

## Karakteristik Kekerasan Dan Porositas Sambungan Las Pada Retakan Gambelan Bali Dengan Variasi *Postheating*

I Made Arya Widnyana Kesuma, I Ketut Gede Sugita, I Gusti Ngurah Priambadi  
*Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali*

---

### Abstrak

Gamelan Bali masih diproduksi dengan cara tradisional. Perajin gamelan selalu mengeluhkan berbagai permasalahan, salah satunya adalah kegagalan hasil produksi. Kegagalan yang terjadi pada material gamelan yaitu retak maupun patah. Perajin saat ini sudah menggunakan metode pengelasan untuk memperbaiki gong yang retak. Proses pengelasan pada retakan gamelan menjadi pertimbangan yang cukup mendalam untuk dilakukan perbaikan, guna menekan biaya produksi yang besar. Gamelan yang mengalami retak dianggap barang yang sudah rusak/rongsokan, maka dari itu perlu dilakukan penelitian karakteristik kekerasan dan porositas sambungan las pada retakan gamelan Bali dengan variasi *postheating*. Material yang digunakan yaitu material perunggu gamelan Bali dengan melalui proses sand casting, las asetilen, pemesinan, dan heat treatment dengan temperatur 300<sup>0</sup>C, 400<sup>0</sup>C, dan 500<sup>0</sup>C kemudian didinginkan dengan pendingin air. Pengamatan nilai kekerasan dilakukan pada daerah logam induk, HAZ (Heat Affected Zone), dan las. Bentuk spesimen uji menggunakan standar ASTM E 399-90. Hasil pengujian kekerasan dengan metode Vickers didapatkan nilai kekerasan yang paling tinggi yaitu pada spesimen dengan temperatur 300<sup>0</sup>C dengan rata-rata 300,13 kg/mm<sup>2</sup>, sedangkan spesimen yang memiliki nilai kekerasan terendah yaitu pada spesimen dengan temperatur 500<sup>0</sup>C dengan rata-rata 257,88 kg/mm<sup>2</sup>. Hasil pengujian densitas dapat diketahui perbandingan densitas pada spesimen dengan temperatur 300<sup>0</sup>C memiliki nilai rata-rata densitas 7.54 gr/cm<sup>3</sup> lebih kecil dibandingkan dengan spesimen dengan temperatur 500<sup>0</sup>C memiliki rata-rata densitas 7.62 gr/cm<sup>3</sup>, tetapi nilai rata-rata porositas pada spesimen temperatur 500<sup>0</sup>C lebih kecil. Porositas juga diamati dengan menggunakan Software ImageJ untuk melihat sebaran dan besaran porositas. Kekuatan dan kekerasan pada setiap spesimen dipengaruhi oleh struktur atom yang terbentuk akibat proses heat treatment, pengelasan dan pendinginan yang dilakukan.

*Kata Kunci : Gamelan Bali, Las Asetilen, Kekerasan, Porositas, Software ImageJ*

### Abstract

Balinese Gamelan are still making by traditional method. In the making process, the makers facing some problems, that is the outcome failure. Material failures are including crack or fracture. To overcome the failure, the makers are using welding method to repair the cracked material. Therefore, the welding process is considered to improve to reduce high production-costs. The material that has been cracked or fractured are considered as scrap, so it is need to study the hardness and porosity characteristics of welding joint by post-heating variation in Balinese gamelan material. The study used bronze material by sand-casting process, acetylene welding, machining, and heat-treatment by temperature of 300<sup>0</sup>C, 400<sup>0</sup>C, 500<sup>0</sup>C (then cooling by water-cooling). Observation of the value of hardness was carried out on the main metal area, HAZ (Heat Affected Zone), and weld. Form test specimens using the ASTM E 399-90 standard. Result of Vickers hardness testing obtained the specimen by heat-treatment on 300<sup>0</sup>C has maximum hardness value with average score 300,13 kg/mm<sup>2</sup> while the specimen by heat-treatment on 500<sup>0</sup> C has minimum hardness value with average score 257,88 kg/mm<sup>2</sup>. The density test result obtained the specimen by heat-treatment on 300<sup>0</sup> C has average density 7.54 gr/cm<sup>3</sup> is smaller than the specimen by heat-treatment on 500<sup>0</sup>C with average density 7.62 gr/cm<sup>3</sup>, mean while the specimen by heat-treatment on 500<sup>0</sup>C has smaller. The porosity analysis procedure using ImageJ to determine the distribution and the porosity of the specimen. The Strength and hardness of the specimens is affected by the atoms structure that formed due to heat-treatment; welding process; and cooling process that has been applied.

*Keywords : Balinese Gamelan, Acetylene welding, hardness value, porosity, software ImageJ*

---

## 1. Pendahuluan

Gamelan Bali merupakan salah satu jenis alat musik gamelan tradisional yang khas dari Bali. Gamelan Bali digunakan sebagai pengiring suatu pertunjukan kesenian yang bersifat sakral maupun hiburan. Gambelan Bali terbuat dari perunggu, komposisi paduan tembaga (Cu) dan Timah (Sn)[1]. Cacat yang sering terjadi pada gambelan atau gong yaitu patah dan retak. Pemukulan yang dilakukan secara berulang akan memberikan beban dinamis pada gambelan. Perajin gambelan selalu mengeluhkan berbagai permasalahan, salah satunya adalah kegagalan hasil produksi. Gambelan yang patah biasanya dilakukan peleburan atau cor ulang dan dibuatkan gambelan baru, sama juga pada gong yang retak.

Pada gambelan yang retak perlu dicarikan solusi agar tidak dilakukan peleburan dan meminimalkan kerugian para perajin maupun pemilik gambelan[2]. Pengelasan adalah proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas, maka logam yang disekitar daerah las mengalami perubahan struktur metalurgi, deformasi dan tegangan termal[3].

Gong yang retak dilakukan proses pemanasan terlebih dahulu dengan cara dibakar pada tungku sampai membara, setelah itu dilas menggunakan las asitelin. Bahan pengisi untuk las asitelin yaitu berbahan perunggu (gambelan yang rusak) dengan cara memanaskan bahan pengisi sampai mencair kemudian diendapkan pada logam yang akan disambung sehingga terbentuk sambungan las. Keuntungan memperbaiki gong dengan cara dilas, sambungan las juga memiliki kelemahan diantaranya adalah mudah retak dan patah karena adanya pemukulan yang secara terus menerus yang diakibatkan oleh porositas pada daerah las yang menyebabkan kualitas suara gambelan menjadi kurang bagus. Proses pengelasan pada retakan gambelan menjadi pertimbangan yang cukup mendalam untuk dilakukan perbaikan, guna menekan biaya produksi yang besar. Gamelan yang mengalami retak dianggap barang yang sudah rusak/rongsokan dan dihargai sangat rendah, maka dari itu perlu dilakukannya penelitian karakteristik kekerasan dan porositas sambungan las pada retakan gambelan Bali dengan variasi *postheating*.

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Pengecoran

Pengecoran (*casting*) adalah salah satu proses yang digunakan dalam pembentukan logam dimana bahan logam dicairkan atau dipanaskan sampai temperatur tertentu dalam suatu tungku, kemudian logam cair tersebut dialirkan atau dibawa dan dituangkan pada suatu cetakan. Dalam cetakan tersebut logam cair dibiarkan sampai dingin atau membeku sebelum dikeluarkan[4].

### 2.2. Perunggu

Perunggu merupakan paduan antara tembaga (Cu) dan timah (Sn) dalam arti sempit. Tetapi dalam

arti luas perunggu berarti paduan tembaga, timah putih, aluminium, silikon dan berilium. *Tin bronze* dengan komposisi 80%Cu- 20% Sn umumnya digunakan untuk bahan instrumen musik seperti *bell*, gamelan, karena paduan ini memiliki sifat mekanis yang baik, stabil dalam kondisi temperatur ruang, sifat akustik yang baik yaitu dapat menghasilkan suara yang panjang (*low damping vibration*)[5].

### 2.3. Pengelasan

Proses pengelasan dibagi dalam dua katagori utama, yaitu pengelasan lebur dan pengelasan padat. Pengelasan lebur menggunakan panas untuk melebur permukaan yang akan disambung, beberapa operasi menggunakan logam pengisi dan yang lain tanpa logam pengisi. Pengelasan padat proses penyambungannya menggunakan panas dan/atau tekanan, tetapi tidak terjadi peleburan pada logam dasar dan tanpa penambahan logam pengisi.

### 2.4. Pengujian Spesimen

#### 2.4.1. Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan melakukan penekanan pada spesimen menggunakan alat uji Vickers kemudian data hasil uji kekerasan dihitung dengan menghitung diagonal hasil penekanan. Angka pengujian spesimen dinyatakan HVN yang digunakan persamaan:

$$HVN = \frac{2 \cdot P \cdot \sin(\theta/2)}{d^2} = 1.854 \frac{P}{d^2} \text{ kg/mm}^2 \quad (1)$$

Keterangan :

d = diagonal rata – rata (mm)

P = beban (kg)

$\theta$  = sudut puncak = 136 °

#### 2.4.2. Porositas

Porositas yang terbentuk dapat diketahui dengan melakukan pengukuran densitas dengan menggunakan metode Pknometri dan perhitungan persentase porositas yang terjadi dapat diketahui dengan membandingkan densitas sampel material dengan densitas berdasarkan teori [6].

Pengukuran densitas yang materialnya berbentuk padatan atau *bulk* digunakan metode Archimedes. Menghitung nilai densitas sample dan teoritis digunakan persamaan :

Rumus Densitas Sampel adalah:

$$\rho_m = \frac{m_s}{(m_s - m_g)} \times \rho_{H_2O} \quad (2)$$

Dimana :

$\rho_m$  = Densitas sample (g/cm<sup>3</sup>)

$m_s$  = Massa sample kering (g/cm<sup>3</sup>)

$m_g$  = Massa sample yang direndam dalam air (g)

$\rho_{H_2O}$  = Massa jenis air ( 1 g/cm<sup>3</sup> )

Rumus Densitas Teoritis adalah:

$$\rho_{th} = \rho_{Cu} \cdot V_{Cu} + \rho_{Sn} \cdot V_{Sn} (\text{Paduan Cu-Sn}) \quad (3)$$

Dimana :

$\rho_{th}$  = Densitas teoritis (g/cm<sup>3</sup>)

$\rho_{Cu}$  = Densitas tembaga (8,92 g/cm<sup>3</sup>)

$\rho_{Sn}$  = Densitas timah putih ( 7,36 g/cm<sup>3</sup> )

$V_{Cu}$  = Fraksi volume tembaga

$V_{Sn}$  = Fraksi volume timah putih

Rumus Perhitungan Porositas adalah:

$$Porosity = 1 - \frac{\rho_m}{\rho_{th}} \quad (4)$$

Dimana :

$\rho_m$  = Densitas sample ( $g/cm^3$ )

$\rho_{th}$  = Densitas teoritis ( $g/cm^3$ )

### 3. Metode Penelitian

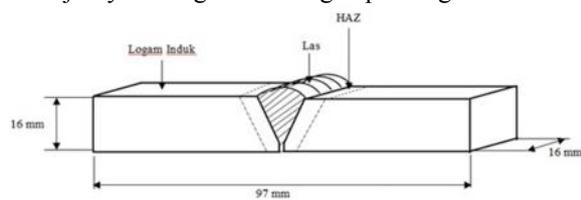
#### 3.1. Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan adalah:

1. Wadah/tempat mencairkan logam (*crucible*),
2. Tungku/dapur pemanas,
3. Amplas halus,
4. Bak air untuk pendinginan,
5. Las asatelin,
6. Autosol, lap kering,
7. Jangka sorong, gergaji,
8. Mesin uji Kekerasan,
9. Timbangan digital,
10. Mikroskop optik,
11. Mesin Frais,
12. Mesin Skrap.

#### 3.2. Pembuatan Spesimen

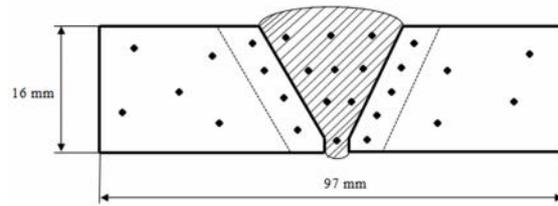
Pembuatan spesimen uji dilakukan melalui beberapa proses, diantaranya mempersiapkan material yang bahan perunggu dengan paduan tembaga dan timah putih dengan komposisi 77%(Cu): 23% (Sn) yang biasanya digunakan perajin gamelan Bali. Bahan kemudian dilebur dan dicor dengan menggunakan metode pengecoran pasir menjadi bentuk balok yang selanjutnya permukaan spesimen diratakan lalu dibuatkan kampuh dengan  $\theta = 60^\circ$  kemudian dilas menggunakan las asatelin. Bahan yang sudah dilas selanjutnya dilakukan pemotongan spesimen sesuai dengan standar ASTM E399-90. Ukuran bentuk spesimen 97mm x 16mm x 16mm. Spesimen uji kemudian dilakukan proses perlakuan panas. Perlakuan panas dilakukan dengan temperatur pemanasan yaitu 300°C, 400°C, dan 500°C, kemudian di tahan selama 1 jam selanjutnya didinginkan dengan pendingin media air.



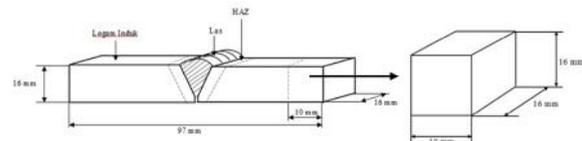
Gambar 1. Bentuk Spesimen Uji

#### 3.3. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada semua spesimen dengan cara random (acak). Pengambilan titik dilakukan sebanyak 9 titik pada masing-masing daerah yaitu logam induk, HAZ (*Heat Affected Zone*), dan las.



Gambar 2. Pengambilan Titik Uji Kekerasan

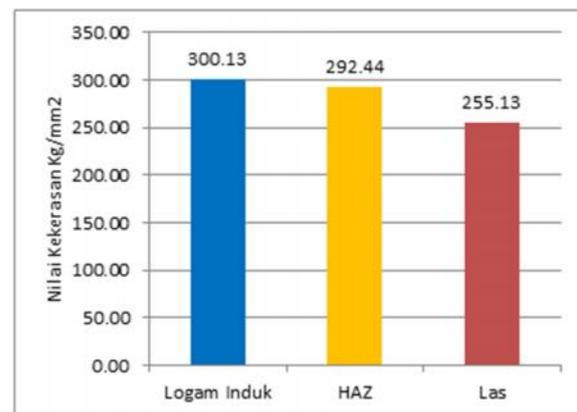


Gambar 3. Bentuk Spesimen Uji Densitas

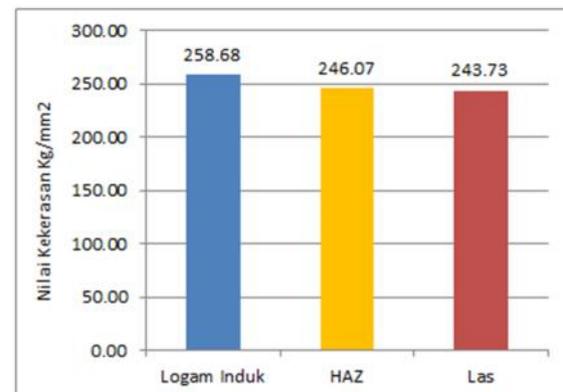
### 4. Hasil dan Pembahasan

#### 4.1. Pengujian Kekerasan

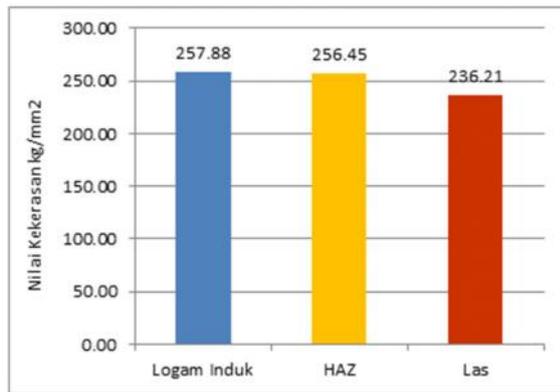
Hasil Pengujian Kekerasan dengan temperatur pemanasan 300°C, 400°C, dan 500°C dapat dilihat pada gambar 4 sampai pada gambar 6 sebagai berikut:



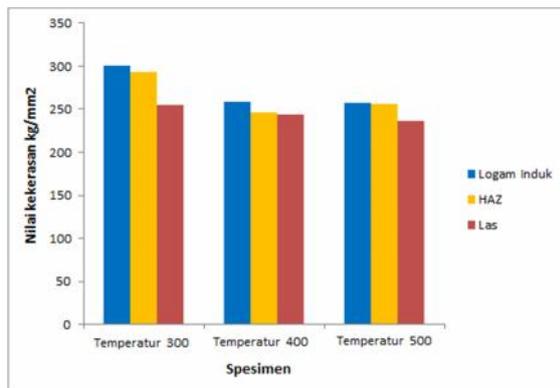
Gambar 4. Grafik Nilai Kekerasan Temperatur



Gambar 5. Grafik Nilai Kekerasan Tempereatur



Gambar 6. Grafik Nilai Kekerasan Temperatur 500°C

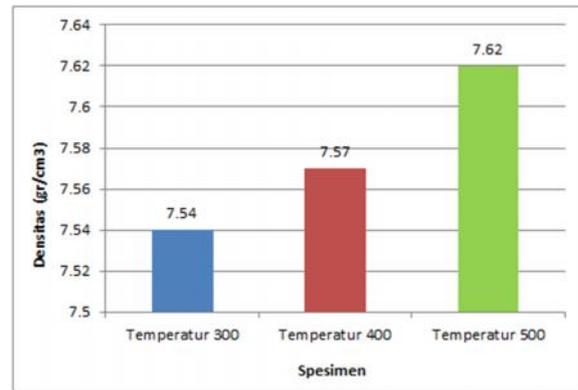


Gambar 7. Grafik Perbandingan Nilai Rata-rata

Berdasarkan hasil pengelasan dan *Heat treatment* yang diberikan pada spesimen perunggu, menunjukkan bahwa variasi pemanasan berpengaruh terhadap besaran nilai kekerasan serta struktur mikro pada spesimen perunggu. Nilai rata-rata kekerasan material perunggu tertinggi dimiliki oleh spesimen dengan temperatur pemanasan 300°C dengan rata-rata HVN pada daerah logam induk yaitu sebesar 300,13 kg/mm<sup>2</sup>, pada daerah HAZ sebesar 292,44 kg/mm<sup>2</sup>, dan pada daerah las sebesar 255,13 kg/mm<sup>2</sup>. Kekerasan pada spesimen dengan temperatur pemanasan 400°C menunjukkan nilai rata-rata kekerasan lebih kecil dibandingkan dengan spesimen dengan temperatur pemanasan 300°C. Nilai rata-rata HVN yang dimiliki spesimen dengan pemanasan temperatur 400°C yaitu pada daerah logam induk sebesar 258,68 kg/mm<sup>2</sup>, pada daerah HAZ sebesar 246,07 kg/mm<sup>2</sup>, dan pada daerah las sebesar 243,73 kg/mm<sup>2</sup>. Hasil pengujian nilai kekerasan pada spesimen dengan temperatur pemanasan 500°C menunjukkan nilai kekerasan terendah diantara spesimen dengan temperatur pemanasan 300°C dan 400°C, dengan nilai rata-rata HVN pada daerah logam induk sebesar 257,88 kg/mm<sup>2</sup>, pada daerah HAZ sebesar 256,46 kg/mm<sup>2</sup>, dan pada daerah las sebesar 236,21 kg/mm<sup>2</sup>.

#### 4.2. Pengujian Densitas

Pengujian densitas dilakukan dan diperoleh data pada gambar 7 sampai gambar 9 sebagai berikut:

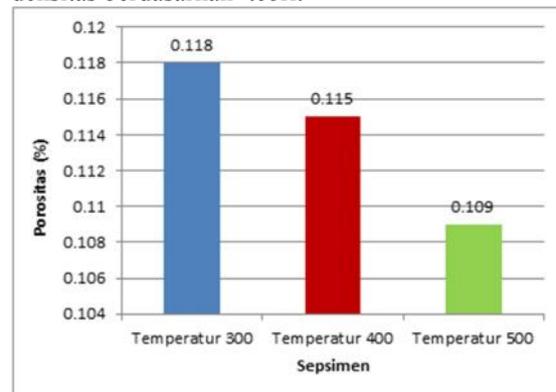


Gambar 8. Grafik Perbandingan Nilai Rata-rata

Perbandingan nilai rata-rata densitas pada masing-masing temperatur. Perbedaan hasil perhitungan nilai densitas antara temperatur 300°C, 400°C, dan 500°C, diketahui nilai rata-rata densitas pada temperatur 300°C sebesar 7.54 gr/cm<sup>3</sup> sangat rendah dibandingkan spesimen dengan temperatur 400°C sebesar 7.57 gr/cm<sup>3</sup>, sedangkan nilai rata-rata densitas tertinggi adalah spesimen dengan temperatur 500°C sebesar 7.62 gr/cm<sup>3</sup>.

#### 4.3. Pengujian Porositas

Porositas dapat diketahui dengan membandingkan densitas sampel spesimen dengan densitas berdasarkan teori.

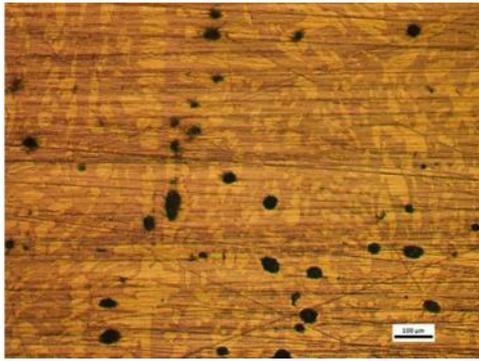


Gambar 9. Grafik Perbandingan Nilai Rata-rata Porositas

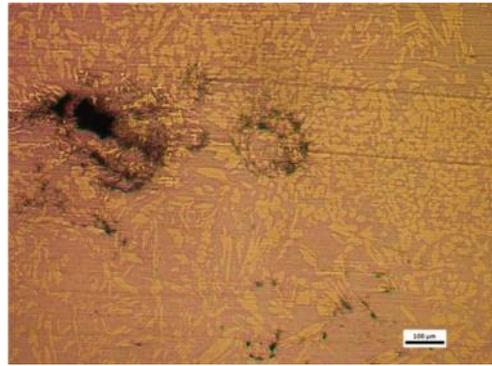
Perbandingan rata-rata hasil perhitungan porositas (%) antar temperatur 300°C, 400°C, dan 500°C. Diketahui rata-rata persentase porositas pada spesimen dengan temperatur pemanasan 300°C lebih tinggi sebesar 0.118 atau 1.18 %, sedangkan spesimen dengan temperatur pemanasan 500°C lebih rendah sebesar 0.109 atau 1.09 %.

#### 4.4. Pengujian Struktur Mikro

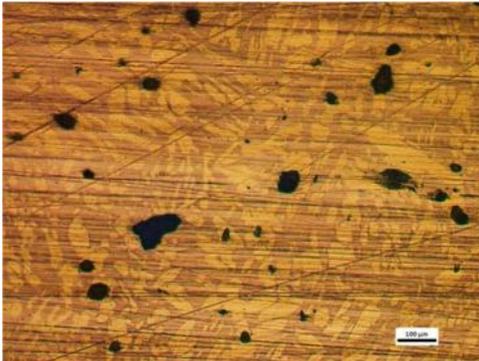
Gambar hasil foto struktur mikro dengan variasi temperatur pemanasan dapat dilihat pada gambar 8 sampai gambar 10.



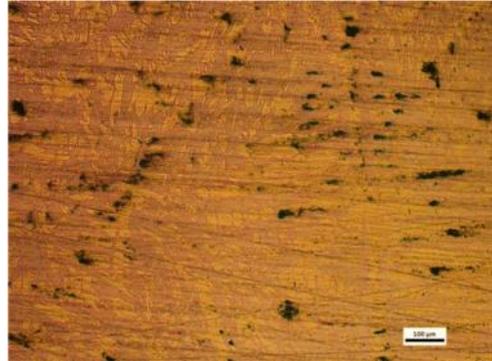
(A)



(B)

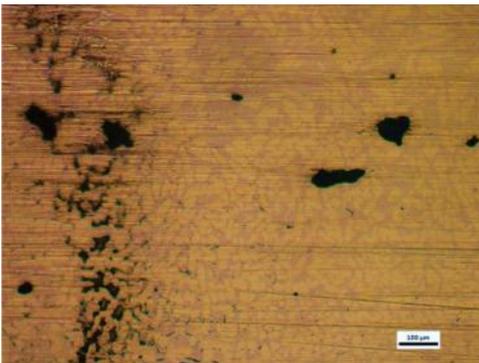


(B)



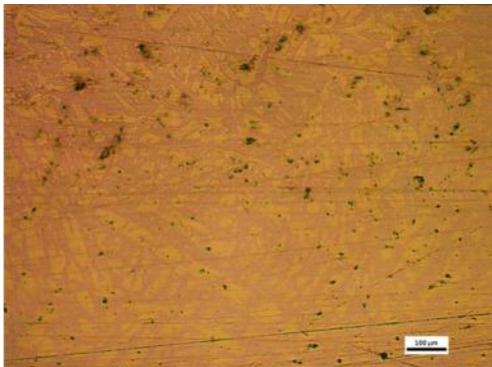
(C)

**Gambar 11. Foto struktur mikro dengan temperatur pemanasan 400°C, (A) Daerah Logam Induk, (B) HAZ, (C) Las.**

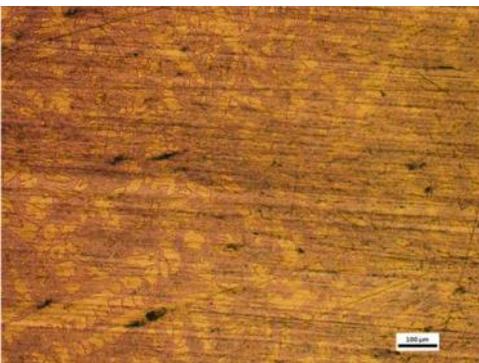


(C)

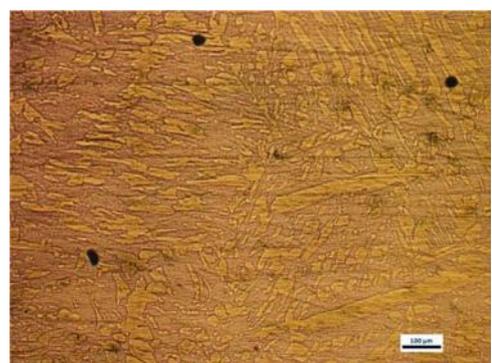
**Gambar 10. Foto struktur mikro dengan temperatur pemanasan 300°C, (A) Daerah Logam Induk, (B) HAZ, (C) Las.**



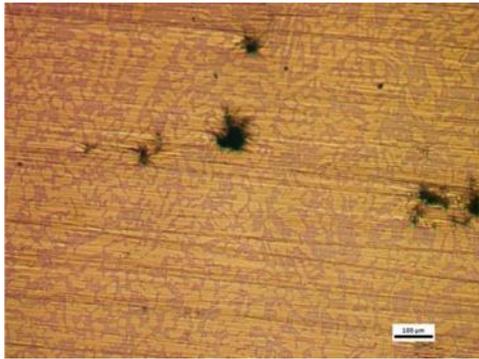
(A)



(A)



(B)

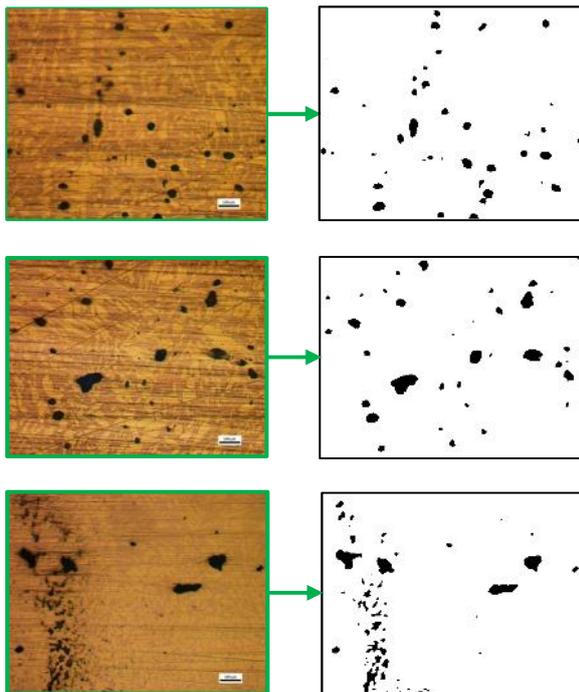


(C)

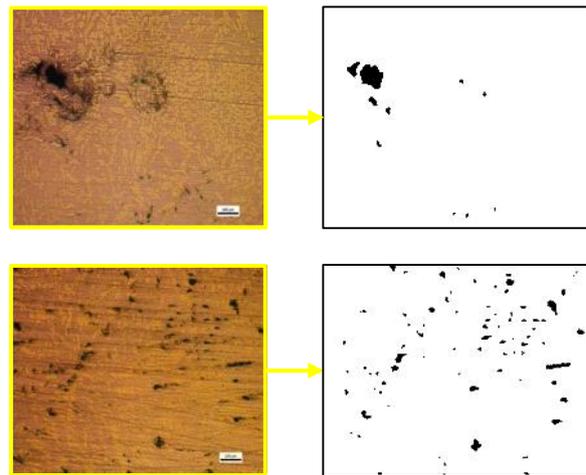
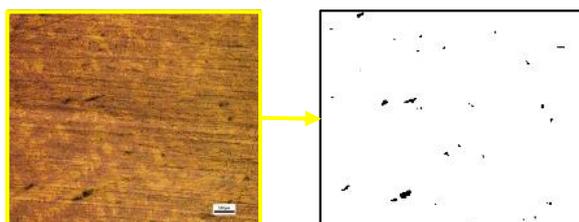
Gambar 12. Foto struktur mikro dengan temperatur pemanasan 500°C, (A) Daerah Logam Induk, (B) HAZ, (C) Las.

#### 4.5. Pengujian *Software ImageJ*

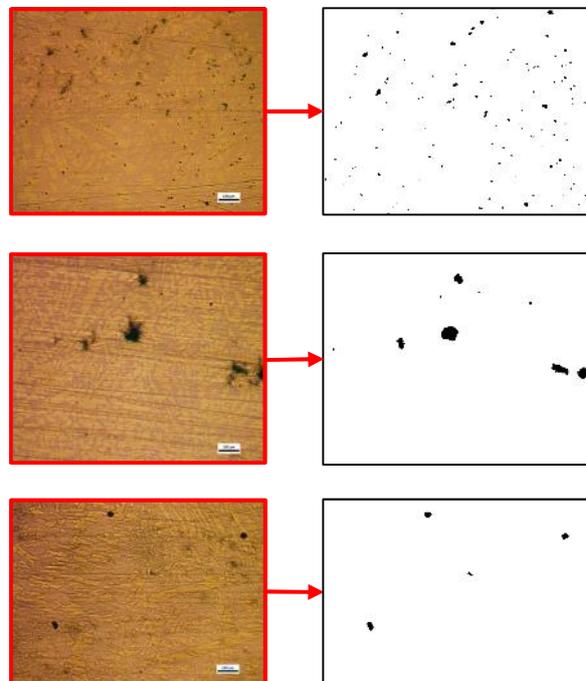
Pengujian porositas diamati menggunakan *Software ImageJ* sebagai penegasan dari data teoritis dan sampel. Pengujian menggunakan *Software ImageJ* dilakukan untuk melihat jumlah dan ukuran butir udara pada permukaan spesimen. Pengujian *ImageJ* dilakukan pada masing-masing spesimen.



Gambar 13. Analisa mikrostruktur permukaan pada spesimen dengan temperatur pemanasan 300°C, (A) Daerah Logam Induk, (B) HAZ, (C) Las.

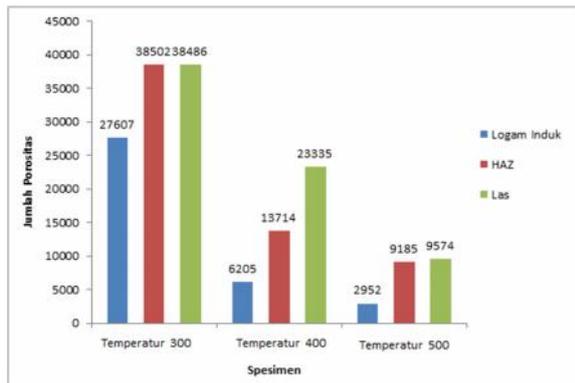


Gambar 14. Analisa mikrostruktur pada spesimen dengan teperature pemanasan 400°C, (A) Daerah Logam Induk, (B) HAZ, (C) Las.



Gambar 15. Analisa Mikrostruktur Pada Spesimen Dengan Temperatur Pemasana 500°C, (A) Daerah Logam Induk, (B) HAZ, (C) Las.

Pengujian hasil foto struktur mikro kemudian mencari nilai porositas dengan menggunakan *Software ImageJ*, dimana Gambar 4.11 (A) hasil foto struktur mikro dan (B) hasil pengolahan data menggunakan *Software ImageJ*. Data hasil pengujian menggunakan *ImageJ*, kemudian dimasukkan kedalam bentuk grafik batang pada gambar 4.20. Hasil pengujian data porositas menggunakan *Software ImageJ*, spesimen dengan temperatur pemanasan 300°C jumlah porositas tertinggi yaitu 38486, sedangkan spesimen dengan temperatur pemanasan 500°C jumlah porositas terendah yaitu 9574.



Gambar 16. Grafik Perbandingan Jumlah Porositas.

## 5. Simpulan

Pengaruh proses pengelasan dengan variasi temperatur berpengaruh terhadap kekerasan material perunggu. Nilai kekerasan yang tertinggi dimiliki oleh spesimen dengan temperatur pemanasan 300°C dengan rata-rata keseluruhan sebesar 282,56 kg/mm<sup>2</sup> dan terendah pada spesimen dengan temperatur pemanasan 500°C dengan rata-rata keseluruhan sebesar 250,18 kg/mm<sup>2</sup>. Hasil pengujian densitas yang dilakukan pada masing-masing spesimen dengan variasi temperatur bahwa, densitas pada temperatur pemanasan 300°C sebesar 7.54 gr/cm<sup>3</sup> lebih kecil dibandingkan dengan spesimen dengan pemanasan temperatur 500°C sebesar 7.62 gr/cm<sup>3</sup>. Porositas yang terjadi pada spesimen juga dipengaruhi oleh variasi temperatur pemanasan yang menunjukkan bahwa spesimen dengan temperatur pemanasan 300°C memiliki nilai porositas yang tinggi yaitu sebesar 0.118 atau 1.18 %, sedangkan spesimen dengan nilai porositas terendah pada spesimen dengan pemanasan temperatur 500°C yaitu sebesar 0.109 atau 1.09 %.

## Daftar Pustaka

- [1]. Priambadi, Sugita, 2009, "*Pengaruh Proses Forging Terhadap Sifat Ketangguhan Retak dan Kekerasan Material Perunggu Sebagai Bahan Gamelan.*" Jurnal Ilmiah Teknik Mesin.
- [2]. Sugita, I. IGN Priambadi, 2016, "*Karakteristik Retak Dan Kekuatan Hasil Las Pada Retak Gamelan Bali Berbahan Perunggu.*" Usulan Penelitian Fundamental.
- [3]. Duniawan, Agus, 2014, "*Pengaruh Kecepatan Arus Pengelasan dan Panas Masuk Terhadap Sifat Mekanis Logam Las pada Pengelasan SAW Baja Karbon ASTM A 29.*"
- [4]. Surdia, Tata dan Chijiwa, Kenji, 1996, "*Teknik Pengecoran Logam*", edisi ketujuh, Pradnya Pramita, Jakarta.
- [5]. Lisovskii, V.A., Lisovskaya O.B, Kochetkova, L.P., Favstov, Y.K., (2007), "*Springly Alloyed*

*Bell Bronze with Elevated Parameters of Mechanical Properties*, Journal Metal Science an Heat Treatment, vol 49, pp 232-235.

- [6]. Taylor, R. P., McClain, S . T & Berry, J . T., 1999, "*Uncertainty Analysis of Metal Casting Porosity Measurement Using Archimedes Principle*", Internasional Jurnal of Cast Metals Research.



**I Made Arya Widnyana Kesuma** menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Mesin di Universitas Udayana pada tahun 2019. Ia menyelesaikan studi program sarjana dengan topik kekerasan dan porositas hasil pengelasan perunggu Gamelan Bali.