

# ANALISA PENGARUH VARIASI VOLTASE LISTRIK PADA LAS TITIK (*SPOT WELDING*) TERHADAP SIFAT MEKANIS SAMBUNGAN LAS KUNINGAN

Hary Wibowo<sup>1</sup>, Adi Purwanto<sup>2</sup>, Agus Duniawan<sup>3</sup>, Aan Ardilaksono<sup>4</sup>

<sup>1234</sup>Jurusan Teknik Mesin, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta  
Jl. Kalisahak 28, Klitren, Gondokusuman, Klitren, Gondokusuman, Kota Yogyakarta,  
Daerah Istimewa Yogyakarta 55222

Email: [1hary.wibowo@akprind.ac.id](mailto:hary.wibowo@akprind.ac.id), [4ardiaan73@gmail.com](mailto:ardiaan73@gmail.com)

## ABSTRACT

*The welding process has an important role in the engineering and repair of metals in the scope of application of welding technology. Spot welding is a method of electrical resistance welding in which two or more sheets of metal are clamped between metal electrodes. Brass is an alloy of copper and zinc that can be spot welded. The research was carried out in the laboratory with the conditions and equipment provided in order to obtain test data on the composition, tensile strength, and hardness, on the results of spot welding on brass. The results showed that the predominant brass composition was Cu 63% and Zn 35.1%. Two stack penetration values are greatest at 2.20 V with 50.84% and 69.49% for maximum. On three stack with a minimum voltage of 2.28 and a maximum of 39.08% and 52.87%. Nugget two stack with a voltage of 2.28 V with a value of 3.62 mm. Three stack voltage 2.28 V with a value of 4.38 mm. hardness testing of two and three stacks in the HAZ, welding area and the highest was at a stress of 2.20 V. The highest tensile test value occurred at a voltage of 2.28 V of three stack and the lowest was 1.75 V of three stack.*

**Keywords:** brass, mechanical properties, lap joint, spot welding, voltage

## ABSTRAK

Perkembangan teknologi dibidang pengelasan yang semakin maju, proses pengelasan mempunyai peranan penting dalam rekayasa dan reparasi logam ruang lingkup aplikasi teknologi pengelasan. Spot welding merupakan cara pengelasan resistensi listrik dimana dua atau lebih lembaran logam dijepit diantara elektroda logam. Kuningan adalah logam yang merupakan campuran dari tembaga dan seng. Penelitian dilaksanakan di laboratorium dengan kondisi dan peralatan yang disediakan guna memperoleh data Uji komposisi, kekuatan tarik, struktur makro, dan kekerasan, pada hasil las titik (*spot welding*) pada kuningan (*brass*). Dari hasil penelitian didapat Komposisi kuningan yang dominan Cu: 63% dan Zn 35.1%. Nilai penetrasi 2 lapis paling besar pada voltase 2.20 V dengan 50.84% dan 69.49% untuk maksimum. Pada 3 lapis dengan voltase 2.28 minimum 39.08% dan maksimum 52.87%. Nugget diameter 2 lapis dengan voltase 2.28 V dengan nilai 3.62 mm. 3 lapis voltase 2.28 V dengan nilai 4.38 mm. pengujian kekerasan lapis 2 dan 3 pada daerah HAZ, Las dan yang paling tertinggi adalah pada tegangan 2.20 V. Nilai uji tarik paling tinggi terjadi pada tegangan 2.28 V 3 lapis dan terendah 1.75 V 3 lapis.

**Kata kunci:** kuningan, las titik, sifat mekanis, lap joint, voltase

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang Masalah

Perkembangan teknologi dibidang pengelasan yang semakin maju, proses pengelasan mempunyai peranan penting dalam rekayasa dan reparasi logam ruang lingkup aplikasi teknologi pengelasan sangat luas, meliputi perkapalan, jembatan, perpipaan, kendaraan bermotor, mobil, pesawat terbang dan lain sebagainya. Luasnya penggunaan teknologi pengelasan disebabkan karena prosesnya lebih mudah, sederhana, dan murah.

*Spot welding* (las titik) merupakan cara pengelasan resistensi listrik dimana dua atau lebih lembaran logam dijepit diantara elektroda logam (Agarwal,1981). Siklus pengelasan dimulai ketika elektroda bersinggungan dengan logam dibawah arus tekanan sebelum arus dialirkan. Waktu yang singkat ini disebut waktu tekan kemudian arus bertegangan rendah dialirkan di antara elektroda sehingga logam yang bersinggungan menjadi panas dan suhu naik menjadi suhu pengelasan. Ketika suhu pengelasan itu tercapai, maka tekanan antara

elektroda memaksa logam untuk menjadi satu dan terbentuklah sambungan las. Mutu dan karakteristik dari hasil pengelasan titik dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti pengelasan, besarnya arus pengelasan dan tekanan yang diberikan pada saat pengelasan (Amsted, B.H., 1995).

Kuningan adalah logam yang merupakan campuran dari tembaga dan seng. Kuningan biasanya diklasifikasikan sebagai paduan tembaga warna kuningan bervariasi dari coklat kemerahan gelap hingga kuning keperakan tergantung pada jumlah kadar seng. Seng lebih banyak mempengaruhi warna kuning tersebut. Kuningan lebih kuat dan lebih keras dari pada tembaga, tetapi tidak sekuat atau dan sekeras seperti baja. Kuningan sangat mudah untuk dibentuk kedalam berbagai bentuk, sebuah konduktor panas yang baik dan umumnya tahan terhadap korosi dari air garam, karena sifat-sifat tersebut, kuningan kebanyakan digunakan untuk membuat pipa, tabung, sekrup, radiator, heat exchanger, alat musik, komponen kapal laut dan casing cartridge untuk senjata api. Bahan kuningan untuk dibuat kompoen dapat melalui proses pengelasan las titik dapat di aplikasikan pada heat exchanger type rectangular dan heat exchanger offset strip fin karena kuningan mempunyai sifat mampu menyerap panas yang baik. Seberapa kuat kekuatan sambungan las tersebut masih harus diteliti.

Dengan belum banyaknya penelitian yang membahas tentang las titik kuningan maka dari itu peneliti ingin melakukan penelitian tentang las titik kuningan dengan variasi tegangan listrik. Diharapkan dengan penelitian ini dapat bermanfaat dalam dunia industri dan manufaktur, khususnya pada pemanfaatan kuningan agar banyak digunakan dalam dunia industri (Suwarto, 2019).

### Kuningan

Kuningan adalah logam campuran dari tembaga (Cu) dan seng (Zn). Tembaga merupakan komponen utama dari kuningan, dan kuningan biasanya diklasifikasikan sebagai paduan tembaga. Warna kuningan bervariasi dari coklat kemerahan gelap hingga ke cahaya kuning keperakan tergantung pada jumlah kadar seng. Seng lebih banyak mempengaruhi warna kuningan tersebut. Kuningan lebih kuat dan lebih keras dari pada tembaga, tetapi tidak sekuat atau sekeras baja. Kuningan sangat mudah untuk dibentuk

kedalam berbagai bentuk, sebuah konduktor panas yang baik, dan umumnya tahan terhadap korosi dari air garam. Karena sifat-sifat tersebut kuningan kebanyakan digunakan untuk membuat pipa, tabung, sekrup, alat musik, dan aplikasi kapal laut. Titik cair dari sebuah benda padat adalah suhu dimana benda tersebut akan berubah bentuk menjadi cair, pada logam kuningan memiliki titik cair yang bervariasi tergantung pada jumlah paduan komposisi bahan Cu dan Zn. Pada penelitian ini saya menggunakan komposisi bahan seperti tercantum pada Tabel 1.

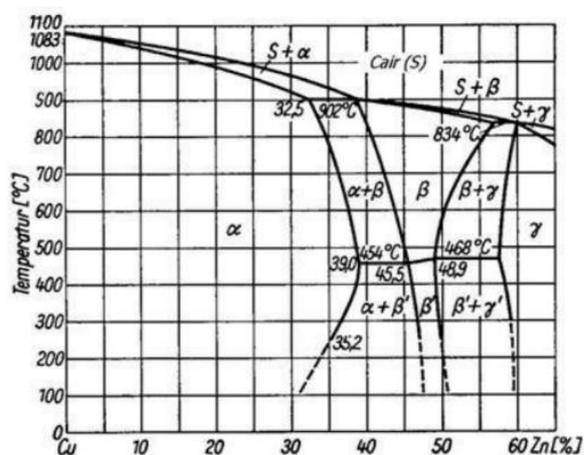
Tabel 1 Titik Cair Standart Kuningan

Komposisi Bahan	Titik Cair (°C)
85%Cu-15%Zn	1150-1200
70% Cu - 30% Zn	1080-1130
60% Cu - 40% Zn	1030-1080

(Sumber: ASM Handbook Vol 15: Casting, 9th Edition. ASM International. (1992))

### Paduan Cu-Zn

Paduan Cu-Zn dengan kandungan Cu sedikitnya 55% dikenal dengan sebutan yang memiliki kuningan. Secara umum kuningan terdiri dari kuningan  $\alpha$  &  $\beta$ . Matriks (struktur dasar)  $\alpha$  dan kuningan- $\beta$  yang memiliki matriks. Dalam keadaan pada Cu mampu melarutkan Zn sangat banyak di dalam kristal campuran. Pada temperatur 902 °C terjadi transformasi paritektik dimana Zn larut sebesar 32,5%.



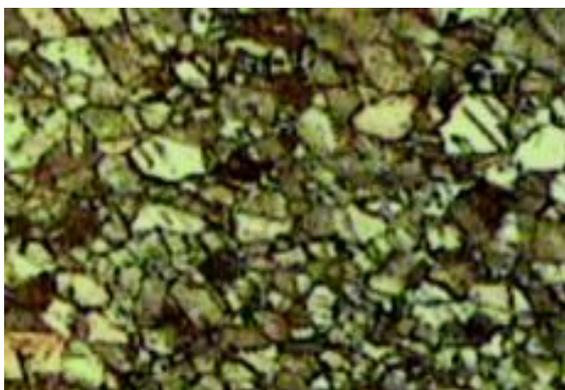
Gambar 1 Diagram Biner Cu-Zn

(Sumber : ASM Handbook Vol 15: Casting, 9th Edition. ASM International. (1992))

Proses pendinginan yang umum dicapai secara teknis, struktur kuningan dengan kandungan Zn 39% setelah perlakuan panas

biasanya akan terdiri dari Kristal  $\alpha$  yang homogen tanpa ada sedikitpun kristal  $\beta$ . Kuningan inilah yang kemudian dikenal dengan kuningan  $\alpha$  (alfa) yang memiliki sifat ulet namun cukup memiliki keternesinan yang baik dengan unit sel FCC seperti pada umumnya panduan tembaga lainnya. Diagram fasa Biner Cu-Zn dapat dilihat pada Gambar 2.

Sebagai contoh untuk kuningan dengan kandungan Zn 28%, secara teoritis pada temperatur 970 °C akan mulai terbentuk kristal-kristal  $\alpha$  dendritik yang memiliki kandungan Zn sekitar 24%. Konsentrasi Zn didalam sisa cairan yang semakin menyusut kemudian akan naik bersama turunnya temperatur, sedangkan kristal  $\alpha$  tumbuh membesar dengan konsentrasi Zn yang meningkat. Pada saat mencapai temperatur solidusnya (sekitar 930 °C) sisa cairan terakhir dengan konsentrasi Zn sebesar 33% pun membeku sebagai kristal  $\alpha$  sehingga seluruh paduan telah berada dalam keadaan padat dengan struktur  $\alpha$  yang homogen.



Gambar 2. Cu 67% Zn 37%

### Pengertian Las

Definisi pengelasan menurut DIN (*Deutsche Industrie Normen*) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Definisi menurut AWS (*American welding society*) adalah proses penyambungan material dengan memanaskan sampai mencapai temperatur pengelasan, dengan atau menggunakan tekanan atau dengan tanpa menggunakan logam pengisi (Harsono, 1981).

Mengelass menurut Sriwidharto (1987) adalah suatu aktifitas menyambung dua bagian benda atau lebih dengan cara memanaskan atau menekan atau gabungan

dari keduanya sedemikian rupa sehingga menyatu seperti benda utuh. Penyambungan bisa dengan atau tanpa bahan tambah (filler metal) yang sama atau berbeda titik cair maupun strukturnya.

Pengelasan dapat diartikan dengan proses penyambungan dua buah logam sampai titik rekristalisasi logam, dengan atau tanpa menggunakan bahan tambah dan menggunakan energi panas sebagai pencair bahan yang dilas. Pengelasan juga dapat diartikan sebagai ikatan tetap dari benda atau logam yang dipanaskan.

Mengelass bukan hanya memanaskan dua bagian benda sampai mencair dan membiarkan membeku kembali, tetapi membuat lasan yang utuh dengan cara memberikan bahan tambah atau elektroda pada waktu dipanaskan sehingga mempunyai kekuatan seperti yang dikehendaki. Kekuatan sambungan las dipengaruhi beberapa faktor antara lain: prosedur pengelasan, bahan, elektroda dan jenis kampuh yang digunakan.

### Klasifikasi pengelasan

Secara konvensional cara – cara pengklasifikasian pengelasan dapat dibagi menjadi dua golongan, yaitu klasifikasi berdasarkan energi yang digunakan (sumber panas) dan klasifikasi berdasarkan cara kerja (Kenyon, 1987).

Ditinjau dari berdasarkan sumber panasnya klasifikasi pengelasan dapat dibedakan menjadi tiga :

- Mekanik
- Listrik
- Kimia

Ditinjau berdasarkan cara kerjanya klasifikasi pengelasan dapat dibagi dalam tiga kelas utama yaitu pengelasan cair, pengelasan tekan, dan pematrian, yaitu:

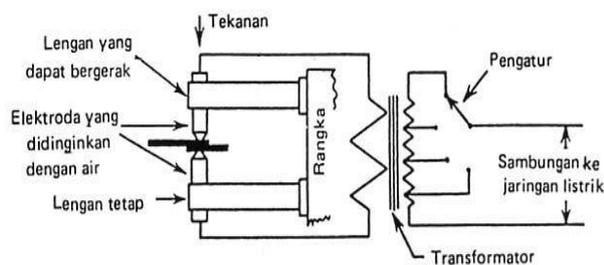
- a. Pengelasan cair  
Pengelasan cair adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan sampai mencair dengan sumber panas dari busur listrik atau sambungan api gas yang terbakar.
- b. Pengelasan tekan  
Pengelasan tekan adalah cara pengelasan dimana sambungan dipanaskan kemudian ditekan kemudian menjadi satu.
- c. Pematrian  
Pematrian adalah cara pengelasan dimana sambungan diikat dan disatukan dengan menggunakan paduan logam yang mempunyai titik cair rendah, dalam hal ini logam induk tidak ikut mencair.

## Las Titik

Las titik merupakan bagian dari las resistensi listrik. Pengelasan ini mula – mula dikembangkan oleh Prof. Elihu Thompson pada abad ke 19 atau sekitar tahun 1877 (Rosi, 1954). Pada proses ini digunakan arus listrik yang cukup besar yang dialirkan ke logam yang disambung sehingga menimbulkan panas kemudian sambungan ditekan dan menyatu. Arus listrik yang digunakan akan diubah tegangannya menjadi 4-12 Volt, dengan menggunakan transformator dengan kemampuan arus sesuai kebutuhan. Bila arus mengalir didalam logam, maka akan timbul panas di tempat dimana resistensi listriknya besar yaitu pada batas permukaan kedua lembaran logam yang akan dilas (Miller, 2016).

### a. Pengertian las titik (Spot welding)

Las titik adalah merupakan salah satu cara pengerlasa resistansi listrik, dimana dua tau lebih lembaran logam dijepit diantara dua elektroda logam. Kemudian arus yang kuat dialirkan melalui elektroda tembaga, sehingga titik di antara plat logam di bawah elektroda yang saling bersinggungan menjadi panas akibat resistansi listrik hingga mencapai suhu pengelasan, sehingga mengakibatkan kedua plat pada bagian ini menyatu. Sedangkan pada bagian kontak antara elektroda mengalami cair karena ujung elektroda didinginkan dengan air. sambungan las titik dapat diterapkan pada plat-plat tipis dan plat baja karbon rendah dengan menggunakan sambungan tumpang (lap joint). Pada pengelasan resistansi listrik ada tiga faktor yang perlu diperhatikan dalam pengelasan yaitu: arus pengelasan (dalam Ampere), tahanan listrik antara kedua elektroda yang digunakan (dalam Ohm), dan waktu (dalam Second).



Gambar 3 Diagram Alat Las Titik

### b. Syarat las titik

Syarat las listrik yang baik adalah permukaan logam induk harus bebas dari karat dan kotoran (karat dan kotoran dapat meningkatkan nilai tekanan permukaan dan

menimbulkan panas logam yang berlebihan). Bila terjadi panas lokal yang berlebihan, maka pada daerah tersebut, bukan pengelasan yang terjadi seperti yang diharapkan, tetapi "pengecoran", karena logam induknya dapat mencair pada temperatur tertentu (suhu titik didih logam induk).

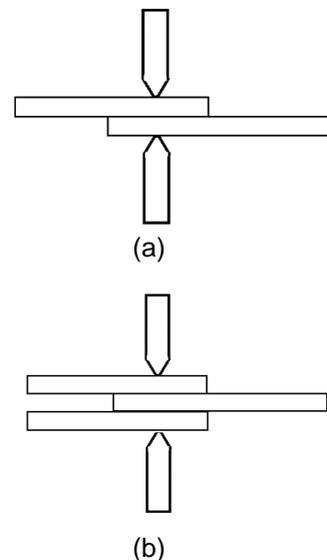
### c. Prinsip las titik (spot welding)

Pengelasan titik mempunyai varian paling banyak digunakan pada proses pengelasan resistansi. Parameter utama pengelasan titik yaitu lama penekanan dan waktu las. Disarankan bahwa ketika mengembangkan prosedur ukuran elektroda las, waktu las dan gaya pengelasan harus pertama dipilih dan arus pengelasan meningkat sampai mencapai ukuran nugget yang diinginkan.

## METODE

Hasil penelitian ini menggunakan metode eksperimen, yaitu suatu cara untuk mencari hubungan sebab akibat antara faktor yang berpengaruh. Eksperimen dilaksanakan di laboratorium dengan guna memperoleh data tentang analisa kekuatan geser, struktur makro, dan kekerasan, hasil las titik pada kuningan (*brass*).

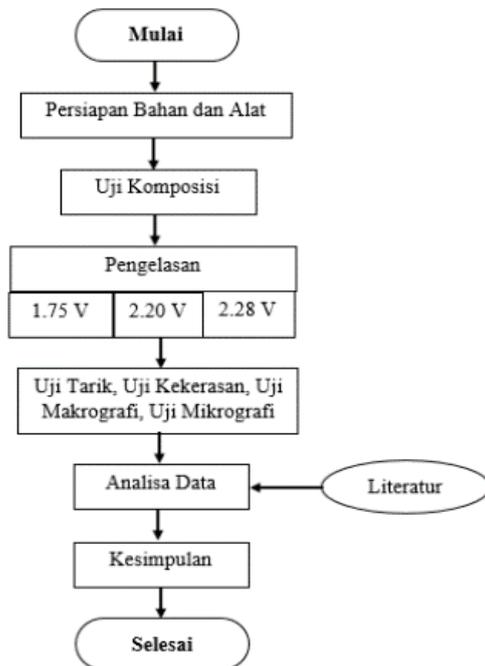
Waktu yang digunakan pada pengelasan 3 detik. Besar tegangan yang digunakan pada pengelasan dengan las titik adalah 1.75V, 2.20V, dan 2.28V. Model sambungan menggunakan model sambungan lap joint dua lapis dan tiga lapis, perhatikan Gambar 4 merupakan model sambungan las titik.



Gambar 4. Variasi sambungan las titik (a) dua layer/lapis (b) tiga layer

Bahan yang dilas adalah kuningan (brass). Pengujian sifat fisis dan mekanis dilakukan dengan uji tarik, uji kekerasan, dan uji macrography (Foto makro).

### Diagram Alir Penelitian



Gambar 5 Diagram Alir Penelitian

### Pengujian Komposisi

Uji komposisi dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia yang terkandung dalam bahan yang digunakan. Proses pengujian komposisi adalah untuk mengetahui seberapa besar unsur pembentuk bahan, misalnya C, Si, Cu, Mn, S, dan unsur lainnya. Langkah-langkah pengujian komposisi adalah sebagai berikut:

Potong bahan yang akan digunakan untuk spesimen sepanjang 20 mm, lebar 20 mm dan tebal 0,8 mm, dibersihkan permukaannya sampai halus dan rata.

*Spectrometer Metal Scan* adalah suatu tipe mikroskop elektron yang menggambarkan permukaan sampel melalui proses scan dengan menggunakan pancaran energi yang tinggi dari elektron dalam suatu pola scan raster. Elektron berinteraksi dengan atom – atom yang akan membuat sampel menghasilkan sinyal dan memberikan informasi mengenai permukaan topografi sampel, komposisi dan sifat – sifat lainnya seperti konduktivitas listrik.

### Pengujian Geser

Prosedur dan pembacaan hasil pengujian Geser adalah sebagai berikut.

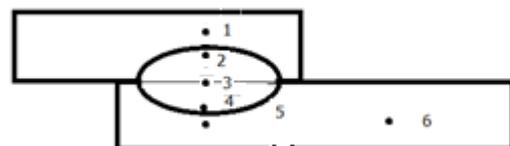
Langkah pengujian sebagai berikut, menyalakan mesin dan komputer yang akan digunakan untuk pengujian. Menjepit benda uji pada mesin dan mulai penarikan dengan diawali 0 kg hingga benda putus pada beban maksimal yang dapat ditahan oleh benda tersebut. Kemudian dilakukan pengujian geser dengan pembebanan 25 N/s. Gaya atau beban yang dihasilkan akan muncul pada layar komputer berupa grafik pembebanan. Hasil akhir yaitu menghitung kekuatan geser, reduksi penampang dari data yang telah didapat dengan menggunakan persamaan yang ada.

### Pengujian Makro

Pengambilan foto makro menggunakan mesin olympus Perbesaran yang digunakan yaitu perbesaran 2x. Uji foto makro untuk mengetahui hasil lasan (nugget) dan bentuk dari nugget itu sendiri. Langkah-langkah dalam foto makro adalah sebagai berikut, meletakkan spesimen pada landasan mikroskop optik, ktfikan mesin, dekatkan lensa pembesar untuk melihat permukaan spesimen. Pengambilan foto makro dengan perbesaran 2x. Apabila struktur makro kurang jelas atau kabur, lensa difokuskan agar terlihat dengan jelas. Sebelum gambar diambil, film dipasang pada kamera yang telah disetel sedemikian rupa. Usahakan pada saat pengambilan foto tidak ada apapun yang membuat mikroskop optik bergerak, karena apabila mikroskop optik bergerak akan mempengaruhi hasilnya.

### Pengujian Kekerasan

Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin uji kekerasan mikro vikers. Beban yang digunakan adalah 100gf dengan lama penekanan 5 detik. Jarak antara titik pengujian adalah 5mm. Garis tengah logam las (*welded metal*) dijadikan sebagai titik acuan (titik nol) dalam penentuan titik pengujian. Pengujian kekerasan dilakukan di daerah yang sesuai terlihat pada Gambar 6 berikut:



Gambar 6 Titik pengujian kekerasan area; 1. Haz, 2. Las, 3. Las, 4. Las, 5. Haz dan 6. Base Metal

Adapun langkah – langkah pengujian kekerasan sebagai berikut: Hidupkan mesin uji kekerasan vickers seperti pada Gambar 7.



Gambar 7 Mesin Uji Kekerasan Vickers

Memasang identor piramida intan. Penekanan piramida intan 1360 dipasang pada tempat identor mesin uji, kencangkan secukupnya agar penekanan intan tidak jatuh. Memberi warna pada daerah logam las, HAZ dengan logam induk yang akan diuji. Meletakkan benda uji di atas landasan. Menentukan beban utama sebesar 100gf. Menentukan titik yang akan diuji. Menekan tombol identor. Mengukur hasil identor berupa diagonal D1 dan diagonal D2.

## HASIL PENELITIAN

### Uji Komposisi

Hasil dari uji komposisi base material yang digunakan di laboratorium uji komposisi politeknik manufaktur ceper dijabarkan pada Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2 Komposisi Kimia Material (%) Berat

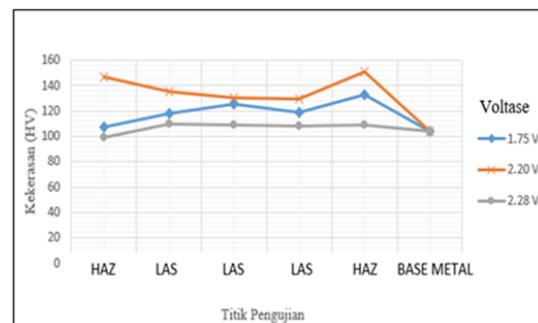
No	Unsur	(%) Berat	S.D
1	Cu	63,7	0,264
2	Zn	35,1	0,230
3	Pb	0,107	0,00100
4	Sn	0,252	0,00188
5	Mn	0,0224	0,0031
6	Fe	0,0801	0,0033
7	Ni	0,0734	0,0066
8	Si	0,0519	0,0071
9	Mg	<0,0050	0,0000
10	Cr	0,0197	0,0009
11	Al	0,269	0,0036
12	As	0,0677	0,0014
13	Be	<0,0020	0,0000
14	Ag	0,0120	0,0008

15	Co	0,0219	0,0007
16	Bi	0,0549	0,0021
17	Cd	0,0602	0,0045
18	Zr	0,0064	0,0002

Hasil pengujian komposisi kimia Cu yang di dapat adalah 63,7% sedangkan komposisi kimia Zn sebesar 35,1% dari hasil pengujian tersebut dapat diketahui menurut tabel komposisi kimia ASM *Yellow Brass* masuk dalam standar komposisi UNS C85800.

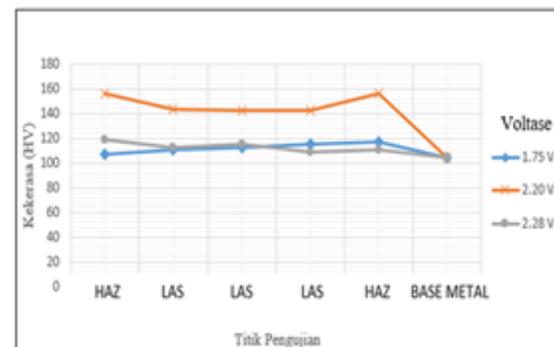
### Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan menghasilkan data dari nilai kekerasan dari spesimen kelompok materials dan kelompok variasi arus pengelasan. Nilai kekerasan dari setiap spesimen.



Gambar 8 Grafik pengujian kekerasan 2 lapis

Pada pembahasan dapat diketahui dengan perbandingan ketiga variasi pada variabel lapis 2 didapat nilai HAZ pertama 146.9 HV dengan variasi arus 2.20V mendapat nilai terbesar. Selanjutnya pada daerah las nilai kekerasan terbesar diketahui pada variasi arus 2.20V dengan nilai kekerasan 131.7 HV. HAZ terakhir nilai kekerasan paling tinggi di dapat variasi arus 2.20V dengan kekerasan 151.2 HV, dan pada Base Metal mendapat nilai sama yaitu 104.4 HV.



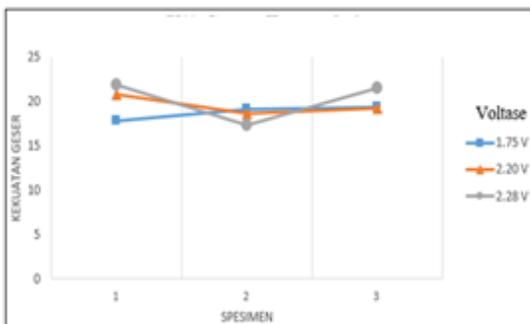
Gambar 9 Grafik pengujian kekerasan 3 lapis

Pada hasil pengujian dapat diketahui dengan perbandingan ketiga variasi pada variabel 3 lapis didapat nilai HAZ pertama 142.6 HV dengan variasi arus 2.20V mendapat nilai terbesar. Selanjutnya pada daerah las nilai kekerasan terbesar diketahui pada variasi arus 2.20V dengan nilai kekerasan 142,9 HV. HAZ terakhir nilai kekerasan paling tinggi di dapat variasi arus 2.20V dengan kekerasan 156,05 HV, dan pada Base Metal mendapat nilai yaitu 104.4 HV.

### Pengujian Geser

Pengujian geser dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis dari material kuningan sebagai material uji dalam penelitian ini. Hasil pengujian geser pada umumnya adalah parameter kekuatan (kekuatan geser dan kekuatan luluh), parameter keliatan atau keuletan yang ditunjukkan dengan adanya perpanjangan.

Pengujian dengan menggunakan mesin *Universal Testing Machine* pada kecepatan pembebanan 25 N/s dan pada suhu kamar. Spesimen pengujian terdiri dari pengujian geser untuk kualitas kekuatan geser kuningan hasil pengelasan Spot Welding dengan elektroda type A dan kekuatan geser hasil las titik kuningan (Brass). Data-data hasil pengujian geser pada lapis 2 variasi voltase pengelasan yang sudah diperoleh kemudian dimasukkan kedalam persamaan yang ada.

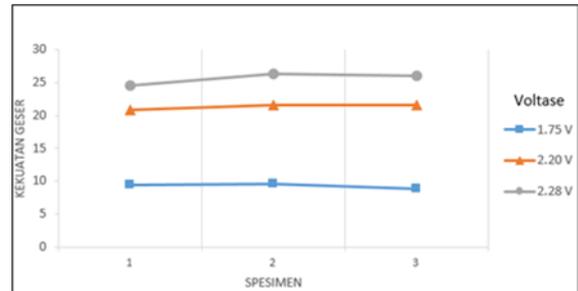


Gambar 10. Grafik hasil pengujian geser lapis 2

Grafik uji geser dapat dilihat bahwa dari beberapa spesimen dengan variasi tegangan didapatkan beberapa kesimpulan diantaranya:

Nilai kekuatan geser rata – rata untuk kelompok 1.75 V adalah 18.80 Kg/mm<sup>2</sup>, nilai kekuatan geser rata – rata untuk kelompok 2.20 V adalah 19.61 Kg/mm<sup>2</sup>, ini berarti mengalami kenaikan sebesar 0.81 Kg/mm<sup>2</sup> dari voltase kelompok 1.75 V. Nilai kekuatan geser rata – rata untuk kelompok 2.28 V

adalah 20.28 Kg/mm<sup>2</sup> berarti mengalami kenaikan 1.48 Kg/mm<sup>2</sup> dari 1.75 V dan mengalami kenaikan juga pada 2.20 V sebesar 0.67 Kg/mm<sup>2</sup>. Kualitas kekuatan las yang baik terdapat pada las dengan arus 2.28 V yakni sebesar 20.28 Kg/mm<sup>2</sup>.



Gambar 11. Grafik hasil pengujian geser 3 lapis

Grafik uji geser dapat dilihat bahwa dari beberapa spesimen dengan variasi tegangan didapatkan beberapa kesimpulan diantaranya:

Nilai kekuatan geser rata – rata untuk kelompok 1.75 V adalah 9.26 Kg/mm<sup>2</sup>, nilai kekuatan geser rata – rata untuk kelompok 2.20 V adalah 21.29 Kg/mm<sup>2</sup>, ini berarti mengalami kenaikan sebesar 12.03 Kg/mm<sup>2</sup> dari kelompok 1.75 V. Nilai kekuatan geser rata – rata untuk kelompok 2.28 V adalah 25.62 hal ini mengalami kenaikan dari kelompok 1.75 V sebesar 16.36 Kg/mm<sup>2</sup> dan juga mengalami kenaikan 4.33 Kg/mm<sup>2</sup> dari kelompok 2.20 V. Kualitas kekuatan las paling baik terdapat pada las dengan menggunakan arus 2.28 V sebesar 25.62 Kg/mm<sup>2</sup>.

Tabel 3 Nugget diameter

No	Voltase (V)	Ø Nugget (mm)	Penetrasi (%)
Tumpuk 2			
1	1.75	2.56	47.54
2	2.20	2.95	69.49
3	2.28	3.62	66.66
Tumpuk 3			
1	1.75	3.1	39.25
2	2.20	3.83	51.06
3	2.28	4.38	52.87

### Perhitungan Nugget Diameters

Pengamatan yang dilakukan pada struktur macro, dilakukan dengan mengambil gambar pada Variasi 2 lapis dan 3 lapis dengan Voltase 1.75V, 2.20V dan 2.28V pada Tabel 3.

### Heat Input

Panas masukan pada benda kerja pada variasi arus pengelasan dapat dilihat pada tabel 4 sebagai berikut.

Tabel 4. Heat input pengelasan titik

Variasi Voltase	Heat input
1.75 V	136.5 J/mm
2.20 V	171.6 J/mm
2.28 V	177.8 J/mm

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut. Komposisi kuningan yang dominan Cu: 63.7% dan Zn: 35.1%. Nilai penetrasi 2 lapis paling besar pada voltase 2.20 V dengan nilai minimum 50.84% dan 69.49% untuk maksimum. Kemudian untuk nilai penetrasi paling besar pada 3 lapis dengan voltase 2.28 minimum 39.08% dan maksimum 52.87%. Dari hasil pengukuran diameter nugget 2 lapis di dapat nilai nugget diameter paling besar pada voltase 2.28 V dengan nilai 3.62 mm dan untuk nilai nugget diameter 3 lapis paling besar pada voltase 2.28 V dengan nilai 4.38 mm.

Dengan peningkatan tegangan pengelasan pada 2 dan 3 lapis nilai pengujian kekerasan pada daerah HAZ, las dan yang paling tertinggi adalah pada tegangan 2.20 V, 2 lapis 151.2 Hv, 3 lapis 156.1 Hv.

Perbedaan lapis dan tegangan pengelasan berpengaruh terhadap nilai uji Geser yang dihasilkan. Nilai uji geser paling tinggi terjadi pada tegangan 2.28 V adalah

25.62 Kg/mm<sup>2</sup> 3 lapis dan terendah 1.75 V adalah 9.26 Kg/mm<sup>2</sup> 3 lapis.

### DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal, R.L. & Manghnani T., 1981, "Welding Engineering", New Delhi, Khanna Publisher.
- ASM Internasional, 1992, "HANBOOK Vol 03 Alloy Phase Diagrams", termuat di [:http://s1.iran-mavad.com/ASM%20handbooks/Vol\\_3\\_ASM%20handbooks\\_iran-mavad.com.pdf](http://s1.iran-mavad.com/ASM%20handbooks/Vol_3_ASM%20handbooks_iran-mavad.com.pdf), di akses 20 juli 2017.
- ASM Internasional, 1992, "HANBOOK Vol 15 casting", termuat di <http://www.legionplacementservice.com/wp-content/uploads/2017/06/ASM-HandBook-Vol-15-Casting-2002s.pdf>, di akses 21 juli 2017.
- ASM Internasional, 1993, "HANBOOK Vol 6 Welding, Brazing, Dan Soldering", <https://metallurgymaterials.files.wordpress.com/2014/03/vol-6-weldingbrazing-and-soldering.pdf>, di akses 21 juli 2017.
- Harsono, W. & Okumura, T., 1981, "Teknologi Pengelasan Logam", Jakarta Pradnya Paramitha.
- Kenyon, W., 1987, "Dasar-dasar Pengelasan". Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Miller, 2016, "HANDBOOK FOR Resistance Spot Welding", termuat di <https://www.millerwelds.com/-/media/miller.../resistance.pdf>, diakses 21 juli 2017.
- Rosi E. B., 1954, "Welding Engineering", edition, McGraw-Hill, Inc., New York.
- Sriwidharto, 1987, "Petunjuk Kerja Las", Jakarta, Pradnya Paramitha.
- Suwarto, Suparno dan, Arie Ashwin, 2019, Pengaruh Variasi Kuat Arus dan Waktu Pengelasan Pada Proses *Spotwelding* Terhadap Kekuatan Tarik Dari Plat Mild Steel Tebal 1 Milimeter. Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri 2019.