

# Pengaruh Penambahan Timah Hitam (Pb) Pada Paduan *High-Tin Bronze* Terhadap Kekerasan

I Gede Suarjaya, I Ketut Gede Sugita, dan DNK Putra Negara  
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

## Abstrak

*High-tin bronze, mengandung 80% tembaga (Cu) dan 20% timah putih (Sn), digunakan pada alat music yaitu lonceng dan gamelan. Paduan ini stabil pada suhu ruangan dan mempunyai sifat akustik yang baik, artinya dapat menghasilkan suara bernada tinggi namun bersifat getas. Upaya yang dapat diberikan untuk meningkatkan kekerasan pada paduan high-tin bronze diberikan melalui penambahan timah hitam (Pb). Pada penelitian ini dilakukan proses pengecoran paduan High-Tin Bronze dengan penambahan timah hitam (Pb) dengan variasi 10%, 15%, dan 20% pada temperatur tuang 950 °C. Hasil pengujian Vickers menunjukkan bahwa kekerasan high-tin bronze meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi timah hitam (Pb). Nilai terkuat terdapat pada paduan high-tin bronze 80% + paduan Pb 20% dengan rata-rata nilai kekerasan sebesar 224,19 VHN. Sedangkan nilai terendah didapat pada paduan high-tin bronze tanpa penambahan timah hitam (Pb) dengan rata-rata nilai kekerasan sebesar 202,42 VHN.*

*Kata kunci : high-tin bronze, timah hitam, kekerasan*

## Abstract

*High-tin bronze, containing 80% copper (Cu) and 20% tin (Sn), is used in musical instruments such as bells and gamelan. This alloy is stable at room temperature and has good acoustic properties, meaning it can produce a high-pitched but brittle sound. The effort that can be exerted to increase the hardness of high-tin bronze alloys is given through the addition of lead (Pb). In this study, the casting process of High-Tin Bronze alloy was carried out with the addition of lead (Pb) with variations of 10%, 15%, and 20% at a pour temperature of 950 °C. The results of the Vickers test showed that the hardness of high-tin bronze increased with increasing concentrations of lead (Pb). The strongest value is found in high-tin bronze alloy 80% + Pb alloy 20% with an average hardness value of 224.19 VHN. While the lowest value was obtained in high-tin bronze alloy without the addition of lead (Pb) with an average hardness value of 202.42 VHN.*

*Keywords : high-tin bronze, lead, hardness*

## 1. Pendahuluan

Tembaga adalah salah satu logam terpenting di dunia dan dapat diolah dalam bentuk murni, sebagai paduan, atau sebagai bahan tambahan untuk mengubah sifat logam lainnya. Tembaga pertama kali digunakan pada abad ke-9 dan ke-10 ketika ilmu metalurgi diperkenalkan kepada masyarakat. Paduan tembaga (Cu) dan timah (Sn) disebut paduan tembaga (CuSn). Perunggu yang mengandung timah (Sn) 10%, 14% dan 20% digunakan untuk patung, senjata militer dan lonceng, lonceng, gamelan, gendang merica, dll. Perunggu dibagi menjadi dua kategori: perunggu timah yang kandungan timahnya <17%, dan perunggu timah yang kandungan timahnya >17% [1].

High-tin bronze, terdiri dari 80% tembaga dan 20% timah putih, digunakan pada alat musik seperti genta dan gamelan bali. Paduan ini stabil pada suhu ruangan dan mempunyai sifat akustik yang menghasilkan nada tinggi [2]. Gambelan umumnya menggunakan perunggu timah putih dengan perbandingan tembaga dan timah putih 10:3.

Salah satu kelemahan perunggu pada komposisi ini adalah getas dan menyebabkan kegagalan produk. Kegetasan tembaga jenis ini sangat beresiko karena dapat menimbulkan keretakan atau patah seperti yang terjadi pada genta, gamelan jawa, dan gamelan bali.

Keretakan pada *High-Tin Bronze* terjadi akibat adanya porositas yang tinggi selama proses pengecoran dan diperparah oleh sifat materialnya cenderung getas. Semakin tinggi nilai porositas pada perunggu maka akustik perunggu tersebut akan semakin buruk. Cacat porositas ini terjadi pada proses pengecoran akibat adanya pelarutan dan terperangkapnya uap di udara pada saat proses pengerasan, dan penurunan temperatur juga menyebabkan pengerasan hidrogen pada perunggu menurun. Hal ini menyebabkan hidrogen lepas dan membentuk gelembung-gelembung yang sebagian tidak dapat lepas ke atmosfer dan tetap berada di dalam logam sehingga menimbulkan porositas [3].

Selain banyak cacatnya, timah putih (Sn) merupakan komponen utama paduan tembaga yang harganya mahal sehingga berdampak pada peningkatan harga produk

gambelan. Salah satu cara untuk meningkatkan sifat paduan *high-tin bronze* adalah dengan menambahkan unsur lain seperti timah hitam (Pb); Hal ini membuat harga jenis perunggu lebih murah karena harga timah putih (Sn) lebih mahal dibandingkan timah hitam. (Pb) [4].

*High-tin bronze* dengan kandungan timah hitam (Pb) banyak digunakan dalam industri seperti *bushing pin piston*, *bushing rocker arm*, *wear plate* dan *ring piston* [5]. Paduan perunggu dan timah hitam (Pb) memiliki ketahanan aus yang tinggi serta kekuatan dan daya tahan yang tinggi [6]. Ketahanan aus perunggu erat kaitannya dengan kekuatan, kekerasan, kecepatan dan kelembapannya [7]. Menambahkan unsur timah hitam (Pb) pada paduan juga dapat meningkatkan kekerasan produk. Timbal (Pb) dapat menurunkan porositas logam, sehingga produk yang dibuat dengan paduan timah hitam (Pb) mempunyai kekuatan yang lebih baik dibandingkan produk tanpa paduan timah hitam (Pb). Produk yang dibuat tanpa paduan timbal (Pb) mengandung partikel kecil seperti lubang sehingga mempengaruhi kekuatan produk [3].

Berdasarkan latar belakang di atas, penulis menyelidiki dampak penambahan timah hitam (Pb) pada pengecoran *high-tin bronze* terhadap kekerasan paduan.

Dengan demikian, beberapa masalah akan dibahas, yaitu:

1. Pengaruh penambahan timah hitam (Pb) pada paduan *high-tin bronze* terhadap kekerasan.

Beberapa batasan yang ditetapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Metode pengecoran yaitu sand casting.
2. Komposisi timah hitam (Pb) yang digunakan adalah 10%, 15%, dan 20%.
3. Pasir yang digunakan adalah tanah lempung, bahan homogen.
4. Temperatur yang digunakan adalah 950°C
5. Pendinginan menggunakan temperature ruang.

## 2. Dasar Teori

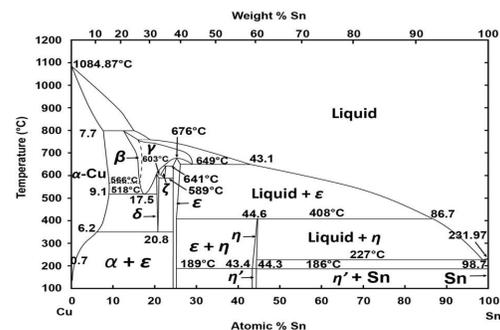
### 2.1. Logam Paduan (*non-ferro*)

Logam paduan tidak mengandung zat besi atau besi (Fe), sehingga logam ini disebut dengan logam bukan besi. Baja tahan karat banyak digunakan dan sering digunakan bersamaan dengan paduan. Baja tahan karat ini tersedia dalam tingkatan yang berbeda dan masing-masing memiliki karakteristik dan sifat yang berbeda, terutama dari satu baja ke baja lainnya, tetapi juga dalam hal pengiriman, pemrosesan, pengangkutan, dan penggunaan. Beragamnya sifat dan karakteristik logam

*nonferrous* membuatnya banyak digunakan sendiri atau dikombinasikan dengan logam nonferrous dan logam *ferrous* untuk memperoleh sifat baru yang berbeda dari aslinya.

### 2.2. *High-tin bronze* (80%Cu-20%Sn)

*High-tin bronze* terdiri dari paduan 80% tembaga (Cu) dan 20% timah (Sn) dengan massa jenis 8,63 g/cm<sup>3</sup>. Dimana pada material paduan perunggu komposisi timah sangat berpengaruh dalam menentukan sifat fisis yang akan dihasilkan dari perunggu tersebut [8]. *High-tin bronze* terdiri dari 80% tembaga (Cu) dan 20% timah putih (Sn), digunakan pada alat musik seperti genta dan gamelan. Paduan ini mempunyai sifat mekanik yang baik dan stabil pada suhu ruangan, mempunyai sifat akustik yang baik. Timah (Sn) merupakan unsur utama perunggu yang harganya sangat tinggi sehingga menyebabkan harga produk Gambelan meningkat [4]. Salah satu cara untuk meningkatkan sifat paduan *high-tin bronze* adalah dengan cara menambahkan unsur lain seperti timah hitam (Pb) [9].



Gambar 1. Diagram Fasa Cu-Sn

### 2.3. Timah Hitam (Pb)

Timah hitam (Pb), nomor atom 82, dan massa jenis 11,34 g/cm<sup>3</sup>, adalah logam berat dengan massa jenis lebih besar dari *high-tin bronze*. Timah hitam bersifat lunak, fleksibel dan memiliki titik leleh. Karena peluru terdiri dari atom karbon yang terpisah, peluru memiliki kemampuan untuk mengeluarkan gas yang berpotensi berbahaya. Jika dipotong, pelurunya berwarna biru. Sistem Penguatan perunggu timah putih dan timah hitam diperkuat dengan larutan padat substitusi. Dalam sistem ini, atom (Pb) menggantikan atom (Sn) dalam bentuk perunggu. Hal ini menyebabkan cacat kisi dan distorsi pada struktur kristal, yang meningkatkan kekuatan dan daya tahan material. Timah hitam memiliki viskositas yang lebih tinggi dibandingkan tembaga (Cu), komponen utama perunggu. Ketika timah hitam (Pb) ditambahkan ke lelehan Perunggu

Timah Tinggi, kualitas paduan secara keseluruhan akan meningkat. Hal ini menyebabkan logam mengalir perlahan dan mengisi rongga-rongga cetakan lebih sempurna.

## 2.4. Pengecoran Logam

Dalam metode pengecoran, logam dipanaskan hingga mencair dalam tungku peleburan, kemudian Logam cair dimasukkan ke dalam rongga cetakan yang telah dibentuk, membentuk bentuk benda yang akan dibuat. Teknik ini dikenal sebagai pengecoran. Tahapan-tahapan dalam proses pengecoran yaitu mulai dari pembuatan pola cetakan, pembuatan pasir cetak, pembuatan rongga cetakan pasir dengan pola yang sudah disiapkan, peleburan, penuangan logam ke dalam cetakan, pembekuan logam cor hingga padat, dan pembongkaran serta pembersihan produk benda hasil pengecoran. Pengecoran banyak sekali jenisnya yaitu dari pengecoran cetakan pasir (*sand casting*), *centrifugal casting*, *die casting*, *investment casting*, dan lain-lainnya.

## 2.5. Pengecoran Sand Casting

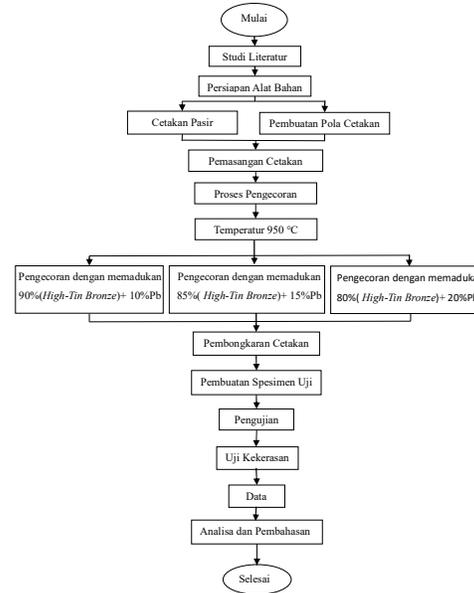
Karena mudah dibuat dan memiliki kapasitas tonase yang besar, pengecoran pasir adalah salah satu bentuk pengecoran yang menggunakan cetakan pasir. Cetakan ada tiga jenis yaitu cetakan green sand, cetakan *cold-box*, dan *no-bake mold* [10]. Untuk mendapatkan coran yang sempurna dari pengecoran pasir, beberapa persyaratan harus dipenuhi, antara lain:

1. Memiliki sifat yang mudah dibentuk, sehingga cetakan mudah dibuat dengan kekuatan yang tepat saat dibuat. Ketika logam cair dimasukkan ke dalam cetakan, cetakan harus kuat dan dapat menahan suhu tinggi.
2. Permeabilitas yang sesuai dan efektif, supaya oksigen yang terjebak di dalam rongga cetak bisa keluar dari celah butiran pasir.
3. Distribusi luas butir pasir yang sesuai.
4. Mampu digunakan kembali, yang menghemat uang dan ekonomis.
5. Tahan logam terhadap panas tinggi selama proses penuangan ke cetakan.

## 2.6. Pengujian Kekerasan Vickers

Penumbuk piramida intan dalam bentuk bujur sangkar digunakan untuk melakukan pengujian kekerasan *vickers*. Dipilihnya nilai  $136^\circ$  sebagai perbandingan yang diinginkan antara bola penumbuk dan diameter lekukan pada uji kekerasan Brinell.

## 2.7. Diagram alir penelitian



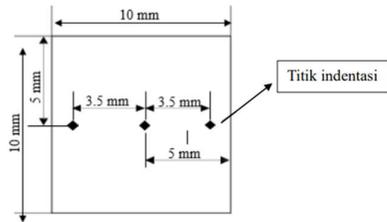
Gambar 2. Diagram alir penelitian

## 2.8. Metode Uji

Pengujian kekerasan *vickers* dilakukan dengan indenter piramida intan, besar sudut antar permukaannya adalah  $136^\circ$ . Proses pemeriksaan ini menggunakan standar ASTM E-92. Ini adalah prosedur pengujian kekerasan Vickers:

1. Mempersiapkan alat uji kekerasan
2. Memasang indenter *vickers*
3. Letakkan sampel di landasan dan atur tepat pada titik penetrasi
4. Putar tuas beban, atur pada pembebanan 10 kgf pada posisi siap penetrasi
5. Putar permukaan spesimen sampai ujung indenter.
6. Tarik *tuas* beban dan lakukan pembebanan selama 15 detik
7. Tempatkan spesimen dan fokus lensa sehingga tanda-tanda dapat dilihat di layar.
8. Hitung diagonal indentasi dengan mikroskop pengukur pada posisi datar dan tegak.
9. Masukkan data- data tersebut ke rumus pada persamaan
10. Ulangi proses pengujian pada spesimen lainnya.

Proses pengujian kekerasan pada setiap spesimen hasil coran dilakukan pengujian sebanyak 3 titik indentasi, selanjutnya nilai kekerasan yang diambil pada satu spesimen merupakan rata – rata dari nilai hasil pengujian pada ketiga titik tersebut.



Gambar 3. Titik indentasi

3. Hasil dan Pembahasan  
3.1. Uji Kekerasan Vickers

Selanjutnya, data dari pengujian Vickers diolah untuk menghasilkan angka kekerasan sampel uji menggunakan persamaan berikut :

$$VHN = \frac{1,854 P}{d^2} \dots \dots \dots (1)$$

Perhitungan data kekerasan vickers pada spesimen pengecoran dicontohkan sebagai berikut.

- Diketahui :
- P = 10 kg
- d1 = 0,20 mm
- d2 = 0,42 mm
- Ditanya : VHN = .....?
- Penyelesaian:
- Mencari diagonal rata-rata d

$$d = \frac{d1+d2}{2}$$

$$= \frac{0,20 \text{ mm} + 0,42 \text{ mm}}{2} = 0,31 \text{ mm}$$

Menghitung HVN

$$HVN = \frac{1,854 P}{d^2}$$

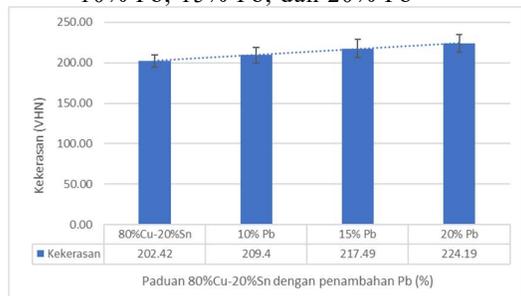
$$HVN = \frac{1,854 \times 10 \text{ kgf}}{(0,31 \text{ mm})^2}$$

$$= \frac{18,54 \text{ kgf}}{0,0961 \text{ mm}}$$

$$HVN = 192,92 \text{ kg/mm}^2$$

4.2 Hasil Data Pengujian Vickers

4.2.1 Hasil data rata-rata pengujian Vickers high-tin bronze dengan penambahan 10% Pb, 15% Pb, dan 20% Pb



Gambar 4. Grafik Pengujian Vickers

Nilai kekerasan spesimen paduan High-Tin Bronze meningkat dengan penambahan timah hitam (Pb) 10%, 15%, dan 20% pada temperatur 950 °C. Nilai kekerasan tertinggi didapatkan pada spesimen paduan high-tin bronze dengan penambahan timah hitam sebesar 20% yaitu 224,19 VHN, sedangkan nilai kekerasan terendah didapatkan pada spesimen paduan high-tin bronze tanpa penambahan timah hitam (Pb) sebesar 202,42 VHN. Peningkatan kekerasan disebabkan oleh pengaruh penambahan timah hitam karena terjadi kekuatan larutan substitusi padat. Atom timah hitam (Pb) digunakan dalam sistem ini untuk menggantikan atom timah putih (Sn) dalam struktur kristal perunggu. Kekuatan dan kekerasan material meningkat sebagai hasil dari cacat kisi dan distorsi struktur kristal.

4. Kesimpulan

Penambahan timah hitam (Pb) dapat meningkatkan nilai kekerasaan pada paduan High-Tin Bronze. Nilai kekerasan pada paduan High-Tin Bronze tanpa penambahan timah hitam (Pb) lebih kecil dibandingkan pada paduan High-Tin Bronze dengan penambahan timah hitam (Pb). Nilai kekerasan tertinggi didapat pada paduan 80% High-Tin Bronze + 20% Pb dengan nilai kekerasan yaitu 224,19 VHN, sedangkan nilai kekerasan terendah didapatkan pada paduan paduan High-Tin Bronze tanpa penambahan timah hitam (Pb) dengan nilai rata-rata yaitu 202,42 VHN.

Daftar Pustaka

[1] Republic, C.,2012. A Microstructural Study On Cusn10 Bronze Produced By Sand And Investment Casting Techniques Zeynep Taşlıçukur, Gözde S. Altuğ, Şeyda Polat, Ş. Hakan Atapek, Enbiya.

[2] Sugita, I., dan Astawa, K. (2016). Studi Dendrite Arm Spacing (DAS) Dan Akustik Pada Pengecoran Perunggu 20% Sn Sebagai Bahan Gamelan. Buletin Udayana Mengabdi, 15(1), 44–49.

[3] Hermawan, Rian Candra, dan Agus Yulianto, St, Mt (2019) Pengaruh Penambahan Timah Hitam (Pb) Sebesar 20% Pada Pengecoran Menggunakan Bahan Aluminium Ukuran 10x10 Cm Dengan Media Cetak Pasir Merah. Skripsi Thesis, Muhammadiyah Universitas Surakarta.

[4] Sugita, I. K. G., Priambadi, I. G. N., & Lokantara, I. P. (N.D.).2013 Investigasi Kuantitatif Sifat Akustik Produk Gamelan Bali Berbahan Dasar

- Perunggu Silikon Quantitative Investigation On Acoustic Properties Of Silicon\_Bronze Gamelan Bali.
- [5] Namini, As; Azadbeh, M.; Mohammadzadeh, A.; Shadpour, S. 2016 Sintering Fase Cair Dari Bubuk Paduan Perunggu Timah Bertimbal. Trans. Inst. India.
- [6] Huttunen-Saarivirta, E.; Isotahdon, E.; Metsäjoki, J.; Salminen, T.; Ronkainen, H.;Karperytun, L.2019. Perilaku Perunggu Timah Bertimbal Dalam Simulasi Air Laut Dengan Tidak Adanya Dan Adanya Kontak Tribologis Dengan Alumina Counterbody: Korosi, Keausan DanTribocorrosion.Suku. Int. 2019, 129, 257–271.
- [7] Kurzawa, A.; Roik, T.; Gavrysh, O.; Vitsiuk, I.; Bocian, M.; Pyka, D.; Zajac, P.; Jamroziak, K. 2020 Fitur Mekanisme Gesekan Bahan Antigesekan Komposit Berbasis Nikel Pada Suhu Tinggi. Pelapis 2020, 10, 454.
- [8] Slamet, S., & Suyitno, S. 2017. Pengaruh Komposisi Dan Temperatur Ruang Terhadap Fluiditas Paduan Perunggu Timah Melalui Investment Casting. Prosiding Snatif, 655–660.
- [9] Wigangga, M. S. S., Sugita, I. K. G., & Priambadi, I. G. N. 2015. Karakteristik Porositas Paduan Perunggu Timah Putih (80% Cu-20% Sn) Dan Perunggu Silikon (95% Cu–5% Si) Dengan Variasi Laju Pendinginan Pada Pengecoran Cetakan Pasir. Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika Vol. No, 1, 7.
- [10] Bhirawa. 2013. Proses Pengecoran Logam Dengan Menggunakan Sand Casting. Jurnal Teknik Industri, 31–41.



**I Gede Suarjaya**  
menyelesaikan studi S1 di  
Universitas Udayana,  
program studi Teknik Mesin.

Bidang penelitian yang menjadi konsentrasi adalah Sistem Manufaktur.