

# Pengaruh Proses Forging Terhadap Sifat Ketangguhan Retak dan Kekerasan Material Perunggu Sebagai Bahan Gamelan

IGN.Priambadi, IKG.Sugita, CI Putri Kusuma K, & IGN. Nitya Santhiarsa

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Badung

e-mail: priambadi@me.unud.ac.id

## Abstrak

*Perunggu khususnya tin-bronze banyak digunakan sebagai bahan dasar pembuatan instrument musik seperti lonceng, gamelan dan alat musik lainnya. Pada proses pembuatan produk gamelani tin-bronze yang merupakan campuran antara tembaga dan timah putih, dicor yang dilanjutkan dengan proses penempaan (forging), pelarasan (sruti), dan pada akhirnya finishing. Proses produksi dan komposisi merupakan hal sangat penting diperhatikan. Komposisi yang dipakai oleh para pengrajin sangatlah bervariasi, tergantung pada kebiasaan secara turun menurun. Pada penelitian kali ini permasalahan yang diangkat adalah seberapa besar perubahan nilai kekerasan dan ketangguhan retak melalui variasi tingkat deformasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tingkat deformasi pada kekerasan dan ketangguhan retak perunggu bahan baku gamelan, sehingga nantinya diharapkan dapat memberikan kualitas perunggu sebagai bahan baku membuat gamelan. Dalam proses peleburan untuk benda uji, perunggu dibuat dengan komposisi 77,5%Cu – 22,5% Sn seperti yang komposisi yang dipakai oleh pengrajin. Material hasil peleburan dicetak untuk spesimen forging dengan tingkat deformasi sebesar 5%, 10%, dan 15%. Sebelum dilakukan proses forging, benda uji diberikan perlakuan panas dengan temperatur 800°C selama 30 menit. Pengukuran kekerasan material menggunakan metode Vickers dan pengujian ketangguhan retak menggunakan model pengujian Three Point Bending (ASTM E 399-90.) Dari pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa semakin tinggi derajat deformasi, maka kekerasan dan ketangguhan retak material perunggu tersebut semakin meningkat.*

*Kata kunci : Tin bronze, tingkat deformasi, kekerasan material, ketangguhan retak*

## Abstract

# The Effect of Forging Process on the Fracture Toughness and Hardness of Bronze as Gamelan Instrument Material

*Bronze especially tin-bronze is most used as base material in making of music instrument such as bell, gamelan and others music instrument. In making of gamelan product, tin-bronze which is alloying between cooper and tin are cast, forged, harmonized and finished finally. Production process and composition are important thing should be noticed. Composition to be used by craftsman is very various depend on customary. In this research, the problem to be investigated is how much the hardness change and fracture toughness due to variation of deformation level. The purpose of this research is to know the effect of deformation level on the hardness and fracture toughness of gamelan base material, so that is hoped can yield bronze good quality as gamelan base material. At melting process of specimen, bronze is made with composition 77,5%Cu – 22,5% Sn according to craftsman composition used. The levels of specimen deformation are 5%, 10%, and 15%. Before forging process, specimens are given heat treatment with temperature 800°C during 30 minutes. Measurement of material hardness use of Vickers Method and fracture toughness test use of Three Point Bending (ASTM E 399-90) model. The result of research shows that t, the higher hardness and fracture toughness to be obtained.*

*Keywords: Tin -bronze, deformation level, material hardness, fracture toughness*

## 1. Pendahuluan

### 1.1. Latar Belakang

Begitu pentingnya kedudukan gamelan, menyebabkan banyak para ahli musik baik dari dalam maupun dari luar tertarik untuk mempelajari gamelan.. Namun penelitian tentang proses produksi dan penelitian material pendukung gamelan masih sangat minim. Kendala ini mungkin dikarenakan gamelan masih ditinjau dari segi sosial dan budaya, padahal jika ditinjau dalam proses pembuatan dibutuhkan suatu keahlian material maupun keahlian produksi. Proses pembuatan gamelan merupakan suatu proses yang memerlukan kajian ilmiah yang cukup mendalam. Komponen utama yang

berpengaruh dalam proses pembuatan adalah pemilihan campuran komposisi perunggu, proses pengecoran, proses pembentukan dan pemadatan (forging), proses perlakuan panas dan proses finishing. Perunggu yang digunakan merupakan campuran antara tembaga (Cu) dan timah putih (Sn). Karena persiapan material dan proses produksinya dilakukan secara sangat sederhana (traditional) menyebabkan beberapa parameter dalam proses pengecoran paduan logam ini agak sulit dikontrol. Misalnya, komposisi paduan antara tembaga dan timah tidak akurat, pencairan tembaga dan timah secara bersamaan, tidak dilakukan pemantauan atau pengukuran temperatur logam cair ataupun

temperatur saat penuangan logam cair ke dalam cetakan dan lain sebagainya.

Proses forging yang digunakan adalah hummer forging yang masih bertumpu pada kemampuan tenaga manusia. Kelemahan utama proses ini adalah pemadatan material satu dengan material lainnya tidak sama. Tegangan sisa yang terjadi akibat proses forging tidak bisa dihindari. Efek negatif dari timbulnya tegangan sisa adalah produk akan retak ataupun sifat mekanis logam akan menurun. Menurunnya sifat ini akan memberi implikasi pada kualitas suara gamelan.

Menurut Made Kartawan dosen ISI Denpasar dan sekaligus sebagai pembuat gamelan, mengakui bahwa hampir semua gamelan yang dibuat mengalami penurunan suara (bero) setelah rentang waktu penggunaan 6 hingga 12 bulan. Cara perbaikan yang dilakukan dengan jalan melaras ulang (tuning baru) pada gamelan yang bermasalah. Pelarasan ulang juga dilakukan pada gamelan-gamelan yang dieksport ke luar negeri.

### 1.2. Perumusan Masalah

Bagaimana perubahan sifat fisis dan kekerasan, sifat ketangguhan retak pada perunggu gamelan akibat variasi campuran dan beban *close die forging*

### 1.3. Tujuan Penelitian dan Manfaat

Didasarkan atas latar belakang dan permasalahan yang ada maka penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan dan ketangguhan retak material perunggu dengan variasi beban forging. Sedangkan penelitian diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan gambaran kualitas Gamelan dengan menentukan pembebanan *forging* pada campuran *Cu-Sn* sesuai dengan komposisi yang biasa digunakan oleh pengerajin
2. Memberikan Informasi dan Inovasi kepada pihak-pihak pengrajin terhadap kualitas Gamelan berdasarkan pada komposisi *Cu-Sn*.

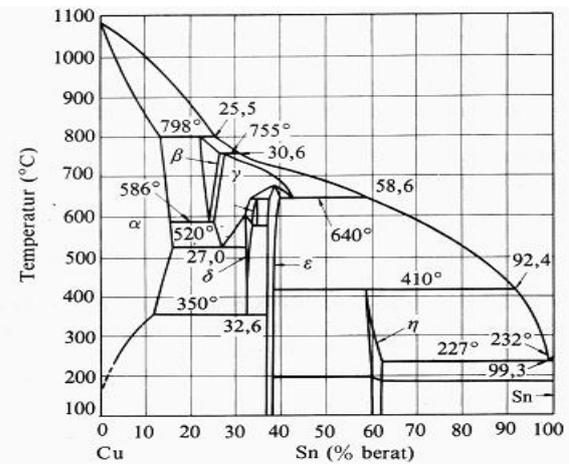
## 2.2. Dasar Teori

### 2.2.1. Bahan Gamelan

Bahan gamelan pada umumnya terbuat dari bahan perunggu, merupakan paduan antara Tembaga (Cu) dan timah putih (Sn), sering juga disebut *tin bronze*. Dalam arti luas perunggu berarti paduan tembaga, timah putih, aluminium, dan berillium. Disamping paduan utama di atas juga biasanya mengandung sedikit posfor, timah hitam, seng atau nikel. Dibandingkan dengan tembaga murni dan kuningan, perunggu merupakan paduan yang mudah dicor dan mempunyai kekuatan yang lebih tinggi, demikian juga ketahanan ausnya dan ketahanan korosinya.

Paduan tembaga dan timah dikenal sebagai paduan yang mudah di cor dan memiliki kekuatan yang cukup tinggi serta mempunyai ketahanan aus dan

korosi yang baik. Sehingga paduan ini banyak digunakan untuk berbagai komponen mesin, dari bantalan, pegas sampai coran.



Gambar 1. Diagram fase Cu-Sn

Sumber: Surdia, Tata, Pengetahuan Bahan Teknik

### 2.2.2. Tempa/Forging

Jenis penempaan (*forging*) yang dilakukan dalam pembuatan gamelan adalah dengan palu (*open forging*). Pada proses ini material dipanaskan kemudian ditempa dengan palu/hammer yaitu dilakukan pemukulan yang berulang-ulang terhadap material tersebut. Penempaan tangan yang dilakukan oleh pengerajin (*pande*) merupakan cara penempaan yang tertua yang bersifat tradisional. Proses ini tidak dapat diperoleh ketelitian yang tinggi dan tidak dapat dikerjakan untuk benda dengan bentuk yang rumit. Penempaan benda kerja yang berat atau besar hanya dapat dilaksanakan oleh mesin. Tetapi mesin tempa (*forging*) baik bila digunakan untuk pembuatan benda kerja yang kecil, karena memungkinkan pengerjaan yang jauh lebih ekonomis. Proses penempaan (*forging*) dengan mesin ini biasanya dilakukan dengan menggunakan cetakan (*close die forging*)

### 2.2.3. Deformasi Plastis

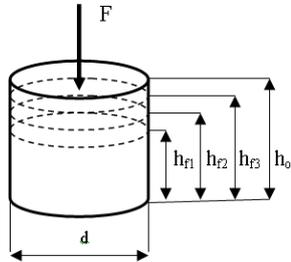
Deformasi yang tidak dapat diperoleh kembali saat logam mengalami penarikan atau penekanan melewati batas elastisnya disebut deformasi plastis. Deformasi ini disebabkan oleh pergerakan yang tetap dari atom molekul dari posisi semula dalam lattice, dimana pergerakan ini tidak dapat kembali pada keadaan semula. Deformasi Plastis pada kristal dapat terjadi secara slip atau twining atau juga kombinasi keduanya.

Tingkat deformasi dapat ditentukan melalui dua parameter, yaitu: luasan (*per-cent reduction of area*) dan pemanjangan (*per-cent elongation*) dari material yang mengalami perubahan bentuk (Hosford, 1983), dalam pegujian ini material mengalami kompresi, dimana kompresi (*per-cent compression*) berbanding terbalik dengan pemanjangan (*per-cent elongation*), sehingga:

$$\%Cr = \frac{100(h_o - h_f)}{h_o} \quad (1)$$

Dimana:

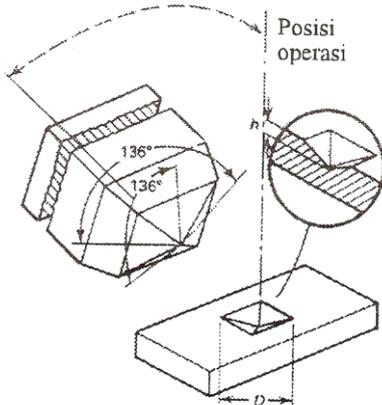
- % Cr = Persentase perubahan compression
- $h_f$  = tebal akhir
- $h_o$  = tebal sebelum penekanan (tebal awal)



Gambar 2. Spesimen uji close forging

**2.2.4. Kekerasan**

Kekerasan ini diukur dengan mempergunakan alat uji *Vickers*. Dalam pengujian ini dipakai piramid dengan sudut bidang-duanya  $136^\circ$  sebagai penekan. Pada pengujian ini dipakai standar kekerasan *Vickers*, menggunakan indentor berbentuk piramid dengan dasar bujur sangkar dari bahan intan.



Gambar 3. Skema pengujian kekerasan *Vickers*

Sudut puncak piramid adalah  $136^\circ$ . Angka kekerasan *Vickers* adalah besar beban (P) dibagi dengan luas indentasi. Kekerasan dihitung dengan persamaan:

$$HV_N = \frac{2 \times P \times \sin(\theta / 2)}{d^2} = 1,854 \frac{P}{d^2} \text{ (kg/mm}^2\text{)} \quad (2)$$

Dimana :

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

$d$  = diagonal rata-rata ( mm )

**2.2.5. Ketangguhan Retak**

Pengujian ketangguhan retak dilakukan dengan membebani benda uji sampai patah (*failure*). Besarnya ketangguhan retak dihitung dengan persamaan : (ASTM E 390-90)

$$K_{Ic} = \frac{P S f(a/w)}{BW^{3/2}} \quad (3)$$

dengan:

- P : Beban pada saat spesimen patah ( N )
- S : Jarak *roller* ( m )
- B : lebar benda uji ( m )
- W : Tinggi benda uji ( m )
- A : panjang retak
- $f(a/w)$  : Faktor koreksi

**3. Metode Penelitian**

**3.1. Tempat penelitian**

Penelitian dilakukan di beberapa tempat, yaitu:

1. Jalan Semar Pegulingan, Desa Tihingan, Kecamatan Banjarangkan, Kabupaten Klungkung, Propinsi Bali yang bertempat di rumah seorang pengrajin gamelan (Bapak Made Utama) sebagai tempat pengecoran material.
2. Lab Ilmu Logam Kampus bukit Jimbaran Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana. Tempat ini dijadikan tempat untuk melakukan pengujian pada benda uji yaitu uji ketangguhan retak dan foto struktur mikro.

**3.2. Bahan dan Alat Penelitian**

**Bahan/Material**

Material yang digunakan adalah material perunggu (tin bronze) hasil coran yaitu campuran antara *Cu-Sn*. Komposisi paduan yang digunakan adalah perbandingan komposisi perunggu dengan timah putih yaitu: 77,5% *Cu* - 22,5% *Sn*, komposisi ini biasanya digunakan oleh pengerajin. Selanjutnya paduan *Cu-Sn* yang sudah disiapkan dipanaskan sampai mencair, untuk membuat campuran menjadi cair dibutuhkan temperatur sekitar  $1085^\circ\text{C}$ .

**Peralatan Penelitian**

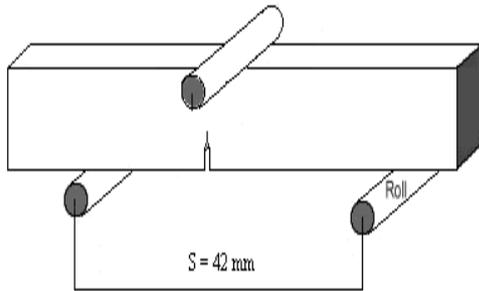
Dalam melaksanakan penelitian ini alat-alat yang digunakan untuk mendapatkan data, adalah:

1. Material Uji
2. Mesin potong, mesin untuk memotong
3. Cetakan
4. Wadah/tempat untuk mencairkan logam (*crucible*).
5. Sendok pengaduk/pengambil slag.
6. Tungku/dapur pemanas, untuk mencairkan dan memanaskan logam.
7. Wadah/tempat mencairkan logam (*kowi - kowi / crucible*)
8. Mesin "*Forging*", untuk melakukan pembebanan terhadap perubahan tingkat deformasi

9. Peralatan penunjang seperti jangka sorong, gergaji dan palu.
10. EDM ( Electric Discharge Machine ) untuk membentuk spesimen uji
11. Mesin uji ketangguhan retak.

**Spesimen uji ketangguhan retak**

Bentuk specimen uji ketangguhan retak, menggunakan standar uji ASTM E 399-90, dengan pengujian *tree point bending*. Ukuran specimen dan jarak antar roll seperti ditunjukkan pada gambar berikut :



**Gambar 4. Spesimen uji ketangguhan retak**

Skematik langkah penelitian ditunjukkan pada gambar 5.



**Gambar 5. Skematik langkah penelitian**

**4. Hasil dan Pembahasan**

**4.1. Beban Forging**

Beban forging yang diberikan masing-masing paduan ditunjukkan pada table 1.

**Tabel 1. Beban Forging**

Tingkat deformasi	Tebal awal ( $h_0$ ) yang diinginkan (mm)	Tebal Akhir ( $h_f$ ) yang diinginkan (mm)	Beban Forging (F) yang diberikan (kN)
5 %	20	18	925
10 %	20	17	950
15 %	20	16	974

**Tabel 2. Nilai kekerasan komposisi campuran**

Komposisi	Tingkat Deformasi		
	5 %	10 %	15 %
77,5% Cu – 22,5 % Sn	53,74	58,85	60,78
	54,05	54,53	57,04
	54,37	57,75	60,78
Rata-rata	54,053	57,043	59,533

**4.2. Data Pengujian Ketangguhan Retak**

Bahan uji dengan komposisi 77,5 %Cu – 22,5 %Sn yang telah dibentuk sesuai dengan standar uji ASTM E 399 – 90, kemudian dilakukan pengujian ketangguhan retak dengan hasil seperti data yang ditunjukkan pada tabel sebagai berikut :

Tabel 2. Uji ketangguhan retak specimen komposisi 77,5 %Cu – 22,5 %Sn dengan derajat deformasi 5%.

Dimensi	Benda Uji		
	Benda Uji I	Benda Uji II	Benda Uji III
Lebar (B) (mm)	5,1	5	5,2
Tinggi (W) (mm)	9,9	9,9	9,8
Jarak Poller (S) (mm)	42	42	42
Beban saat patah (P) (kN)	0,5	0,55	0,58
Faktor Koreksif (a/w)	2,29	2,29	2,29
K <sub>IC</sub>	9,5728	10,7405	10,8785
Rata-rata	10,3299		

**Tabel 3. Uji ketangguhan retak specimen komposisi 77,5 %Cu – 22,5 %Sn dengan derajat deformasi 10%**

Dimensi	Benda uji		
	Benda Uji I	Benda Uji II	Benda Uji III
Lebar (B) (mm)	5,5	5	5,4
Tinggi (W) (mm)	9,9	9,9	10
Jarak Poller (S) (mm)	42	42	42
Beban saat patah (P) (kN)	0,6	0,58	0,52
Faktor Koreksif (a/w)	2,29	2,29	2,29
K <sub>IC</sub>	11,7189	13,2792	11,0429
Rata-rata	12,0130		

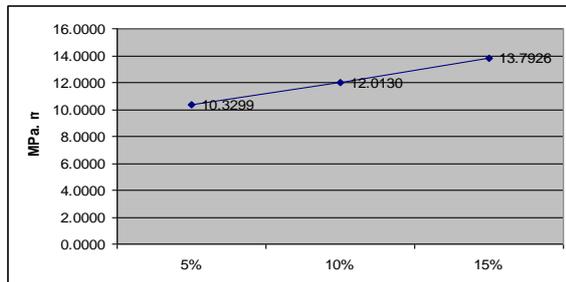
**Tabel 4. Uji ketangguhan retak specimen komposisi 77,5 %Cu – 22,5 %Sn dengan derajat deformasi 15%.**

Dimensi	Benda uji		
	Benda Uji I	Benda Uji II	Benda Uji III
Lebar (B) (mm)	4,8	5,1	5,
Tinggi (W) (mm)	9,8	9,8	9,9
Jarak Poller (S) (mm)	42	42	42
Beban saat patah (P) (kN)	0,69	0,65	0,71
Faktor Koreksif (a/w)	2,29	2,29	2,29
K <sub>IC</sub>	13,9604	14,5793	12,8380
Rata-rata	13,7926		

**4.3. Pembahasan**

Pada komposisi perunggu yang diuji semakin tinggi derajat deformasi menunjukkan peningkatan baik kekerasan maupun ketangguhan retak. Kondisi ini terjadi dilihat dari komposisi dimana unsur tembaga adalah merupakan jenis material yang mempunyai kekuatan material yang tinggi dan bersifat ulet, selain itu pada saat proses

forging dengan derajat deformasi 15 % dimana dimensi pemampatan yang terjadi lebih besar ini mengakibatkan struktur atom yang membentuk material termampatkan sehingga material akan menjadi lebih keras.



**Gambar 6. Grafik ketangguhan retak hasil pengujian benda uji 77,5 %cu – 22,5 %sn dengan tingkat deformasi 5%, 10%, 15%**

### 5. Kesimpulan

1. Perunggu komposisi (77,5%Cu-22,5%Sn) dengan tingkat deformasi 5% nilai kekerasannya rata-rata sebesar 54,05 HVN, sedangkan tingkat deformasi 10% nilai kekerasannya rata-rata sebesar 57,04 HVN, dan tingkat deformasi 15% nilai kekerasannya rata-rata sebesar 59,53 HVN.
2. Pada pengujian ketangguhan retak, dimana masing-masing tingkat deformasi dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali dan dari rata-rata menunjukkan bahwa untuk derajat deformasi 5 % nilai ketangguhan retak 10.3299 Mpa.m<sup>1/2</sup>, untuk 10 % nilai ketagguhan retak 13.0130 Mpa.m<sup>1/2</sup> dan 15 % nilai ketangguhan retaknya 13.7926 Mpa.m<sup>1/2</sup>

### Daftar Pustaka

[1] Anver, H., S., (1974), *Introduction to Physical Metallurgy*, 2<sup>nd</sup> ed.; McGraw-Hill Book Company, Inc. New York.

[2] Askeland, D. R., (1984), *The Science and Engineering of Materials*, University of Missouri-Rolla, California, USA.

[3] ASTM International E 399-90, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428 – 2959, United States.

[4] Broek, D., 1986, *Elementary Engineering Fracture Mechanics*, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands.

[5] Dieter, George E, (1992), *Metalurgi Mekanik*, edisi ketiga, alih bahasa Ir. Ny Sriati Djaprie M.E.M.Met, penerbit Erlangga, Jakarta.

[6] Donald R. Askeland, *The Science And Engineering Of Materials*, University of Missouri-Rolla

[7] Dowling, N. E., 1993, *Mechanical Behavior of Materials*, Prentice Hall, New Jersey.

[8] Hosford, W, F, dan Caddel, R, M. (1983), *Metal Forming Mechanics and Metalurgy*, Prentice-hall, Inc.

[9] Jastrzebski, Z. D., (1980), *The Nature and Properties of Engeneering Materials*, Third editions, New York.

[10] Michael Tanzer (2000) *Gamelan Gong Kebyar the Art of twentieth-Century Balinese Music*, USA, The University of Cicago.

[11] Ornstein (1971) dalam sebuah disertasinya yang berjudul *Gamelan Gong Kebyar : The Development of a Balinese Musical Tradition*

[12] Rembang, I Nyoman (1985), *Sekelumit Cara Pembuatan Gamelan Bali*, Proyek Pengembangan Kesenian Bali, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat Jendral Kebudayaan.

[13] Rai S.I Wayan (1999), *Keragaman Laras (tunning system) Gamelan Gong Kebyar*, STSI Denpasar

[14] Schonmetz, G., 1985, *Pengetahuan Bahan dalam Pengerjaan Logam*, Angkasa, Bandung

[15] Sugita, 1998, *Analisa Teknologi Pembuatan Gong Bali*, BBI, 1998

[16] Sugita, (2006), *Perbaikan Sifat Mekanis Gamelan Bali Melalui Perbaikan Komposisi Campuran Bahan Perunggu*, DIPA, 2005

[19] Sugita, (2006), *Kajian Kualitas Suara dan Sifat Ketangguhan Retak Gamelan Bali.*, TPSDP, Bach III. PS. Teknik mesin.