



### PENGARUH PENAMBAHAN SILIKON (Si) TERHADAP SIFAT MEKANIK BAHAN GAMELAN PADUAN PERUNGGU TIMAH PUTIH (CuSn) DENGAN VARIASI KOMPOSISI

**Khotim Mahfud<sup>1</sup>, Budi Harjanto<sup>1</sup>, Nyenyep Sri Wardani<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, FKIP, Universitas Sebelas Maret  
Kampus V UNS Pabelan Jl. Ahmad Yani Nomor 200, Surakarta

Email: [mahfudkhotim48@gmail.com](mailto:mahfudkhotim48@gmail.com)

#### *Abstract*

*This research has an objective to describe : (1) the effect of silicon addition to tin bronze alloy at an elastic properties; (2) the effect of silicon addition to tin bronze alloy at an impact power; (3) the effect of silicon addition to tin bronze alloy at a micro structure level. The research uses an experimental method with descriptive data analysis. The research sample is the result of tin bronze alloy plus silicon. The independent variables of this research are variations in the addition of silicon 1.5%, 3%, and 4.5%. The dependent variable of this research is tin bronze alloy. The results of this research indicate that the increased elastic properties are influenced by the addition of silicon which is known from the calculation of elastic modulus that the highest is 4.5% silicon variation has increased by 21.218% from tin bronze alloy. Broken toughness through the biggest impact test on the addition of 4.5% silicon has an impact value increase of 53.793%. The addition of silicon has an effect on the mechanical properties of the alloy where the elastic properties and impact strength have increased. The resulting microstructure explains that variations in the addition of silicon have an effect on the phase formed on the mechanical properties of the alloy. With the addition of silicon to tin bronze alloy can be recommended as a substitute for gamelan musical instruments.*

**Keywords:** *elastic properties, impact power, micro structure, tin bronze, variations in silicon addition*

#### **A. PENDAHULUAN**

Gamelan merupakan salah satu alat musik yang terbentuk dari bahan perunggu timah putih, kuningan, maupun besi. Sifat paduan perunggu timah putih memiliki kekerasan material serta sifat akustik yang baik. Akan tetapi alat musik yang terbuat dari perunggu timah putih cenderung mempunyai

sifat mekanik yang mudah retak akibat adanya porositas pada waktu pengecoran serta diperparah oleh sifat material yang cenderung bersifat getas (I Made Krisna Dwipayana, 2016).

Komposisi berat material 80wt%Cu dan 20wt%Sn umumnya digunakan untuk bahan instrumen musik gamelan, karena paduan ini

memiliki sifat mekanik yang stabil dalam kondisi temperatur ruang. Paduan bahan perunggu yang mempunyai syarat tinggi untuk kekerasan dengan menambahkan 20 wt%Sn (I Ketut Gede Sugita, 2012). Selain itu, gamelan yang baik akan menghasilkan getaran bunyi yang lama apabila ditabuh (dipukul), dimana sifat akustik yang baik yaitu dapat menghasilkan suara yang panjang. Masa pakai gamelan itu sendiri ketika telah terjadi keretakan maupun perubahan bentuk, akan mempengaruhi kualitas bunyi yang dihasilkan. Paduan perunggu timah putih menjadi bahan terbaik dengan hasil suara dan sifat mekanik terbaik dibandingkan bahan lainnya seperti kuningan dan besi yang berhubungan dengan sifat ketangguhan dan deformasi material. Untuk mengetahui kemungkinan adanya peningkatan kualitas paduan, maka perlu adanya penelitian tentang sifat mekanik salah satunya dengan menambahkan unsur silikon pada paduan bahan gamelan.

Karakteristik pengecoran paduan tembaga dapat ditingkatkan dengan penambahan sejumlah kecil unsur-unsur seperti berilium, silikon, nikel, timah, seng, kromium, dan perak (Luca Collini, 2012). Penambahan silikon pada perunggu mempunyai kadar Si 0,5% sampai 4,5%. Silikon juga dapat mengurangi perkembangan gas dalam cairan, sehingga

mengurangi proses perlakuan pada baja. Karena sifat penambahan silikon pada baja dapat mengurangi sifat las dan tempanya, maka perlu sedikit saja penambahan silikon pada paduan (K.W. Vohdin, 1976).

## B. METODE PENELITIAN

### Parameter Penelitian

1. Parameter Tetap
  - a. Uji tarik dengan standart ASTM E8/E8M
  - b. Uji *impact* dengan standart ASTM E 23 metode Charphy
  - c. Pengujian struktur mikro dengan *metallurgical microscope*
2. Parameter Peubah  
Variasi penambahan silikon sebesar 1,5%, 3%, dan 4,5%.

## C. PEMBAHASAN

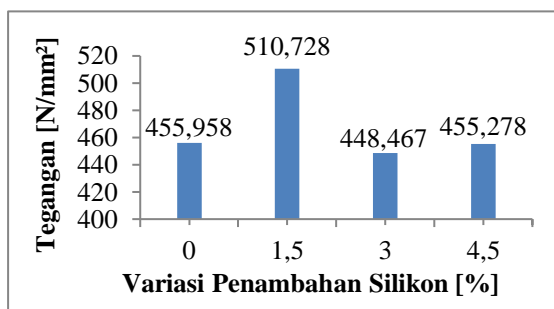
### Hasil Pengujian Tarik

Hasil pengujian tarik untuk *Raw Material* bahan perunggu timah putih dan penambahan bahan silikon sebesar 1,5%, 3% dan 4,5% disajikan dalam bentuk tabel berikut :

Tabel 1. Hasil Tegangan

Spesimen	$\sigma_{rata-rata}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
A	455,958
B	510,728
C	448,467
D	455,278

Gambar grafik pertama menunjukkan perbedaan tegangan hasil pengujian tarik yang dapat dilihat pada gambar 1.



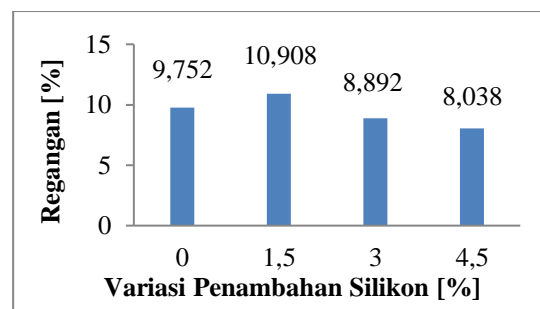
Gambar 1. Tegangan Tarik dengan variasi penambahan silikon

Diagram 1 menunjukkan bahwa nilai tegangan rata-rata terbesar dengan penambahan silikon sebesar 1,5% dengan nilai 510.728 N/mm<sup>2</sup>, sedangkan nilai tegangan rata-rata terendah dengan penambahan silikon sebesar 3% dengan nilai 448,467 N/mm<sup>2</sup>. Hasil ini membuktikan bahwa dengan penambahan silikon dapat meningkatkan karakteristik paduan tembaga diketahui dari hasil regangan pengujian tarik pada penambahan silikon sebesar 1,5%.

Tabel 2. Hasil Regangan

Spesimen	$\epsilon_{rata-rata}$ [%]
A	9,752
B	10,908
C	8,892
D	8,038

Gambar grafik kedua menunjukkan perbedaan regangan hasil pengujian tarik yang dapat dilihat pada gambar berikut:



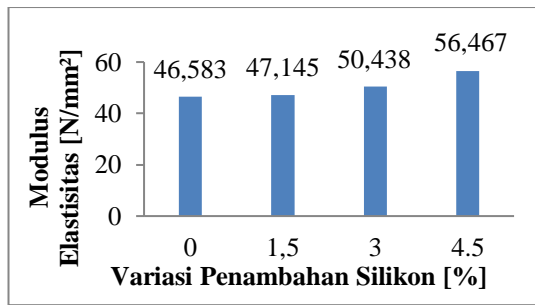
Gambar 2. Diagram Batang Hasil Regangan

Diagram diatas menunjukkan bahwa nilai regangan tertinggi terdapat pada paduan dengan penambahan silikon sebesar 1,5% dengan nilai 10,908%, sedangkan nilai regangan terendah pada spesimen dengan penambahan silikon sebesar 4,5% dengan nilai 8,038%. Korelasi regangan dengan penambahan silikon yang didapatkan bahwa nilai regangan akan meningkat sampai penambahan silikon sebesar 1,5%, selebihnya akan menurunkan nilai regangan yang dialami paduan.

Tabel 3. Hasil Modulus Elastisitas

Spesimen	$E_{rata-rata}$ [J/mm <sup>2</sup> ] [N/mm <sup>2</sup> ]
A1	46,583
B1	47,145
C1	50,438
D1	56,467

Gambar grafik kedua menunjukkan perbedaan modulus elastisitas hasil pengujian tarik yang dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3. Diagram Batang Hasil Modulus Elastisitas Pengujian Tarik

Besar nilai modulus elastisitas hasil perhitungan tertinggi terdapat pada spesimen uji dengan penambahan silikon sebesar 4,5% dengan nilai 56,467 MPa, yang mengalami presentase kenaikan sebesar 21%, sedangkan nilai terendah terdapat pada paduan tanpa penambahan silikon sebesar 46,583 MPa. Korelasi antara modulus elastisitas dengan nilai kuat tarik berupa regangan dan tegangan memiliki kecenderungan berbanding terbalik. Penambahan silikon yang semakin besar sampai batas yang dianjurkan, dapat meningkatkan sifat elastis dan meningkatkan keuletan yang dimiliki paduan perunggu timah putih.

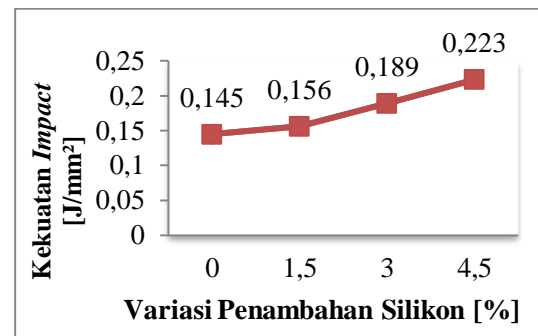
### Hasil Pengujian Impact

Hasil pengujian *Impact* dari *raw material* dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4. Hasil Perhitungan Data Uji *Impact*

Spesimen	HI <sub>rata-rata</sub> [J/mm <sup>2</sup> ]
A1	0,145
B1	0,156
C1	0,189
D1	0,233

Perbandingan kekuatan *impact* dari setiap variasi spesimen uji disajikan dalam bentuk grafik garis pada gambar berikut:



Gambar 4. Diagram Garis Kekuatan *Impact*

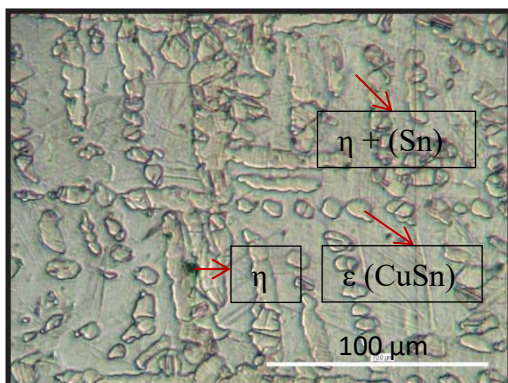
Hasil pengujian *impact*, menunjukkan bahwa kekuatan *impact* tertinggi terdapat pada variasi penambahan unsur penambahan silikon sebesar 4,5% dengan nilai 0,223 J/mm<sup>2</sup>. Sedangkan nilai kekuatan *impact* terendah terdapat pada paduan bahan baku perunggu timah putih tanpa penambahan silikon dengan nilai 0,145 J/mm<sup>2</sup>. Korelasi antara kekuatan *impact* dengan penambahan silikon membuktikan bahwa semakin banyak penambahan silikon ke dalam paduan perunggu timah putih, maka energi yang digunakan untuk mematahkan spesimen akan semakin besar, sehingga meningkatkan kekuatan *impact*.

### Struktur Mikro

Sifat mekanik paduan dominan akan dipengaruhi oleh persentase timah putih dan persentase silikon pada perunggu. Bila timah putih maupun silikon ditambahkan pada tembaga maka timah putih maupun silikon akan dapat menggantikan tembaga pada kisi. Fase yang terbentuk berpengaruh pada sifat

mekanik paduan. Penentuan unsur pembentuk susunan Kristal sesuai dengan (David A. Scott, 1991), bahwa pada penambahan timah putih sampai 20%, terjadi pertumbuhan fasa  $\alpha+\delta$  yang dominan, sedangkan fasa  $\delta$  itu sendiri bersifat getas. Fasa  $\beta$  akan timbul apabila penambahan timah putih pada tembaga kurang dari 18% (I Ketut Gede Sugita 2012).

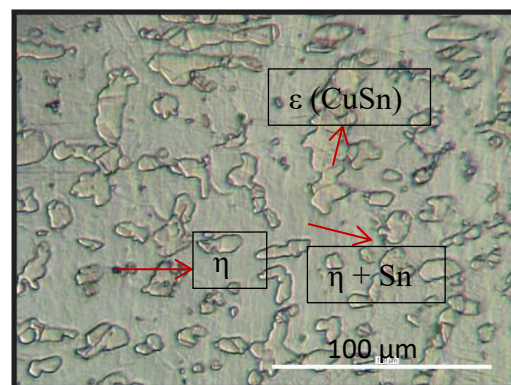
Transformasi pembentukan struktur pada paduan perunggu timah putih dan silikon mengalami reaksi *peritectic* dan *eutectic* akibat komposisi yang dipadukan. Reaksi *peritectic* terjadi pada suhu sekitar 800°C yang menghasilkan fassa baru yakni fasa  $\beta$  pada komposisi kurang dari 18%Sn. Komposisi timah putih yang lebih dari 18%Sn akan menimbulkan fasa kedua yakni fasa  $\delta$  sehingga menimbulkan butir tersisa akibat terhambatnya pelarutan butir fasa  $\alpha$  menjadi fasa  $\beta$ .



Gambar 5. Hasil foto struktur mikro CuSn Dari reaksi ini timbul campuran *eutectic* berupa  $\eta$ (eta) dan timah putih yang meninggalkan fasa  $\eta$  hasil sisa pelarutan

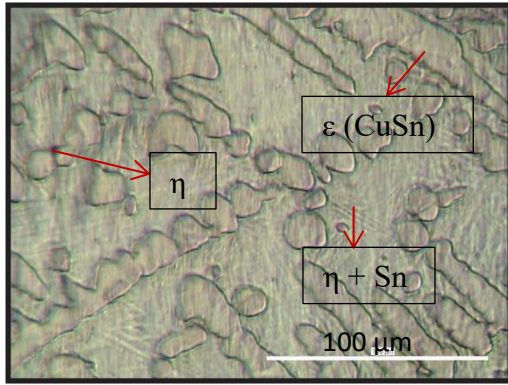
paduan yang terjadi karena lapisan reaksi *peritectic* terhambat (David A. Scott, 1991).

Pada gambar yang ditunjukkan terdapat beberapa unsur penyusun struktur butir yaitu fasa  $\epsilon$  yang dikelilingi fasa  $\eta+(Sn)$ , fasa  $\alpha$  yang bersifat ulet sedangkan fasa  $\delta$  memiliki sifat getas. Terdapat juga fasa  $\eta$ (eta) yaitu bentuk reaksi fasa butir tersisa dengan adanya warna hitam yang muncul tersusun dari akibat hasil reaksi yang bersifat lebih lunak daripada fasa  $\delta$  yang dapat mempengaruhi nilai kekerasan dan sifat mekanik paduan.



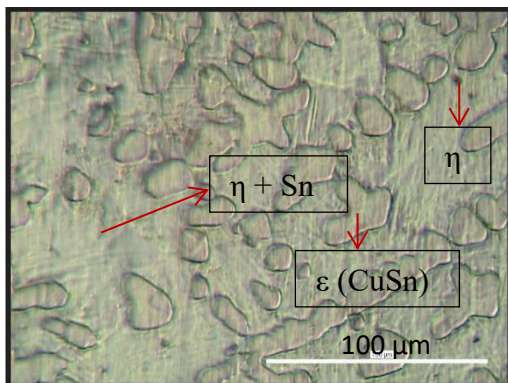
Gambar 6. Hasil foto struktur mikro CuSn ditambah 1,5%Si

Pada gambar terdapat beberapa unsur penyusun struktur yaitu fasa  $\epsilon$  yang dikelilingi fasa  $\eta+Sn$ , serta fasa  $\eta$ . Struktur mikro paduan ini lebih baik sifat keuletannya daripada paduan yang tidak mendapatkan tambahan silikon. Terbukti dengan penambahan silikon sedikit mengontrol susunan butir fasa yang terikat dari hasil reaksi pelarutan fasa yang terjadi dan lebih sedikit timbul fasa  $\eta$  pada paduan dari pada struktur CuSn.



Gambar 7. Hasil foto struktur mikro CuSn ditambah 3%Si

Pada gambar terdapat beberapa unsur penyusun struktur yaitu fasa  $\epsilon$  yang dikelilingi fasa  $\eta + \text{Sn}$ , serta fasa  $\eta$ . Dari penambahan silikon sebesar 3% pada paduan ini lebih memperbaiki struktur mikro yang diuji dibandingkan struktur yang masih acak pada hasil uji paduan dengan penambahan silikon sebesar 1,5%, terbukti dari fasa  $\eta$  yang muncul pada gambar lebih sedikit, sehingga struktur yang dimiliki paduan ini menjadi lebih stabil dan meningkatkan sedikit sifat keuletannya daripada paduan perunggu timah putih yang tidak mendapatkan penambahan silikon maupun ditambah silikon sebesar 1,5%.



Gambar 8. Hasil foto struktur mikro CuSn ditambah 4,5%Si

Pada gambar 8 terdapat beberapa unsur penyusun struktur yaitu fasa  $\epsilon$  yang dikelilingi fasa  $\eta + \text{Sn}$ , serta fasa  $\eta$ . Dari penambahan silikon sebesar 4,5% sedikit memperbaiki struktur mikro yang diuji dibandingkan struktur yang masih acak pada hasil uji paduan dengan penambahan silikon sebesar 1,5%, tetapi memiliki struktur yang hampir sama dengan paduan yang ditambahkan silikon 3%. Paduan ini akan berada pada sifat keuletan yang maksimal apabila susunan butir dari pengujian struktur mikro yang dilakukan mempunyai struktur mikro tanpa adanya fasa  $\eta$  maupun fasa lain yang lebih rendah nilai kekerasannya.

#### D. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa Penambahan silikon pada bahan dapat meningkatkan sifat elastis pada paduan perunggu timah putih. Penambahan variasi silikon yang semakin besar dapat meningkatkan kekuatan *impact*. Semakin besar penambahan silikon dapat memperbaiki susunan butir penyusun, dibuktikan dengan sedikitnya butir fasa  $\eta$  pada paduan perunggu timah putih.

#### DAFTAR PUSTAKA

- ASTM Int. (2009). *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials 1*. Astm, (C), 1–27.
- ASTM. (2007). *Norma E23-07a - Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*. American

- Society for Testing and Materials Handbook, 14(C), 28.*
- Amanto H. & Daryanto. (1999). *Ilmu Bahan. Jakarta: Bumi Aksara.*
- Collini L. (2012). *Copper Alloys, Early Applications and Current Performance, Enhancing Processes. China: InTech*
- Djaprie, S. (2000). *Metalurgi Mekanik. Terj. G.E. Dieter. Jakarta: Erlangga. (Buku asli diterbitkan 1986). Hlm 214-217.*
- Dwipayana, I. M. K. (2016). *Karakteristik Kekuatan Impak dan Struktur Mikro Perunggu Timah Putih (80%Cu– 20%Sn) dan Perunggu Silikon (95%Cu–5%Sn) pada Zone Pembekuan Pengecoran Cetakan Pasir.*
- Scott, D.A. (1991). *Metallography and Microstructure of Ancient And Historic Metals. The Getty Conservation Institute: The J. Paul Getty Museum.*
- Sugita. I. K. G. (2012). *Rekayasa Perunggu Silikon Sebagai Pengganti Perunggu Timah Putih dengan Variasi Komposisi untuk Mendapatkan Sifat Akustik dan Sifat Mekanik yang Lebih Baik. Disertasi S3 Teknik Mesin Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.*
- Sunarya Y. & Setiabudi A. (2009). *Mudah dan Aktif Belajar Kimia. Jakarta: Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional. Hlm. 37-38.*
- Surdia, T. (2000). *Teknik Pengecoran Logam. Jakarta: PT Pradnya Paramita.*
- Surdia, T. & Chijilwa, K. (2013). *Teknik Pengecoran Logam. Jakarta: PT Pradnya Paramita.*
- Van Vlack, Lawrench. 1986. *Ilmu dan Teknolgi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam). Jakarta : Erlangga.*