baja Karbon Tinggi

Nama Mahasiswa: Hanafi Nur Faisal

NIM: 20150130069

Pembimbing 1: Muhammad Budi Nur Rahman, S.T., M.Eng.

Pembimbing 2: Ir. Aris Widyo Nugroho, M.T., Ph.D.

Hal yang dimintakan persetujuan *:

- | | | | |
|---|---|---|--------------------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> Abstrak berbahasa Indonesia | <input type="checkbox"/> Naskah Publikasi | <input checked="" type="checkbox"/> Bab I & V | <input type="checkbox"/> |
| <input checked="" type="checkbox"/> Abstrak berbahasa Inggris | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

*beri tanda di kotak yang sesuai



Tanda Tangan
 Nama Mahasiswa Hanafi Nur Faisal, S.T.

Tanggal 21/9/2019

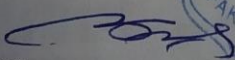
Persetujuan Dosen Pembimbing dan Program Studi

Disetujui


 Tanda Tangan
 Dosen Pembimbing Muh Budi Nur Rahman, S.T., M.Eng.

21/9/2019

Tanggal


 Tanda Tangan
 Ketua/Sekretaris Program Studi Bertu P Kaniel, Ph.D.

Tanggal 21/9/2019

Formulir persetujuan ini mohon diletakkan pada lampiran terakhir pada naskah TA.

PENGARUH VARIASI TEGANGAN LISTRIK PENGELASAN TITIK (*SPOT WELDING*) TERHADAP SIFAT MEKANIS PADA SAMBUNGAN *DISSIMILAR* BAJA *STAINLESS STEEL* AISI 304 DENGAN BAJA KARBON TINGGI

Hanafi Nur Faisal^a, Muh. Budi Nur Rahman^b Aris Widyo Nugroho^c,
 Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
 Jalan Lingkar Selatan Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183
hanafifaisal23@yahoo.com, nugrohoaris@gmail.com, nurrahman_umy@yahoo.co.id

Abstrak

Penggunaan tegangan listrik akan berhubungan dengan masukan panas. Dibutuhkan masukan panas yang cukup untuk membentuk struktur nugget yang baik sehingga dapat menghasilkan kekuatan sambungan yang maksimal. Pengaturan parameter besarnya tegangan yang diberikan akan dihasilkan kualitas sambungan yang baik. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh variasi tegangan listrik terhadap kekuatan tarik, nilai kekerasan dan struktur mikro sambungan las titik (*spot welding*) logam dissimilar *stainless steel* AISI 304 dan baja karbon tinggi. Variasi tegangan yang digunakan adalah 1,60 V, 1,79 V dan 2,02 V. Waktu pengelasan yang digunakan konstan 5 detik. Spesimen uji menggunakan material stainless steel 304 dengan baja karbon tinggi dengan ketebalan masing-masing 1mm dan ukuran panjang 80mm x lebar 25mm (standar AWS D8.9-97). Hasil penelitian menunjukkan bahwa Peningkatan tegangan listrik pada setiap variasi berdampak pada kenaikan kapasitas beban tarik. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa kondisi terbaik terjadi pada tegangan listrik 2,02 V yang memberikan kapasitas beban tarik rata-rata sebesar 5130 N. Pengamatan struktur mikro pada sambungan las titik dissimilar antara *stainless steel* AISI 304 dan baja karbon tinggi menunjukkan perbedaan fasa antara *base metal*, *weld metal*, dan HAZ. Terdapat fasa austenite dan perlite pada daerah *weld metal*. Nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada daerah HAZ baja karbon tinggi sebesar ± 581 HV, dikarenakan sifat baja karbon tinggi memiliki nilai kekerasan yang tinggi dibandingkan dengan logam lainnya dan terdistribusi panas pengelasan. Dari penelitian yang dilakukan parameter variasi tegangan listrik pengelasan sangat berpengaruh terhadap nilai beban tarik, struktur mikro, dan kekerasan.

Kata kunci: baja karbon tinggi, *dissimilar*, las titik, *stainless steel* AISI 304, sifat mekanis

Abstract

Electric voltage will be related to heat input. Enough heat input is needed to form a good nugget structure so that it can produce maximum connection strength. Setting parameters given the amount of voltage will result in a good connection quality. The purpose of this study is to determine the effect of variations in electrical voltage on tensile strength, hardness and micro structure of spot welding of dissimilar stainless steel 304 and high carbon steel. The voltage variations used are 1.60 V, 1.79 V and 2.02 V. The welding time used is constant 5 seconds. Test specimens use 304 stainless steel material with high carbon steel with a thickness of 1mm each and a length of 80mm x width 25mm (AWS standard D8.9-97). The results showed that the increase in electrical voltage on each variation resulted in an increase in tensile load capacity. Tensile test results show that the best conditions occur at 2.02 V electrical voltage which gives an average tensile load capacity of 5130 N. Micro structure observations at dissimilar welding point joints between stainless steel 304 and high carbon steel show phase differences between base metals, weld metal, and HAZ. There are austenite and perlite phases in the weld metal area. The highest hardness value was found in the HAZ area of high carbon steel of ± 581 HV, due to the high carbon steel properties having a high hardness value compared to other metals and distributed heat welding. From the research conducted the variation of the welding voltage variation greatly affects the value of the tensile load, micro structure, and hardness.

Keyword: *dissimilar, high carbon steel, mechanical properties, spot welding, stainless steel AISI 304.*

1. Pendahuluan

Pengelasan adalah teknologi konvensional yang cukup sukses hingga saat ini. Penggunaan teknik pengelasan memberi pengaruh yang besar bagi industri manufaktur, pembangunan, penerbangan, perkapalan dan bidang lainnya. Hal tersebut terjadi karena dibutuhkan teknik sambungan yang kuat untuk mendukung proses tersebut. Teknik pengelasan yang digunakan saat ini cukup banyak, penggunaannya disesuaikan dengan jenis logam yang akan dilas, dimensi logam yang akan dilas dan hasil akhir lasan yang diinginkan. Prosedur pengelasan menjadi salah satu faktor yang berpengaruh pada lasan. Perencanaan dalam penelitian yang meliputi cara pembuatan konstruksi las yang sesuai rencana dan spesifikasi dengan menentukan semua hal yang diperlukan dalam pelaksanaan tersebut. Beberapa faktor pengelasan yaitu proses pembuatan, jadwal pembuatan, alat dan bahan, langkah pelaksanaan, dan persiapan pengelasan (penunjukan juru las, pemilihan jenis las, pemilihan elektroda, dan jenis kampuh) (Wiryosumatro, 2000).

Metode atau proses pengelasan yang sering digunakan pada industri otomotif atau transportasi mobil salah satunya adalah las titik (*spot welding*). Las titik digunakan dalam industri otomotif untuk pengerjaan *body* atau kerangka mobil. Terdapat sekitar 2000-5000 las titik di kendaraan modern (Pouranvari, 2011). Las titik merupakan metode mutakhir penyambungan yang umumnya digunakan untuk menyambung lembaran logam (Ishak M, 2014). Penyambungan dilakukan dengan cara permukaan pelat yang disambung ditekan diantara elektroda dan pada saat yang sama arus listrik dialirkan sehingga permukaan logam menjadi panas dan mencair karena adanya resistansi listrik (Wiyono, 2012). Dengan demikian, suatu sambungan las dibentuk antara lembaran logam melalui peleburan dan mengakibatkan terikat kuat antara lembaran tanpa zat tambahan (Charde, 2012). Metode pengelasan titik (*spot welding*) digunakan dengan alasan memiliki kelebihan mudah dioperasikan karena tidak dibutuhkan keahlian khusus seperti metode pengelasan lainnya, waktu lebih singkat, sehingga akan meningkatkan kecepatan produksi masal, suplai panas yang diberikan cukup akurat dan reguler, sifat mekanik hasil las kompetitif dengan logam induk dan tidak memerlukan kawat las.

Salah satu teknik pengelasan yang dikembangkan saat ini adalah teknik penyambungan dua jenis logam tidak sejenis atau *dissimilar metal*. Sambungan logam tak sejenis merupakan penyambungan dua jenis logam yang berbeda sifatnya dengan cara dilas. Penyambungan logam tidak sejenis ini bertujuan untuk meringankan bobot kendaraan sehingga dapat mengefisiensikan pemakaian bahan bakar dalam suatu kendaraan (Hendrawan dan Rusmawan, 2014). Pengelasan dengan logam tidak sejenis dapat lebih rumit daripada pengelasan logam sejenis karena siklus termal yang berbeda dialami masing-masing logam (Subramanian, 2013).

Pengontrolan tegangan listrik pengelasan sangat mempengaruhi karakteristik hasil pengelasan karena pengontrolan ini mempengaruhi kualitas sifat mekanik hasil las, seperti kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro. Apabila arus pengelasan yang digunakan terlalu rendah, maka panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan material, sehingga menghasilkan daerah logam las yang kecil serta penembusan kurang dalam, sebaliknya bila arus pengelasan terlalu tinggi, maka logam pencairan logam induk terlalu cepat dan menghasilkan daerah logam las yang lebar serta penembusan yang dalam sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang rendah dan menambah kerapuhan (Arifin, 1997).

Variasi tegangan listrik (V) dan waktu penekanan (dt) berpengaruh pada kekuatan geser hasil pengelasan. Semakin tinggi tegangan yang digunakan, maka semakin tinggi juga nilai kekuatan tegangan geser. Waktu penekan atau waktu pengelasan yang lama maka nilai kekuatan tegangan geser semakin tinggi dan jika waktu pengelasan tidak tetap maka hasil pengelasan akan mengalami kerusakan (Silaban dkk, 2016).

Penggunaan tegangan listrik pengelasan akan berhubungan dengan masukan panas. Masukan *heat input* adalah panas total yang dihasilkan dari proses pengelasan untuk mencairkan logam yang dilas. Nilai masukan panas dipengaruhi oleh arus pengelasan yang digunakan, tegangan listrik, dan waktu pengelasan. Tegangan listrik pengelasan yang besar memberikan masukan panas yang tinggi, sedangkan tegangan

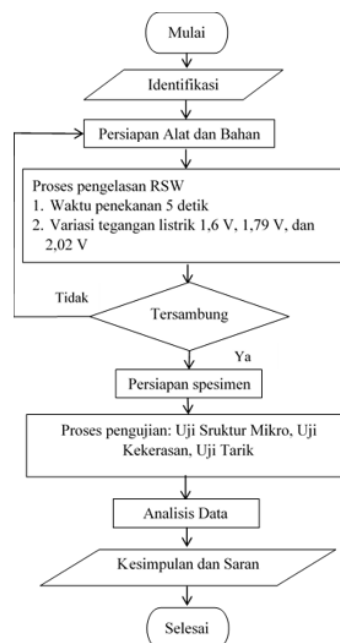
listrik yang kecil memberikan masukan panas yang rendah, hal ini jelas akan mempengaruhi struktur yang terbentuk pada daerah HAZ maupun daerah logam las sehingga berpengaruh pula terhadap ketangguhan las.

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa parameter arus listrik, tegangan listrik dan waktu penekanan merupakan point penting dalam menentukan karakteristik sifat material. Penelitian spot welding juga sudah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti seperti (Silaban dkk, 2016) yang melakukan penelitian *spot welding* dengan memvariasikan tegangan listrik dan waktu penekanan pada alumunium. Penelitian lainnya juga dilakukan oleh (Kuntoro dkk, 2017) yang meneliti sambungan *dissimilar* atau material tak sejenis antara AISI 430 dan JSL AUS (J1) menggunakan metode las titik (RSW) dengan memvariasikan pre-strain dan tegangan listrik terhadap sifat fisik mekanik.

Kuntoro dkk (2017), melakukan penelitian tentang Pengaruh pre-strain dan tegangan listrik terhadap sifat fisik mekanik dan korosi sambungan las titik (RSW) logam beda jenis antara AISI 430 dan JSL AUS (J1). Variasi perlakuan pra-regangan yang digunakan adalah (0%; 0,2%; 0,5%; 1%) dan voltase (1.60 Volt; 1.79 Volt; 2.02 Volt; 2.30 Volt). Hasil penelitian menunjukkan bahwa ukuran diameter *nugget* membesar seiring meningkatnya tegangan yang menyebabkan mode kegagalan pullout. Ukuran diameter *nugget* menurun setelah pre-regangan diaplikasikan pada spesimen uji dan membuat mode kegagalan interfacial.

Dari beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penelitian pada sambungan las titik (RSW) sangat menarik, dan masih banyak yang perlu diteliti dari penggunaan material yang berbeda menggunakan variasi parameter yang dapat mempengaruhi karakteristik sifat mekanik, demi meningkatkan kualitas sambungan las. Penelitian pada las titik dengan variasi parameter tegangan listrik (V), kuat arus (A), dan waktu penekanan (dt) sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik. Akan tetapi penelitian pada las titik yang terfokus pada pengaruh variasi tegangan listrik terhadap karakteristik sifat mekanik masih jarang dilakukan terutama untuk sambungan *dissimilar* antara *stainless steel* 304 dan baja karbon tinggi dengan metode RSW (*Resistance Spot Welding*), yang sebelumnya belum pernah dilakukan.

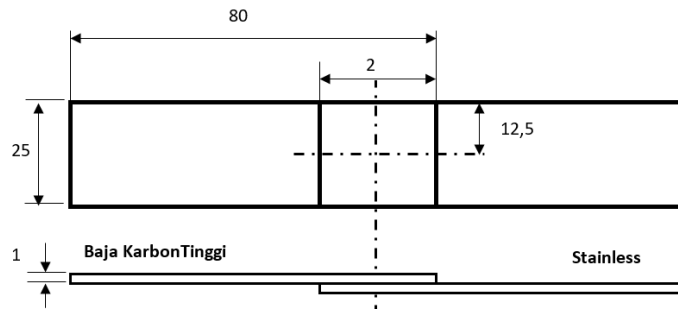
2. Metode Penelitian



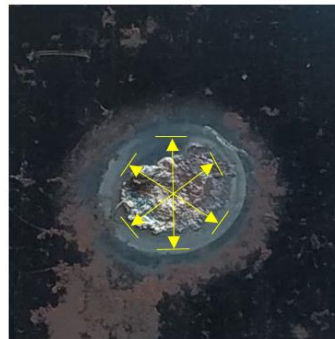
Gambar 2.1 Diagram alir penelitian

Material yang digunakan pada penelitian adalah *stainless steel* AISI 304 dan baja karbon tinggi SK-5 dimana ketebalan masing-masing 1mm dengan *stainless steel* sisi bagian bawah. Penelitian menggunakan parameter variasi tegangan listrik antara 1,60 V,

1,79 V, dan 2,02 V dimana parameter yang lain konstan seperti lama waktu penekanan 5 detik pada setiap variasi. Skema spesimen dengan ukuran dimensi dapat dilihat pada gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2 Susunan sambungan plat *lap joint* (standart AWS D8.9-97)



Gambar 2.3 Pengukuran diameter *nugget*

Pengukuran diameter *nugget* las menggunakan jangka sorong dengan tiga kali pengambilan ukuran yang dapat dilihat pada Gambar 2.3.

2.1 Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan pada setiap spesimen yang telah di las. Spesimen uji dipotong melintang ditengah lasan,lalu diampelas, dipoles, kemudian di etsa menggunakan larutan 7,5 ml HCL dan 2,5 ml HNO₃ untuk *Stainless Steel* dan 9 ml HNO₃ dan 1 ml aquades untuk baja karbon tinggi. Pengambilan foto mikro dilakukan pada daerah logam induk baja *stainless steel*, HAZ baja *stainless steel*, logam induk las *stainless steel*, HAZ baja karbon tinggi, dan logam induk baja karbon tinggi dengan perbesaran 500x. Pengujian struktur mikro untuk melihat pengaruh distribusi panas yang disebabkan *heat input* pada daerah *weldmetal* dan HAZ pada tiap variasi parameter pengelasan.

2.2 Pengujian Kekerasan

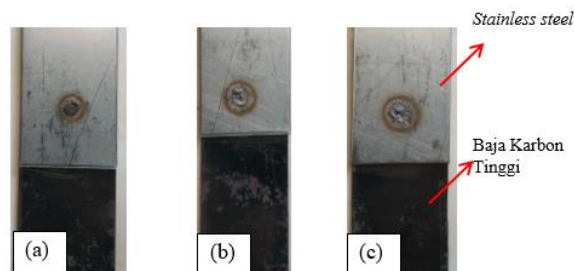
Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan material pada daerah HAZ dan *weld metal* hasil sambungan las. Pengujian kekerasan pada sambungan *spot welding dissimilar* menggunakan metode mikro vickers dengan penekanan 200 gf dengan waktu penekanan 5 detik. Pengujian ini dilakukan dengan 18 penitikan dengan jarak masing masing 1mm, titik pusat diambil pada daerah *weldmetal*. Pengujian ini dilakukan untuk melihat perbedaan nilai kekerasan pada logam induk dan daerah yang terdistribusi panas proses pengelasan.

2.3 Pengujian Tarik

Pengujian tarik merupakan salah satu pengujian yang digunakan untuk menentukan karakteristik material terutama untuk mengetahui kemampuan sambungan menerima pembebanan tarik geser pada sambungan *spot welding*. Dari pengujian tarik ini didapatkan nilai kapasitas beban tarik hasil sambungan las RSW pada setiap variasi tegangan listrik.

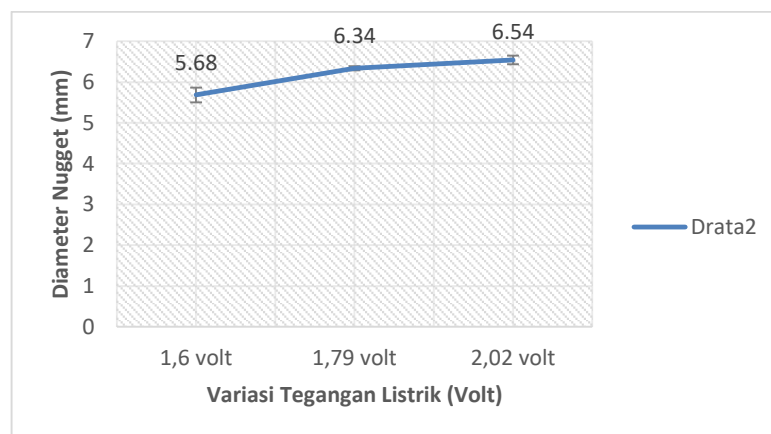
3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengelasan yang telah dilakukan menunjukkan bahwa dari ketiga variasi tegangan listrik yang dipilih menghasilkan ukuran diameter *nugget* yang berbeda. Variasi tegangan 1,60 Volt menghasilkan diameter *nugget* yang paling kecil, diikuti dengan variasi tegangan listrik 1,79 Volt semakin besar, dan pada variasi tegangan listrik 2,02 Volt menunjukkan diameter *nugget* paling besar. Perbedaan ukuran diameter *nugget* dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diameter hasil *nugget* pengelasan, (a) Variasi tegangan 1,60 Volt, (b) Variasi tegangan 1,79 Volt, (c) Variasi tegangan 2,02 Volt.

Hasil pengelasan menunjukkan bahwa diameter *nugget* yang dihasilkan berbeda pada setiap variasi waktu yang digunakan. Pada gambar 3.2 dibawah ini terlihat bahwa kenaikan kuat arus pengelasan mengakibatkan kenaikan pada diameter *nugget*, Luasan *nugget* dipengaruhi oleh heat input dan variasi tegangan listrik pengelasan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi nilai *heat input*.

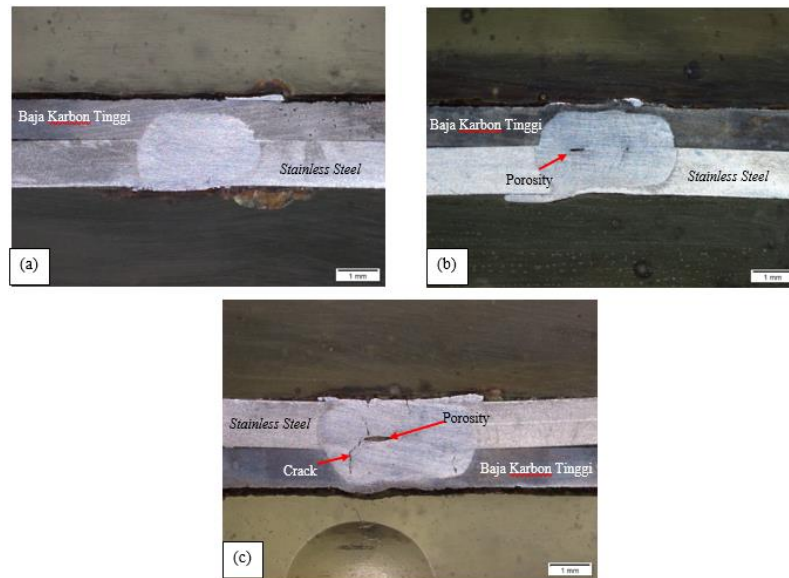


Gambar 3.2 Grafik perbandingan ukuran diameter *nugget* tiap variasi tegangan listrik.

Hasil menunjukkan ukuran diameter *nugget* las mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya variasi parameter tegangan tegangan listrik yang digunakan pada proses pengelasan. Dari data yang diperoleh diketahui bahwa ukuran diameter *nugget* las rata-rata pada variasi tegangan listrik 1,6 Volt sebesar 5,68 mm, variasi tegangan listrik 1,79 Volt sebesar 6,34 mm dan diameter *nugget* terbesar pada variasi tegangan listrik 2,02 Volt sebesar 6,54 mm.

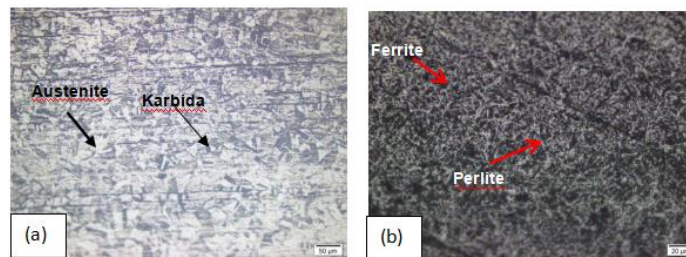
3.1 Hasil Pengujian Struktur Makro dan Mikro

- Hasil foto makro



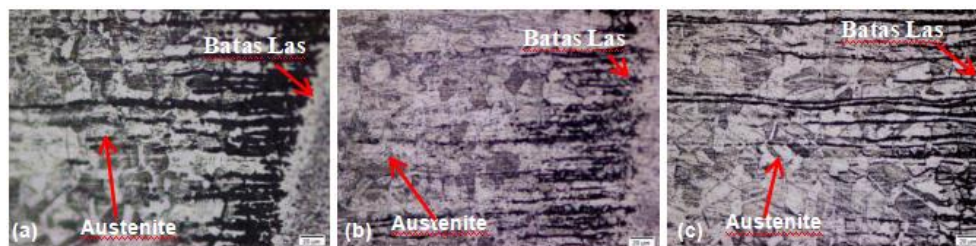
Gambar 3.3 Hasil pengamatan makro sambungan lasan *resistance spot welding dissimilar metal* tiap variasi tegangan listrik pengelasan (a) 1,60 Volt, (b) 1,79 Volt, (c) 2,02 Volt.

- Hasil foto mikro

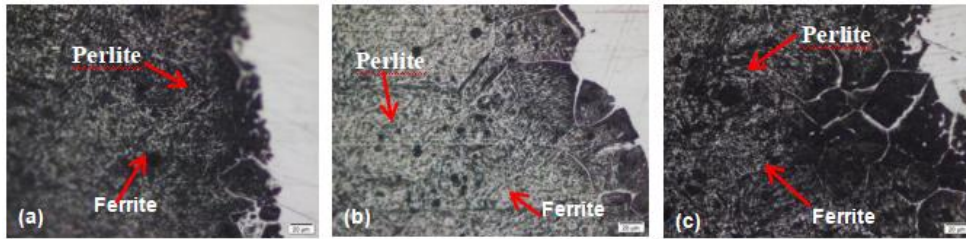


Gambar 3.4 Foto struktur mikro logam induk (a) *Stainless steel* 430 (b) Baja karbon tinggi.

Gambar 3.4 menunjukkan hasil pengamatan menunjukkan bahwa struktur mikro pada logam induk *stainless steel* AISI 304 didominasi oleh austenite karena *stainless steel* AISI 304 merupakan baja tahan karat austenite dan terdapat sedikit karbida krom. Sedangkan pada baja karbon tinggi ini memiliki struktur ferrit dan perlit dimana didominasi oleh ferrit dimana karakteristik dari ferrit adalah berwarna putih terang dan cenderung halus dan struktur perlit berwarna gelap.



Gambar 3.5 Struktur mikro perbesaran 500x pada daerah HAZ *Stainless steel*, dengan variasi tegangan listrik (a) 1,6 Volt, (b) 1,79 Volt, (c) 2,02 Volt



Gambar 3.6 Struktur mikro perbesaran 500x pada daerah HAZ baja karbon tinggi, dengan variasi tegangan listrik (a) 1,6 Volt, (b) 1,79 Volt, (c) 2,02 Volt

Hasil pengamatan menunjukkan ukuran butir mengalami perbesaran sering meningkatnya tegangan listrik pengelasan yang diberikan. Pengkasaran butir terjadi pada setiap variasi tegangan listrik 1,6 volt, 1,79 volt dan butir paling besar terdapat pada variasi 2,02 volt. Pada daerah HAZ *stainless steel* didominasi struktur mikro austenite yang dapat dilihat pada gambar 3.5, dan pada daerah HAZ baja karbon tinggi terdapat struktur ferrite dan perlite yang dapat dilihat pada gambar 3.6. Tingkat masukan panas yang tinggi siklus termal lebih panjang dan cenderung menghasilkan struktur mikro kasar. Tingginya masukan panas yang diberikan menyebabkan proses pendinginan (*solidifikasi*) lambat yang mengakibatkan daerah HAZ lebar dan butiran struktur mengalami pembesaran. (Kuntoro dkk, 2017).

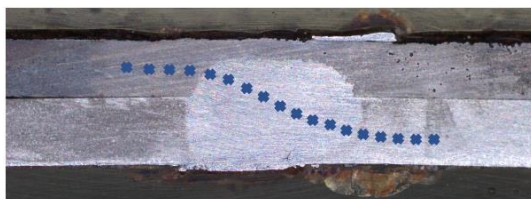


Gambar 3.6 Struktur mikro perbesaran 500x pada daerah *weld metal* dengan variasi tegangan listrik (a) 1,6 Volt, (b) 1,79 Volt, (c) 2,02 Volt.

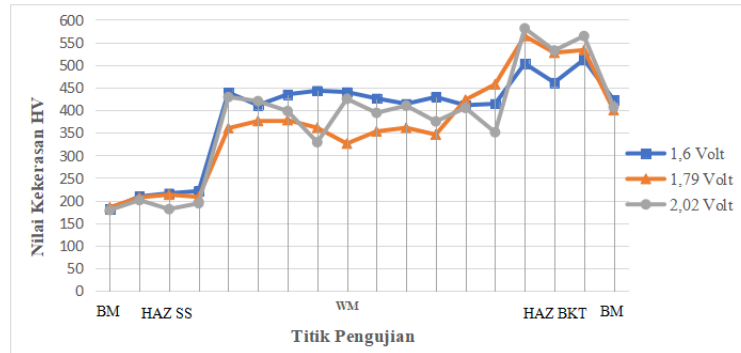
Terlihat perubahan struktur pada setiap daerah *weld metal* dan HAZ pada setiap variasi pengelasan kuat arus. Dimana pada daerah HAZ ada perubahan ukuran batas butir pada kedua material *stainless steel* 304 dan baja karbon tinggi, karena daerah ini mengalami siklus termal pengelasan dimana semakin besar masukan panas yang diberikan maka akan mengakibatkan luasan HAZ menjadi lebih besar dan merubah struktur mikro menjadi butir-butir kasar (Firmansyah dkk, 2016). Hasil pengamatan uji struktur mikro menunjukkan bahwa struktur mikro pada daerah *weld metal* didominasi oleh *austenite*, *perlite*.

3.2 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan vickers microhardness dilakukan untuk menguji distribusi kekerasan pada logam induk, HAZ dan *weld metal*. Pengujian vikers menggunakan beban 200 gr force dengan waktu penekanan 5 detik. Uji kekerasan dilakukan dengan pola diagonal dengan 18 kali penitikan seperti ditunjukkan pada Gambar 3.7 dibawah ini.



Gambar 3.7 Skema penitikan uji kekerasan.



Gambar 3.8 Grafik nilai kekeran sambungan las *spot welding*.

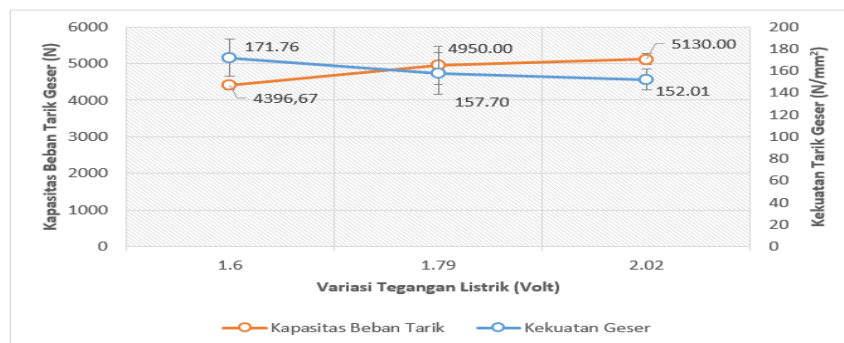
Gambar 3.8 menunjukkan nilai kekerasan tertinggi terdapat pada daerah HAZ baja karbon tinggi, mengalami penurunan nilai kekerasan pada daerah *weld metal*, dan HAZ *stainless steel*, untuk nilai kekerasan terendah terdapat pada daerah base metal *stainless steel*. Dari grafik diatas nilai kekerasan tertinggi pada daerah *weld metal* dengan variasi tegangan listrik 2,02 volt, untuk nilai kekerasan terendah pada variasi tegangan listrik 1,79 volt. Faozi (2015) menyatakan daerah HAZ yang berdekatan dengan daerah *weldmetal* memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dikarenakan terpengaruh panas sehingga mengakibatkan pengkasaran butir.

3.3 Pengujian Tarik

Pengujian tarik-geser ini dilakukan pada hasil pengelasan *spot welding* material tidak sejenis antara *stainless steel* 304 dengan baja karbon tinggi. Tujuan pengujian ini untuk mengetahui pengaruh variasi tegangan listrik pengelasan terhadap kemampuan sambungan lasan terhadap gaya tarik, terutama pada *tensile load bearing capacity* (TLBC) untuk mengetahui kemampuan sambungan las menahan beban.

Tabel 1 Beban tarik, Luasan *nugget*, Kekuatan geser setiap variasi tegangan listrik.







Variasi Tegangan Listrik (Volt)	Luas (mm ²)	Kapasitas Beban Tarik (N)	Rata-Rata	Kekuatan Geser (N/mm ²)	Rata-rata	Kegagalan Uji Tarik
1,6	24,18	4390	4396,67 ±120,14	181,56	171,76 ±16,86	Pullout (SC)
	24,91	4520		181,44		Pullout (SC)
	28,10	4280		152,30		Pullout (SC)
1,79	31,32	4670	4950,00 ±511,18	149,10	157,70 ±19,21	Pullout (SC)
	32,15	4640		144,31		Pullout (SC)
	30,83	5540		179,71		Pullout (SC)
2,02	34,02	4980	5130,00 ±145,26	146,38	152,01 ±9,57	Pullout (SC)
	35,06	5140		146,59		Pullout (SC)
	32,32	5270		163,05		Pullout (SC)



Gambar 3.9 Grafik perbandingan hasil uji tarik setiap variasi.

Dari Gambar 3.9 menunjukkan hasil uji tarik bahwa nilai rata-rata kapasitas beban tarik mengalami peningkatan seiring dengan besarnya variasi tegangan listrik yang digunakan pada proses pengelasan. Sedangkan nilai rata-rata kekuatan geser mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya variasi tegangan listrik yang digunakan. Pengelasan logam tak sejenis memiliki bentuk *nugget* yang tidak simetris akibat dari perbedaan fisik dan mekanis antar logam (Haikal dan Triyono, 2013). Nilai rata-rata kekuatan geser tertinggi terdapat pada variasi tegangan listrik 1,6 Volt sebesar 171,76 N/mm². Sedangkan nilai rata-rata kapasitas beban tarik tertinggi terdapat pada variasi tegangan listrik 2,02 Volt sebesar 5130 N.

Pengujian tarik-geser mempunyai 2 jenis kegagalan yaitu berupa kegagalan *interfacial* dan kegagalan *pullout*. Jenis kegagalan yang terjadi pada pengujian tarik-geser dapat dilihat pada gambar 7 hasil uji tarik menunjukkan bahwa kegagalan yang terjadi pada pengelasan *spot welding* antara *stainless steel* dan baja karbon tinggi pada setiap variasi tegangan 1,60 V, 1,79 V, dan 2,02 V adalah jenis kegagalan *pullout*.

		Mode Kegagalan	
		Stainless Stee AISII 304	Baja Karbon Tinggi
Variasi Tegangan Listrik	1,60 Volt		
	1,79 Volt		
	2,02 Volt		

Gambar 3.10 Foto kegagalan *nugget* hasil pengujian tarik pada variasi tegangan listrik pengelasan (a) 1,6 Volt, (b) 1,79 Volt, (c) 2,02 Volt.

4. Kesimpulan

Penelitian tentang pengaruh variasi tegangan listrik terhadap sifat mekanis sambungan las RSW (*Resistance Spot Welding*) *dissimilar stainless steel 304* dengan baja karbon tinggi dapat disimpulkan bahwa:

1. Terdapat beberapa struktur mikro yang berbeda antara *base metal*, HAZ, dan *weld metal*. Semakin tinggi variasi tegangan listrik yang diberikan, maka butiran struktur mikro akan semakin besar. Pada penelitian ini butiran struktur mikro terbesar pada variasi tertinggi yaitu tegangan listrik 2,02 volt.

2. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada variasi tegangan listrik 2,02 volt sebesar ± 581 HV, yang berarti semakin tinggi nilai tegangan listrik maka nilai kekerasan akan semakin meningkat.
3. Hasil uji tarik menunjukkan bahwa kenaikan tegangan listrik maka nilai *tensile shear load bearing capacity* atau kapasitas beban tarik geser yang didapatkan akan meningkat dimana hasil tertinggi didapatkan pada variasi tegangan listrik 2,02 volt dengan nilai pembebanan sebesar 5130 N.

5. Daftar Pustaka

- Abadi, M. H., & Pouranvari, M. (2010). Correlation Between Macro/Micro Structure and Mechanical Properties of Dissimilar Resistance Spot Welds of AISI 304 Austenitic Stainless Steel and AISI 1008 Low Carbon Steel. *MJoM Vol 16 (2)*, 133-146.
- Arifin, S. (1997). *Las Listrik dan Otogen*. Jakarta: Ghalia Indonesia.
- Charde, N. (2012). Effects of Electrode Deformation on Carbon Steel Weld Geometry of Resistance Spot Welding. *Original Research Journal*, 5-12.
- Faozi, S. (2015). *Pengaruh Arus Listrik dan Holding Time Terhadap Sifat Fisik-Mekanik Sambungan Spot TIG Welding Material Tak Sejenis antara Baja dan Paduan Aluminium*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Firmansyah, W., Suryanto, H., & Solichin. (2016). Pengaruh Variasi Waktu Penekanan Pengelasan Titik Terhadap Kekuatan Tarik, Kekerasan, dan Struktur Mikro pada Sambungan Dissimilar Baja Tahan Karat AISI 304 dengan Baja Karbon Rendah. *Jurnal Teknik Mesin*, 1-8.
- Haikal, & Triyono. (2013). Studi Literatur Pengaruh Parameter Pengelasan terhadap Sifat Fisik dan Mekanik pada Las Titik (Resistance Spot Welding). *Rotasi 15 (2)*, 44-54.
- Hendrawan, M. A., & Rusmawan, D. D. (2011). Studi Pengaruh Arus Dan Waktu Pengelasan Terhadap Sifat Mekanik Sambungan Las Titik (Spot Welding) Logam Tak Sejenis. *Jurnal Teknologi*, 6-13.
- Ishak, M. (2014). Studi of Resistance Spot Welding Between AISI 301 Stainless Steel and AISI 1020 Carbon Steel Dissimilar Alloys. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences (JMES)*, 793-806.
- Kuntoro, A. A., Triyono, & Sukanto, H. (2017). Pengaruh Pre-strain dan Tegangan Listrik terhadap Sifat Fisik, Mekanik dan Korosi Sambungan Las Titik (RSW) Logam Beda Jenis antara AISI 430 dan JSL AUS (J1). *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 63-70.
- Pouranvari, M., & Marashi, S. (2011). Dissimilar Spot Welds of AISI 304/AISI 1008: Metallurgical and Mechanical Characterization. *Steel Research Journal*, 1355-1360.
- Pouranvari, M., & Ranjbarnoodeh, E. (2011). Resistance Spot Welding Characteristic of Ferrite-Martensite DP600 Dual Phase Advanced High Strength Steel-Part III: Mechanical Properties. *World Applied Sciences Journal 15 (11)*, 1521-1526.
- Raharjo, W. P., & Ariawan, D. (2005). Pengaruh Welding Time terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan, Sambungan Lap Baja Tahan Karat Feritik AISI 430 dengan Metode Resistance Spot Welding. *Mekanika*.
- Saputra, D. (2019). *Pengaruh Variasi Arus Listrik Terhadap Kekuatan Geser, Kekerasan, dan Struktur Mikro Sambungan Spot TIG Welding Material Tak Sejenis antara Baja Karbon Rendah dan Aluminium*. Yogyakarta: UMY.
- Shi, G., & Westgate, S. A. (2003). Resistance Spot Welding of High Strength Steels. *Eleventh International Conference on the Joining of Materials*.
- Silaban, V., Waskito, & Purwantono. (2016). Pengaruh Parameter Pengelasan Spot Welding. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*.
- Sindo, K. (1987). *Welding Metallurgi*. Canada: John Willey & Sons, Inc.
- Subramanian, A., & Jabaraj, D. (2013). Research on Resistance Spot Welding of Stainless Steel- An Overview. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 1741-1750.
- Wiryosumarto. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Wiyono, T. (2012). Penentuan Pengelasan Dissimilar Aluminium dan Pelat Baja Karbon Rendah dengan Variasi Waktu Pengelasan dan Arus Listrik. *Journal Foundry*, 19-23.