

Pengaruh Perlakuan Temperatur *Annealing* Dan Penambahan Pb Pada *High-Tin Bronze* Terhadap Kekuatan Impak

I Komang Riantana, I Ketut Gede Sugita, dan I Putu Lokantara
Jurusan Teknik Mesin, Universitas Udayana, Kampus Bukit, Jimbaran, Bali

Abstrak

High-tin bronze dengan komposisi paduan 80%Cu dan 20%Sn biasanya banyak digunakan dalam industri seperti komponen yang memerlukan ketahanan aus dan kekuatan tinggi seperti pembuatan bantalan dan bhusing bantalan selain itu material ini juga dikenal karena sifat akustik yang baik, sehingga sering digunakan juga dalam pembuatan alat musik seperti lonceng dan gamelan. Kelemahan dari komposisi paduan ini adalah sifat getas yang bisa disebabkan oleh porositas pada saat proses pengecoran. Upaya yang dapat diberikan untuk mengurangi sifat getas dari paduan *high-tin bronze* yaitu dengan cara penambahan timah hitam (Pb) dan perlakuan *annealing*. Pada penelitian ini dilakukan proses pengecoran paduan *high-tin bronze* dengan penambahan Pb dengan variasi 5%, 10%, dan 15% dan variasi perlakuan *annealing* pada temperatur 400°C, 500°C, dan 600°C dengan waktu penahanan selama 1 jam. Material hasil coran dimachining untuk spesimen uji impak. Hasil pengujian impak menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur *annealing* nilai impak semakin meningkat. Nilai impak tertinggi didapat pada paduan 80%Cu-20%Sn tanpa penambahan Pb pada suhu *annealing* 600°C sebesar 0,036 Joule/mm². Sedangkan nilai impak terendah didapat pada paduan *High-tin bronze* + 10% Pb pada suhu *annealing* 400°C sebesar 0,010 Joule/mm².

Kata kunci: *High-Tin Bronze*, Timah hitam (Pb), *Annealing*, Impak

Abstract

High tin bronze with an alloy composition of 80% Cu and 20% Sn is usually widely used in industries such as components that require high wear resistance and strength such as bearings and bearing bushings. In addition, this material is also known for its good acoustic properties, so it is often used in the manufacture of musical instruments such as bells and gamelan. The weakness of this alloy composition is its brittle nature which can be caused by porosity during the casting process. Efforts that can be made to reduce the brittle nature of *high-tin bronze* alloys are by adding black lead (Pb) and *annealing* treatment. In this study, the casting process of *high tin bronze* alloys was carried out with the addition of Pb with variations of 5%, 10%, and 15% and variations in *annealing* treatment at temperatures of 400°C, 500°C, and 600°C with a closed time of 1 hour. The cast material was machined for impact test specimens. The impact test results showed that the higher the impact *annealing* value, the higher it increased. The highest impact value is found in the 80%Cu-20%Sn alloy without the addition of Pb at an *annealing* temperature of 600°C of 0.036 Joule/mm². While the lowest impact value is obtained in the *High-tinbronze* + 10% Pb alloy at an *annealing* temperature of 400°C of 0.010 Joule/mm².

Keywords: *High Tin Bronze*, Lead (Pb), *Annealing*, Impact

1. Pendahuluan

Tembaga adalah salah satu logam terpenting di dunia yang dapat diolah dalam bentuk murni dan sebagai paduan. Paduan tembaga (Cu) dan timah putih (Sn) disebut paduan perunggu (CuSn). Perunggu dapat dikelompokkan menjadi dua bagian yaitu perunggu timah rendah (*Low-tin Bronze*) dan perunggu timah tinggi (*high-tin Bronze*) [1]. *High-tin bronze* adalah paduan logam yang terdiri dari tembaga (Cu) dan timah putih (Sn) dengan kandungan timah yang tinggi, biasanya antara 20% hingga 22% Sn. Paduan ini dikenal memiliki sifat mekanis yang baik, termasuk ketahanan terhadap korosi [2]. Paduan ini biasanya banyak digunakan dalam berbagai aplikasi industri, terutama dalam pembuatan komponen yang memerlukan ketahanan aus dan kekuatan tinggi contohnya seperti pembuatan bantalan dan bushing bantalan [3]. Material ini juga dikenal karena sifat akustiknya yang baik, sehingga sering digunakan juga dalam alat musik seperti lonceng dan gamelan [4].

Salah satu kelemahan perunggu dalam komposisi ini adalah sifat getas. Kegetasan tembaga jenis ini sangat berisiko karena dapat menyebabkan keretakan atau patah, seperti yang terjadi pada genta dan gamelan. Selain itu, *high-tin bronze* juga memiliki kekurangan seperti ketahanan impak yang rendah pada *high-tin bronze* yang disebabkan oleh sifat getas dari paduan ini. Paduan ini cenderung mengalami keretakan ketika terkena benturan atau beban berat, Keretakan ini sering kali terjadi akibat adanya cacat mikro, seperti porositas yang terbentuk selama proses pengecoran yang diperburuk oleh sifat materialnya yang cenderung getas menyebabkan titik lemah dalam struktur material [1].

cara untuk memperbaiki sifat paduan tersebut yaitu dengan cara penambahan unsur lain seperti timbal (Pb) pada paduan *high-tin bronze* dapat memberikan efek yang signifikan pada sifat material seperti ketahanan aus [1]. Hasil pengujian yang dilakukan oleh Suarjaya menunjukkan bahwa penambahan Pb pada *high-tin bronze* dapat menurunkan porositas dan meningkatkan kekerasan

material, semakin tinggi konsentrasi Pb maka semakin tinggi pula nilai kekerasannya dan semakin kecil nilai porositasnya. penambahan Pb dapat mempengaruhi struktur mikro dan sifat mekanik dari paduan, yang berpotensi untuk meningkatkan kekuatan impact [2]. perlakuan annealing dapat membantu memperbaiki struktur mikro dengan mengurangi tegangan sisa dan meningkatkan keuletan (*ductility*). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa perlakuan annealing pada temperatur tertentu dapat meningkatkan sifat mekanis paduan secara keseluruhan, termasuk ketahanan impact [4]. Proses ini dapat meningkatkan keuletan dan kekuatan impact material, serta mengurangi kekerasan dan kegetasan [5]. Proses annealing berperan penting dalam *high-tin bronze*, peningkatan suhu annealing dapat meningkatkan ketahanan impact dengan mengurangi kerapuhan dan meningkatkan keuletan, sehingga material menjadi lebih tahan terhadap kerusakan akibat benturan [6].

Selama proses annealing, tidak terjadi transformasi fase, tetapi terjadi pemulihan dan rekristalisasi yang signifikan. Ini menyebabkan pengurangan densitas dislokasi dan meningkatkan keuletan material, yang akan berpengaruh pada peningkatan ketahanan impact [7]. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa perlakuan annealing yang dilakukan pada suhu 450°C, 550°C, dan 650°C dapat meningkatkan sifat mekanis paduan material [4].

Berdasarkan latar belakang diatas, penulis menyelidiki dampak perlakuan annealing dan penambahan Pb pada paduan *high-tin bronze* terhadap kekuatan impact.

Dengan demikian, beberapa masalah akan dibahas, yaitu:

1. Bagaimana pengaruh perlakuan annealing dan penambahan logam timah hitam (Pb) pada paduan *high-tin bronze* (80%Cu-20%Sn) terhadap kekuatan impact.

Beberapa batasan yang ditetapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Metode pengecoran yang digunakan adalah *sand casting*.
2. Pasir yang digunakan adalah tanah lempung, bahan homogen.
3. Temperatur tuang yang digunakan adalah 950 °C.
4. Pendinginan yang digunakan adalah temperatur ruang *furnace* sekitar 18 sampai 25°C.

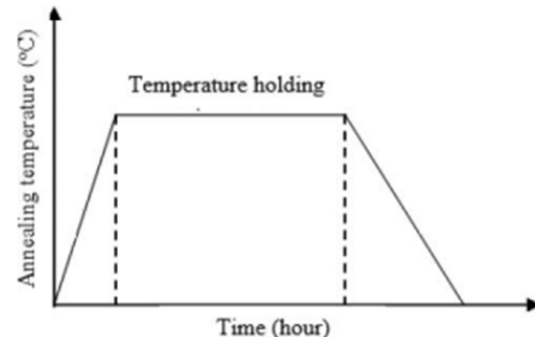
2. Dasar Teori

2.1 Termal Annealing

Annealing adalah proses perlakuan panas yang bertujuan untuk meningkatkan sifat mekanik dan fisik material, terutama logam. Proses ini melibatkan pemanasan material hingga suhu tertentu, mempertahankan suhu tersebut untuk periode waktu

tertentu, dan kemudian mendinginkannya secara perlahan. Tujuan utama dari annealing adalah untuk mengurangi tegangan internal, meningkatkan duktilitas, dan memperbaiki struktur mikro material [8].

Proses perlakuan annealing ditunjukkan pada gambar 1. Proses perlakuan annealing.



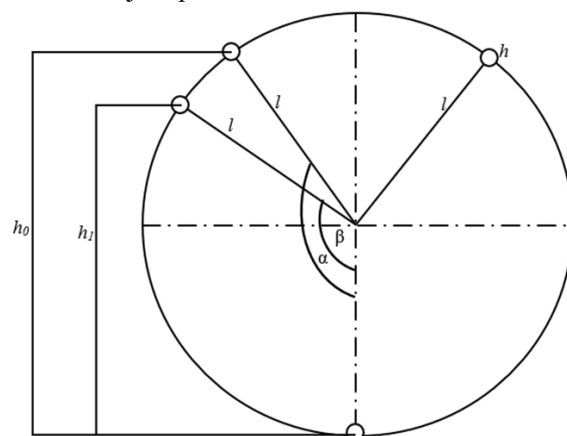
Gambar 1. Proses perlakuan annealing

2.2 Pengujian Sifat Mekanik Impact

Uji Impact adalah salah satu metode pengujian mekanik yang berguna untuk analisis karakteristik bahan, seperti kemampuan resistansi terhadap benturan dan keuletan terhadap perubahan suhu. Alat Uji Impact adalah instrumen yang sering digunakan dalam pengembangan bahan struktur untuk mengukur kemampuan toleransi terhadap beban impulsif. Pengujian impact bertujuan untuk mensimulasikan situasi operasional material yang sering ditemui dalam perlengkapan transportasi atau konstruksi, di mana beban tidak selalu datang secara perlahan tapi bisa saja tiba-tiba.

Dalam pengujian impact, besarnya energi yang diserap oleh bahan saat terjadinya pecahan merupakan indikator ketahanan impact atau ketangguhan bahan tersebut. Material yang ulet akan menunjukkan nilai impact yang besar karena berhasil menyerap energi potensial dari beban pendulum yang bergerak dari ketinggian tertentu untuk menabrak spesimen uji, sehingga spesimen uji mengalami deformasi.

Proses pengujian impact ditunjukkan pada gambar 2. Skema uji impact.



Gambar 2. Skema uji impact

Secara teoritis, energi impact dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\text{Energi Awal, } (E_0) = mgh_0 \quad (1)$$

$$= m \cdot g \cdot l (1 + \sin (\alpha - 90^\circ))$$

$$\text{Energi Akhir, } (E_1) = mgh_1 \quad (2)$$

$$= m \cdot g \cdot l (1 + \sin (\beta - 90^\circ))$$

$$\text{Energi yang diserap, } (\Delta E) = E_0 - E_1 \quad (3)$$

$$\text{Kekuatan impact } (Is) = \frac{\Delta E}{A} \quad (4)$$

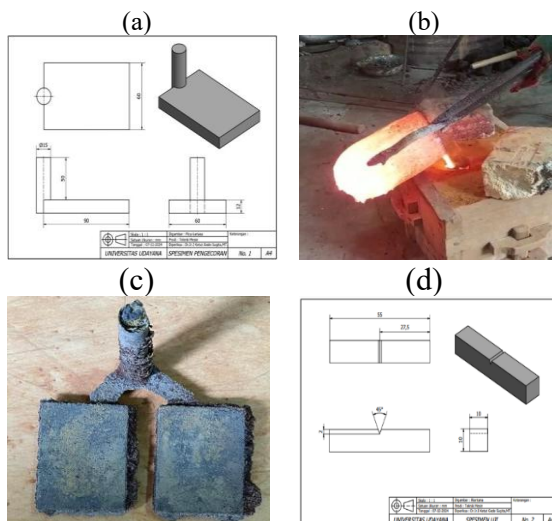
Keterangan:

- m = Massa pendulum (Kg)
 g = Percepatan gravitasi (m/s^2)
 l = Panjang lengan bandul (m)
 α = Sudut awal pendulum ($^\circ$)
 β = Sudut akhir pendulum ($^\circ$)
 h_0 = Tinggi bandul tanpa spesimen (m)
 h_1 = Tinggi bandul setelah terkena spesimen (m)

3. Metode Penelitian

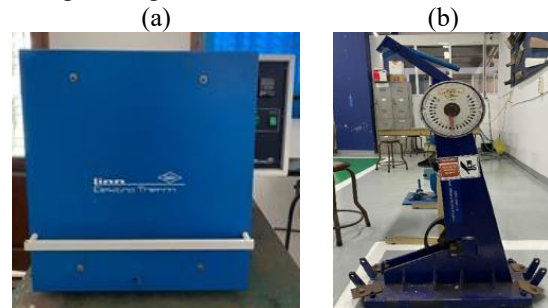
3.1 Prosedur Penelitian

Tahapan penelitian diawali dengan perancangan pola cetakan menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor, dilanjutkan dengan pembuatan cetakan dari tanah lempung menggunakan pola kayu yang telah dipotong sesuai desain. Setelah cetakan siap, proses pengecoran dilakukan dengan mencairkan logam paduan hingga suhu di atas 950°C , kemudian dituangkan ke dalam cetakan dan didinginkan hingga membeku. Spesimen hasil coran kemudian menjalani perlakuan *annealing* pada temperatur yang telah ditentukan selama 60 menit, diikuti dengan pendinginan secara perlahan.



Gambar 3. a) Desain pola cetakan, b) Proses pengecoran paduan *high-tin bronze* + Pb, c) Hasil coran, d) Desain Spesimen uji Impact Charpy

Setelah perlakuan *annealing*, pengujian impact dilakukan menggunakan alat uji impact *charpy* untuk mengevaluasi ketangguhan material terhadap beban tumbukan. Selain itu, pengamatan visual yang dilakukan untuk mengetahui jenis patahan hasil uji impact dari spesimen. Data hasil pengujian impact dianalisis secara statistik untuk mengetahui pengaruh masing-masing variable.



Gambar 4. Alat-alat pengujian a) *furnace*, b) Alat uji impact *charpy*

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Uji Impact Charpy

Data hasil uji yang sudah didapatkan dari pengujian impact *charpy* selanjutnya diolah untuk mendapatkan nilai impact dari spesimen. Berikut adalah contoh perhitungan data nilai impact pada spesimen 100% *High-tin Bronze* tanpa perlakuan *annealing*.

Diketahui:

- $l = 0,62 \text{ m}$
 $m = 8,3 \text{ Kg}$
 $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
 $A = 8 \times 10 = 80 \text{ mm}^2$
 $\alpha = 120^\circ$
 $\beta = 116,8^\circ$
 $h_0 = 0,93 \text{ m}$
 $h_1 = 0,899 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \text{Energi awal, } (E_0) &= mgh_0 = m \cdot g \cdot l (1 + \sin (\alpha - 90^\circ)) \\ &= (8,3 \text{ kg}) (9,81 \text{ m/s}^2) (0,62 \text{ m}) (1 + \sin (120^\circ - 90^\circ)) \\ &= 75,723 \text{ Joule} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Energi akhir, } (E_1) &= mgh_1 = m \cdot g \cdot l (1 + \sin (\beta - 90^\circ)) \\ &= (8,3 \text{ kg}) (9,81 \text{ m/s}^2) (0,62 \text{ m}) (1 + \sin (116,8^\circ - 90^\circ)) \\ &= 73,243 \text{ Joule} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Energi yang diserap, } (\Delta E) &= E_0 - E_1 \\ &= 75,723 - 73,243 \\ &= 2,479 \text{ Joule} \end{aligned}$$

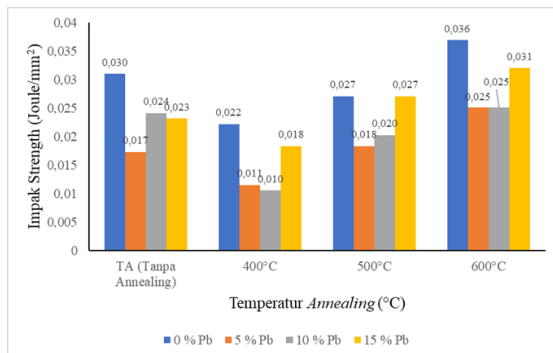
Maka, untuk menghitung kekuatan nilai impact yaitu:

$$\begin{aligned} Is &= \frac{\Delta E}{A} = \frac{2,479 \text{ Joule}}{80 \text{ mm}^2} \\ Is &= 0,030 \text{ Joule/mm}^2 \end{aligned}$$

4.2 Hasil Data Pengujian Impak

Table 1. Hasil nilai uji impak charpy

Komposisi Pb (%)	Temperatur Annealing (°C)	Nilai Impak (Joule/mm ²)
0% Pb	TA	0,030
	400°C	0,022
	500°C	0,027
	600°C	0,036
5% Pb	TA	0,017
	400°C	0,011
	500°C	0,018
	600°C	0,025
10% Pb	TA	0,024
	400°C	0,010
	500°C	0,020
	600°C	0,025
15% Pb	TA	0,023
	400°C	0,018
	500°C	0,027
	600°C	0,031



Gambar 5. Grafik Nilai Uji Impak

Grafik hasil pengujian impak menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur *annealing* ketangguhan material semakin meningkat. Nilai impak tertinggi didapatkan pada spesimen paduan 80%Cu-20%Sn dengan temperatur *annealing* 600°C sebesar 0,036 Nm/mm², sedangkan nilai impak terendah didapatkan pada spesimen paduan 95%Cu-Sn + 10%Pb dengan temperatur *annealing* 400°C sebesar 0,010 Nm/mm². Penurunan nilai impak pada temperatur 400°C mengindikasikan terjadinya proses *recovery* pada mikrostruktur paduan. Penurunan nilai impak ini dapat terjadi karena terbentuknya struktur mikro yang keras namun getas akibat pemanasan yang belum cukup untuk memperbaiki struktur internal material. Pada temperatur 500°C dan 600°C, terjadi proses rekristalisasi dan pertumbuhan butir yang lebih intensif. Proses ini menyebabkan terbentuknya butir-butir baru yang lebih halus dan homogen, sehingga material menjadi lebih ulet dan nilai impaknya meningkat. Pada suhu *annealing* 600°C, nilai impak meningkat secara signifikan untuk semua variasi, bahkan melebihi kondisi tanpa *annealing*. *Annealing* pada suhu tinggi (600°C) pada *High-tin Bronze* dan *High-leaded Bronze* menghasilkan struktur butir besar dan merata, serta dapat meningkatkan

ketangguhan impak [9]. Dan semakin tinggi suhu *annealing* maka keuletan material semakin meningkat dan nilai impaknya semakin besar [10].

5. Kesimpulan

Variasi temperatur *annealing* pada temperatur 600°C memberikan pengaruh signifikan terhadap sifat mekanis paduan *High-tin Bronze* terhadap nilai ketangguhan impak. Hal ini dapat diamati dari hasil pengujian yang menunjukkan bahwa perlakuan *annealing* pada temperatur 600°C dan *holding time* 1 jam, dapat meningkatkan nilai impak pada paduan *High-tin Bronze* tanpa Pb dan paduan *High-tin Bronze* dengan penambahan Pb. Sedangkan pada temperatur 400°C, 500°C dan tanpa *annealing* memiliki nilai impak yang lebih kecil. Nilai impak tertinggi didapat pada paduan 80%Cu+20%Sn tanpa penambahan timah hitam (Pb) pada temperatur *annealing* 600 °C yaitu 0,036 Nm/mm², sedangkan nilai impak terendah didapatkan pada paduan *High-tin Bronze* + 10% Pb pada temperatur *annealing* 400°C yaitu 0,010 Nm/mm².

Daftar Pustaka

- [1] Suarjaya, I. G., Sugita, I. K. G., & Negara, DNK. P. (2024). Pengaruh Penambahan Timah Hitam (Pb) Pada Paduan High-Tin Bronze Terhadap Kekerasan. *Jurnal Ilmiah Teknik Desain Mekanika*, 13(3), 261–265.
- [2] Jablonska, M., Maciag, T., Nowak, M., Rzychon, T., Czerny, M., & Kowalczyk, K. (2019). *Thermal and Structural Analysis of High-tin Bronze of Chemical Composition Corresponding to the Composition of the Singing Bowl*. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 137(3), 735–741.
- [3] Ren, X., Zhang, G., Xu, H., Wang, Z., Liu, Y., Sun, F., Kang, Y., Wang, M., Lv, W., & Yin, Z. (2021). *Effects Of B On The Structure And Properties Of Lead-Tin Bronze Alloy And The Mechanism Of Strengthening And Toughening*. *Jurnal Material*, 14(24).
- [4] Sugita, I. K. G., Kencanawati, C. I. P. K., & Primbadi, I. G. N. (2017). *Application Temperature Annealing on Brittle Fracture Prevention on Balinese Gamelan Made of Bronze*. 73–76.
- [5] Imaduddin, A., Siswayanti, B., Pramono, A. W., Sebleku, P., Yudanto, S. D., & Hendrik. (2012). *Effect of Annealing on Cu-Nb-Sn Superconducting Wire*. *Jurnal Sains*, 16(3), 107–111.
- [6] Nugroho, L. S. (2017). Pengaruh Proses Annealing Terhadap Perubahan Kekerasan Dan

Struktur Mikro Pada Pipa Sa 179 Yang Telah Mengalami Pembengkokan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- [7] Tong, X., Zhang, H., & Li, D. Y. (2015). *Effect of Annealing Treatment on Mechanical Properties of Nanocrystalline α -iron: An Atomistic Study*. Jurnal Scientific Reports, 5.
- [8] Trihutomo, P. (2014). Pengaruh Proses Annealing Pada Hasil Pengelasan Terhadap Sifat Mekanik Baja Karbon Rendah. Jurnal Teknik Mesin, 22(1).
- [9] Huo, M., Zhao, J., Xie, H., & Jiang, Z. (2018). *Effect of annealing on microstructure and hardness of thin aluminium strips fabricated by micro flexible rolling*. MATEC Web of Conferences, 190.
- [10] Sugita, I. K. G, R. Soekrisno, IM. Miasa, & Suyitno. (2011). *The Effect of Annealing Temperature on Damping Capacity of the Bronze 20%Sn Alloy*. Mechanical & Mechatronics Engineering, Vol: 11 No: 04.

	<p>I Komang Riantana</p> <p>Menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana, program studi Teknik Mesin.</p>
<p>Bidang penelitian yang menjadi konsentrasi adalah Sistem Manufaktur.</p>	