

# Redesain Injektor Udara Pembakaran Pada Perajin Gamelan Bali di Desa Tihingan

IGN.Priambadi<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Teknik Mesin, Universitas Udayana  
Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362  
email: priambadi.ngurah@yahoo.com

## Abstrak

Aktivitas umat Hindu khususnya di Bali dalam kegiatan budaya maupun keagamaan tidak bisa dilepaskan dari perangkat instrumen akustik yang dinamakan gamelan. Ini merupakan suatu nilai eksistensi dari peradaban masyarakat Hindu Bali yang secara turun temurun telah dipelihara. Komponen yang harus diperhatikan dalam proses pembuatan gamelan adalah mulai dari komposisi perunggu, tungku peleburan (*prapen*), proses pengecoran, proses penempaan/ pematatan (*forging*) serta proses akhir (*finishing*) yang merupakan proses penyetaraan suara pada gamelan Bali. Kecepatan dalam proses peleburan sangat ditentukan oleh tekanan, kapasitas serta distribusi aliran udara dalam pembakaran bahan bakar serta kadar polutan. Jika proses peleburan lama maka biaya produksi meningkat karena hal ini terkait dengan penggunaan bahan bakar. Dalam penelitian dilakukan redesain terhadap model injektor yang sudah biasa digunakan oleh para perajin yaitu mempunyai bentuk saluran lurus dengan diameter yang sama. Redesain model injektor udara pembakaran mempunyai bentuk konvergen-divergen, dimana desain ini didasarkan atas pendekatan teori termodinamika. Redesain yang dilakukan diharapkan mampu memberikan proses pembakaran yang lebih sempurna sehingga proses peleburan menjadi lebih cepat dan komposisi polusi udara sekitar (*ambient*) lebih aman bagi perajin. Hasil dalam penelitian yang dilakukan setidaknya dapat memberikan kontribusi bagi perajin gamelan Bali terutama untuk menekan biaya produksi serta gairah untuk melestarikan eksistensi budaya. Penelitian yang dilakukan melalui redesain injektor menunjukkan terjadinya penurunan penggunaan arang sebesar 10,47 % serta produksi hasil peleburan meningkat 12,94 %. Untuk kadar polutan dimana hasil pengujian terhadap sampel kualitas udara seperti NO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, TSP (debu) mengalami penurunan secara signifikan. Data tersebut diukur pada rentang waktu 4 jam kerja serta dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali. Disimpulkan bahwa penerapan model injektor penghembus udara pembakaran dapat meningkatkan produksi serta mengurangi kadar polutan dalam proses peleburan perunggu.

**Kata kunci:** Redesain injektor, peleburan, udara sekitar

## Abstract

Activity Hindus in Bali, especially in cultural or religious activities can not be separated from the acoustic instruments called gamelan. It is an existence value of Balinese Hindu civilization for generations has been maintained. Components that must be considered in the process of making gamelan is ranging from bronze composition, melting furnace (*prapen*), the process of casting, forging process / solidification (*penempaan*) and the end which is the process of aligning sound the Balinese gamelan. The speed in the process of smelting very determined by pressure, capacity as well as distribution airflow inside combustion fuel as well as the levels of pollutants. If the long smelting process, then the cost of production increased because it is associated with fuel usage. In a study conducted redesigning the injector models that are commonly used by the craftsmen that have the form of a straight line with the same diameter. Model ergo thermal injector of air combustion has a convergent-divergent shape, where the design is based on the thermodynamic theory approach. Redesign done are expected to provide a more complete combustion process so that the process becomes more rapid melting and composition of ambient air pollution safer for crafters. The results of the research conducted at least be able to contribute to the Balinese gamelan craftsmen especially for lower production costs as well as a passion for preserving the cultural existence. Research conducted through the application of injector models show a decline in the use of charcoal 10.47% and 12.94% production increase smelting. The test result of the pollutants Levels where of air quality samples such as NO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, TSP (dust) decreased significantly. Data measured on timescales of 4 hours and repeated 3 times. It was concluded that the application of ergo thermal injector models air combustion can increase production and reduce the levels of pollutants in the process of smelting bronze.

**Keywords:** Redesign injector, smelting, ambient air

---

\* Penulis koespondensi, Hp : 085738690508  
Email : priambadi.ngurah@yahoo.com

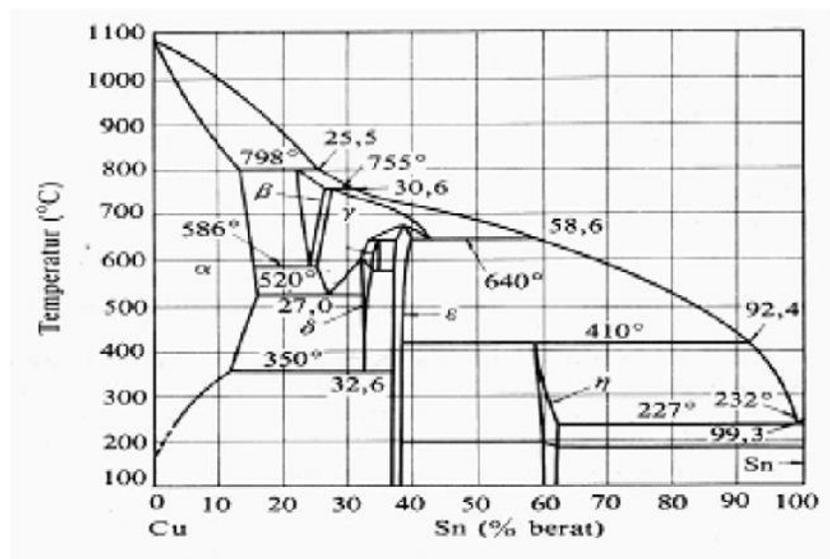
## 1. PENDAHULUAN

Aktivitas umat Hindu khususnya di Bali dalam kegiatan budaya maupun keagamaan tidak bisa dilepaskan dari perangkat instrumen akustik yang dinamakan gamelan. Ini merupakan suatu nilai eksistensi dari peradaban masyarakat Hindu Bali yang secara turun temurun telah dipelihara. Dalam perkembangannya instrumen perangkat gamelan ini mengalami perkembangan fungsi yang cukup pesat dari pemanfaatan pada konteks keagamaan sampai dengan kegiatan kebudayaan. Begitu pentingnya kedudukan gamelan untuk kehidupan masyarakat di Bali sehingga banyak yang melakukan penelitian baik koreografi, sosial dan budaya, ekonomi, kesehatan serta teknologi proses. Bahkan dunia baru mengarah kepada pemberian perhatian yang cukup kepada pemasyarakatan serta pelestarian warisan – warisan budaya dalam perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang sedang mengalami globalisasi [1]

Peleburan adalah proses pencairan unsur logam Cu (*tembaga*) dan unsur logam Sn (*timah putih*) sehingga menjadi logam paduan perunggu (*bronze*) yang terbentuk pada temperatur peleburan mencapai  $\pm 1083^{\circ}\text{C}$  [2]. Proses ini dilakukan di tungku peleburan (*prapen*) melalui pembakaran bahan bakar berupa arang kayu serta tambahan udara pembakaran sehingga menghasilkan energi panas. Untuk kebutuhan udara pembakaran perajin gamelan yang ada di dusun Tihingan memanfaatkan tenaga mekanik yang disebut *blower* sebagai penghembus udara melalui pipa distribusi (injektor) sehingga kapasitas dan laju aliran udara kontinu. Bentuk saluran injektor dari blower ke ruang bakar bahan bakar sangat berperan dalam menentukan kecepatan proses peleburan, hal ini dipengaruhi oleh tekanan, volume udara serta pengarah. Jika kondisi udara tersebut tidak proporsional dengan volume bahan bakar yang digunakan, maka akan mengakibatkan pembakaran tidak sempurna dan proses peleburan menjadi lama. Perbaikan kondisi kerja pada proses peleburan perunggu dapat meningkatkan produktivitas (kinerja) sebesar 26,67 % [3].

### 1.1. Proses produksi

Proses produksi adalah merupakan suatu aktivitas yang merubah bentuk materi menjadi benda yang mempunyai fungsi sesuai dengan yang dikehendaki. Dalam proses produksi gangsa yang merupakan perangkat gamelan Bali diperlukan material yang berupa perunggu, dimana perunggu ini adalah paduan dari logam tembaga (*Cu*) dan timah putih (*Sn*). Untuk mendapatkan kualitas yang baik, maka dibutuhkan suatu proporsi yang tepat antara tembaga dan timah putih dari hasil penelitian didapat komposisi yang baik adalah 80 % Cu – 20 % Sn.



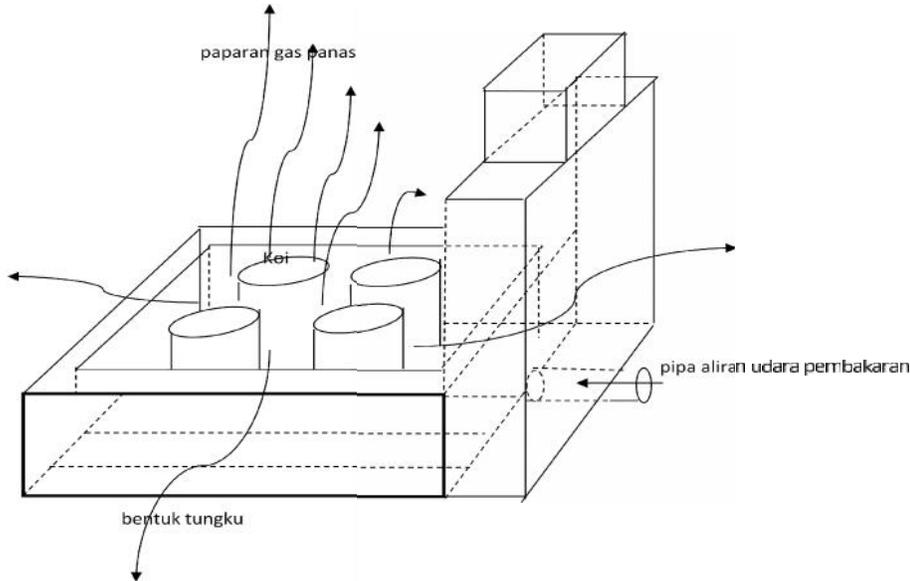
Gambar 1. Diagram fase paduan tembaga-timah

Gambar 1 menunjukkan diagram fase dari tembaga dan timah, di mana pada gambar tersebut garis absis adalah prosentase perunggu yang dibentuk dari tembaga (80 %) dan timah putih (20 %) sedangkan garis ordinat menunjukkan temperatur cair dari masing-masing logam tersebut. Garis paling atas dari diagram menunjukkan kondisi paduan dalam keadaan cair dan jika temperaturnya bertambah, maka paduan menjadi cairan yang super jenuh (*superheated*). Paduan tembaga dan

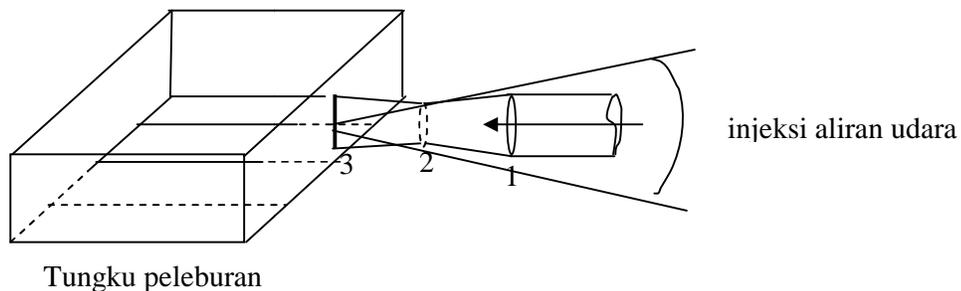
timah dikenal sebagai paduan yang mudah di cor dan memiliki kekuatan yang cukup tinggi serta mempunyai ketahanan aus dan korosi yang baik.

### 1.2. Proses peleburan

Udara yang dialirkan dalam proses pembakaran di injeksikan ke bahan bakar dengan *blower*, adapun skema dapat dilihat pada Gambar 2. di mana model injektor yang digunakan oleh perajin berbentuk lurus, sedangkan dalam penelitian ini dirancang model injektor seperti Gambar .3 berikut :



Gambar .2. Bentuk pipa injektor dan penampungan udara sebelum redesain



Gambar 3. Model injektor baru

Cara kerja model injektor baru penghembus udara pembakaran pada proses peleburan perunggu adalah sebagai berikut; udara yang dihasilkan dari blower masuk ke injektor (1) selanjutnya dicerat pada bagian konvergen (2) dan akhirnya dilepas pada masuk ketungku/ruang bakar bagian divergen (3). Adapun tujuan dari bentuk konvergen adalah untuk meningkatkan tekanan udara sedangkan bentuk divergen yaitu memberikan distribusi udara pembakaran yang merata pada arang dengan tekanan yang lebih rendah. Meratanya distribusii udara pada arang/bahan bakar bertujuan agar proses pembakaran bahan bakar lebih sempurna.

### 1.3. Analisa secara termodinamika

Model injektor dapat dianalisa dengan persamaan sebagai berikut : [4], [5]

Persamaan pada laluan 1 – 2 secara konvergen,

Luas laluan udara dari blower ( $A_0$ )

$$A_0 = A_1 = 2 \cdot f \cdot r_1^2 \text{ (m}^2\text{)} \tag{1}$$

Angka Mach untuk di A1

$$M_{a1} = \frac{A_1}{A_0}$$

Tekanan udara ( $p_1$ ) yang keluar dari blower

$$p_1 = \frac{P}{\%_0 \cdot r} \quad (N/m^2) \quad (2)$$

Tekanan udara pada laluan konvergen ( $p_2$ )

$$p_2 = p_1 (1 + 0,2 \cdot M_{a2}^2)^{3,5} \quad (N/m^2) \quad (3)$$

$$M_{a2} = \frac{A_2}{A_1}$$

Tekanan udara pada laluan divergen ( $p_3$ )

$$p_2 = p_3 (1 + 0,2 \cdot M_{a3}^2)^{3,5} \quad (N/m^2)$$

$$p_3 = \frac{p_2}{(1 + 0,2 \cdot M_{a3}^2)^{3,5}} \quad (N/m^2) \quad (4)$$

$$M_{a3} = \frac{A_3}{A_1}$$

dimana :

- p1 = tekanan udara dari blower (N/m<sup>2</sup>)
- p2 = tekanan udara pada laluan konvergen (N/m<sup>2</sup>)
- p3 = tekanan udara pada laluan divergen (N/m<sup>2</sup>)
- A<sub>0</sub> = luas laluan udara keluar dari blower (m<sup>2</sup>)
- A<sub>1</sub> = luas laluan udara masuk pada laluan konvergen (m<sup>2</sup>)
- A<sub>2</sub> = luas laluan udara pada laluan konvergen (m<sup>2</sup>)
- A<sub>3</sub> = luas laluan udara pada laluan divergen (m<sup>2</sup>), T<sub>1</sub> = T<sub>2</sub> = T<sub>3</sub> = Isotermal (K)
- $\zeta$  = kecepatan angular (rps)

Penceratan udara pembakaran pada point 3 diharapkan memberikan distribusi udara pada bahan bakar arang secara merata sehingga proses pembakaran menjadi lebih sempurna. Dengan lebih sempurnanya proses pembakaran, maka peleburan paduan perunggu akan lebih cepat dan kandungan polutan lebih rendah.

## 2. METODE

### 2.1. Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di dusun Tihingan desa Tihingan Kecamatan Banjarangkan Kabupaten Klungkung, dimana tempat ini adalah salah satu desa produktif untuk industri logam yang memproduksi perangkat gamelan tradisional Bali dan merupakan icon bagi propinsi Bali dalam menunjang industri pariwisata.

### 2.2. Material

1. Dalam Penelitian ini digunakan material perunggu dengan komposisi 80 % Cu (tembaga) dan 20 % Sn (timah putih)
2. Batu bata tahan api;
3. Tanah liat sebagai adonan untuk proses pembentukan tungku peleburan;
4. Koi (*muse*);
5. Arang kayu

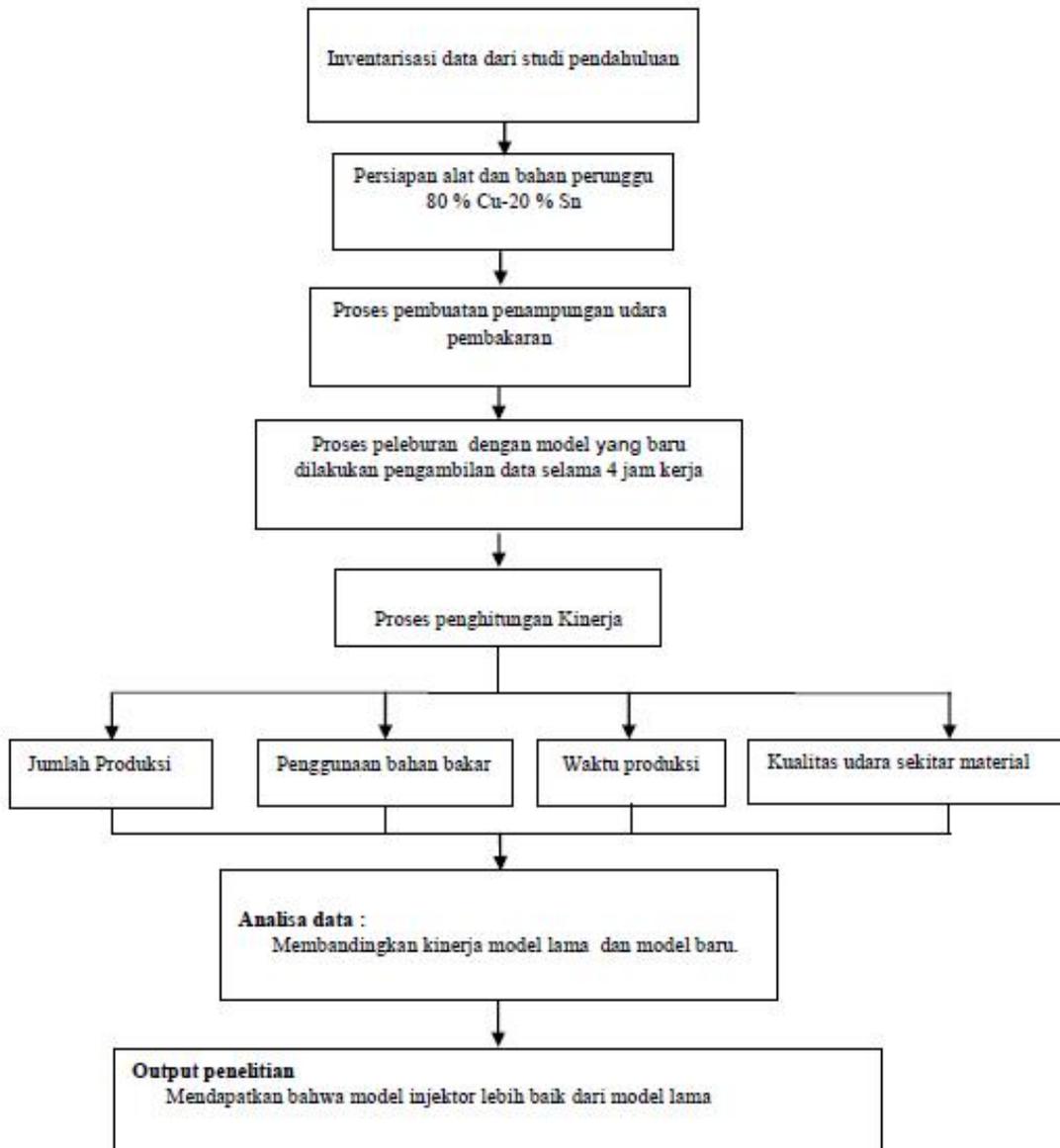
### 2.3. Alat

Alat ukur/ instrument yang dipergunakan untuk memberikan nilai pendekatan pada penelitian ini adalah berupa :

1. Meteran logam, panjang 3 meter, dengan ketelitian 1 mm merk *Daiyu buatan Jepang*, untuk mengukur dimensi ruang, ventilasi, dimensi tungku;
2. Alat timbangan, menggunakan alat timbangan merk Satorius dengan ketelitian 0,001 g;
3. Dokumen gambar (hasil potret dari rekaman kamera) merk *sony Type DSC-S2000*. 10.1 megapixels buatan Jepang;

4. Termokopel 4 *channel* dilengkapi dengan akuisisi data yang memiliki kemampuan koleksi data pada interval 70 milidetik, merk National Instrument NI USB-9211/9211A. Digunakan untuk mengukur temperatur ruangan di tempat kerja dengan ketelitian enam angka di belakang koma;
5. Komputer jinjing Merk Toshiba Type Satellite C 640;
6. Epingerzet buatan Jerman untuk mengukur komposisi kimia dari udara sekitar (*ambient*) di tempat peleburan;
7. Blower buatan cina merk *Elektrical* dengan spesifikasi diameter output ( $d_o$ ) 2" , diameter sudu ( $d_s$ ) 5,5" ,putaran motor ( $n$ ) 3000/3600 rpm, tegangan (V) 220 volt, daya motor 30 Watt, arus (i) 1.5 ampere.

#### 2.4. Alur penelitian



Gambar 4. Alur penelitian

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

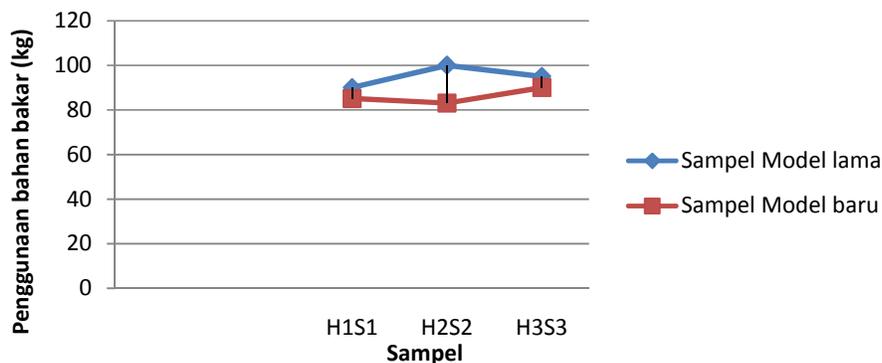
#### 3.1. Hasil karakteristik model injektor yang baru

Tabel 1. Karakteristik model injektor

Karakteristik	Besaran	Satuan
Diameter keluaran udara dari <i>blower</i> (sesuai spesifikasi) $d_0$	0,051	m
Diameter masuknya udara dari <i>blower</i> ke injektor $d_1$ (sesuai spesifikasi)	0,051	m
Diameter masuknya udara pada bagian konvergen $d_2$ (direncanakan)	0,04	m
Diameter keluarnya udara pada daerah divergen $d_3$ menuju ruang bakar (direncanakan)	0,08	m
Luas laluan udara dari <i>blower</i> ( $A_0$ ), persamaan (1)	0,002	m <sup>2</sup>
Luas laluan udara masuk injektor ( $A_1$ )	0,002	m <sup>2</sup>
Angka Mach masuk laluan injektor ( $Ma_1$ )	1	
Tekanan udara dari <i>blower</i> ( $p_1$ ), persamaan (2)	0,910	N/m <sup>2</sup>
Luas laluan udara pada bagian konvergen ( $A_2$ )	0,001	m <sup>2</sup>
Angka Mach masuk laluan injektor ( $Ma_2$ )	0,620	
Tekanan pada laluan konvergen ( $p_2$ ), persamaan (3)	1,301	N/m <sup>2</sup>
Luas laluan udara pada bagian divergen ( $A_3$ )	0,005	m <sup>2</sup>
Angka Mach masuk laluan injektor ( $Ma_2$ )	4	
Tekanan pada laluan divergen ( $p_3$ ), persamaan (4)	0,009	N/m <sup>2</sup>

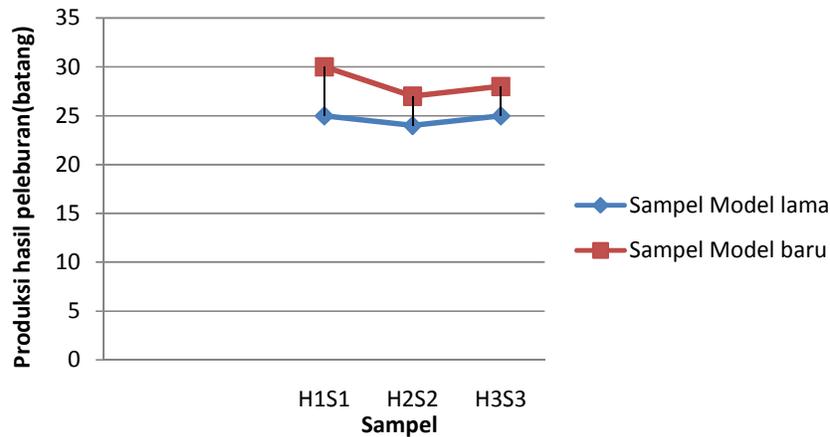
Berdasarkan persamaan dengan analisa secara termodinamika didapat karakteristik untuk profil injektor hasil redesain yang digunakan dalam proses peleburan paduan perunggu seperti pada Tabel 1. Setelah diaplikasikan pada proses peleburan hasil studi dapat diperlihatkan pada kinerja proses produksi.

#### Kinerja dalam proses produksi



Gambar 4. Penggunaan bahan bakar

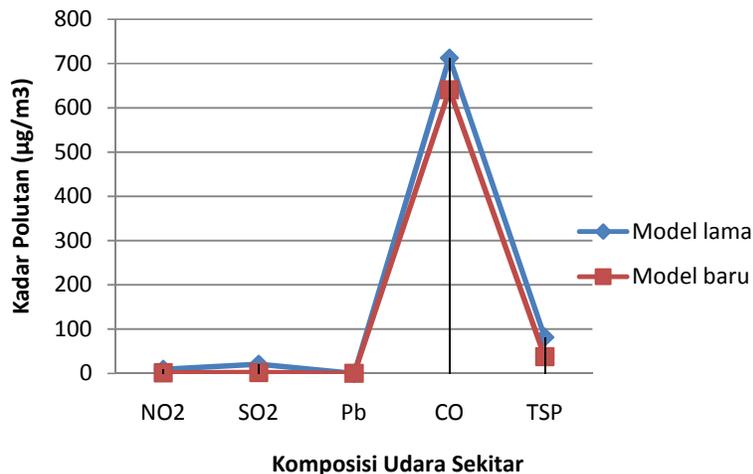
Gambar 4, menunjukkan penggunaan bahan bakar (kg) dalam proses peleburan, dimana data didapat melalui pengukuran bahan bakar yang dihabiskan pada hari 1 dan sampel 1 (H1S1), hari 2 dan sampel 2 (H2S2) serta hari 3 dan sampel 3 (H3S3) pengukuran dilakukan dalam waktu 4 jam/hari. Grafik diatas menunjukkan model redesain injektor udara pembakaran yang baru, dimana penggunaan bahan bakar reratanya 86 kg lebih sedikit dari model injektor yang lama dengan rerata sebanyak 95 kg.



Gambar 5. Produksi hasil peleburan

Gambar 5, menunjukkan banyaknya produksi hasil peleburan (batang), dimana data didapat melalui perhitungan jumlah batang yang dihasilkan pada hari 1 dan sampel 1 (H1S1), hari 2 dan sampel 2 (H2S2) serta hari 3 dan sampel 3 (H3S3) pengukuran dilakukan dalam waktu 4 jam/hari. Grafik diatas menunjukkan model redesain injektor udara pembakaran yang baru memberikan hasil peleburan lebih banyak dengan rerata 28,33 batang, sedangkan model yang lama dengan rerata 24,67 batang.

#### Kadar polutan



Gambar 6. Kadar polutan pada udara sekitar

Gambar 6 menunjukkan kadar polutan yang dikandung udara sekitar tempat kerja yang diukur berdasarkan komposisi kimia. Pengukuran dilakukan dengan menangkap komposisi udara sekitar tempat kerja dengan menggunakan epingerzet. Hasil analisis untuk kadar Nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) menggunakan metode Saltzman hasilnya model lama 9,534 µg/m<sup>3</sup>, model baru 1,344 µg/m<sup>3</sup> dengan baku mutu 400 µg/m<sup>3</sup>. Sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) dengan metode Pararosanilin Ditizon hasilnya model lama 21,111 µg/m<sup>3</sup>, model baru 1,898 µg/m<sup>3</sup> dengan baku mutu 900 µg/m<sup>3</sup>. Timah Hitam (Pb) dengan metode Ekstraktoin Yodium hasilnya model lama 0,174 µg/m<sup>3</sup>, model baru 0,174 µg/m<sup>3</sup> dengan baku mutu 2 µg/m<sup>3</sup>. Karbon Monoksida (CO) dengan metode Pentoksida hasilnya model lama 712,22 µg/m<sup>3</sup>, model baru 640 µg/m<sup>3</sup> dengan baku mutu 30000 µg/m<sup>3</sup>. Debu Total (TSP) dengan metode Gravimetri hasilnya model lama 81,68 µg/m<sup>3</sup>, model baru 37,778 µg/m<sup>3</sup> dengan baku mutu 230 µg/m<sup>3</sup>.

### 3.2. Pembahasan

Berdasarkan hasil studi terhadap redesain injektor dapat memberikan penurunan penggunaan bahan bakar arang sebesar 10,47 % sesuai Grafik 1, hal ini terjadi karena aliran udara lebih merata pada bahan bakar arang (biomassa) sehingga menyebabkan pembakaran menjadi lebih sempurna. Kesempurnaan dari proses pembakaran menyebabkan waktu peleburan menjadi lebih cepat sehingga dalam rentang waktu 4 jam/hari (sesuai waktu pengambilan data) dapat meningkatkan kapasitas produksi sesuai dengan Grafik 2. Pernyataan ini didukung oleh penelitian mengenai pemberian udara lebih (*exces air*) dalam proses pembakaran dengan bahan bakar biomassa yang menyebabkan pengeringan yang dilakukan menjadi lebih cepat serta dapat meningkatkan kapasitas produksi [6], [7]. Grafik 3 menggambarkan redesain yang dilakukan dapat mengurangi kadar polutan, hal ini dapat dilihat dari komposisi kandungan kimia dari polutan yang mengalami penurunan. Hasil penelitian ini juga didukung oleh peneliti lain yang menyatakan bahwa memberikan udara yang cukup pada proses pembakaran dengan bahan bakar arang (*biomassa*) menyebabkan pembakaran bahan bakar menjadi lebih sempurna sehingga dapat mengurangi polutan pada udara sekitar (*ambient air*) akibat hasil pembakaran bahan bakar [8], [9], [10], [11].

### 4. SIMPULAN

Redesain injektor udara pembakaran yang dilakukan pada proses peleburan perunggu memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kesempurnaan proses pembakaran bahan bakar sehingga dapat meningkatkan energi hasil pembakaran. Proses peleburan menjadi lebih cepat dan secara ekonomi dapat menurunkan biaya yang dikeluarkan perajin terutama dalam penggunaan bahan bakar serta memberikan manfaat terhadap peningkatan produktivitas. Dalam proses pembakaran bahan bakar dimana redesain yang dilakukan memberikan pengaruh pada penurunan kadar polutan yang dikandung udara sekitar (*ambient air*).

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mantra, IB. 1996. *Landasan Kebudayaan Bali*, Denpasar. Yayasan Dharma Sastra.
- [2] Surdia, T dan Chijiwa, K. 1996, *Teknik Pengecoran Logam*, edisi ketujuh, Pradnya Pramita, Jakarta
- [3] Priambadi, I.G.N. 2012. Perbaikan Kondisi Kerja Peleburan Paduan Perunggu Meningkatkan Kinerja Perajin Gamelan Bali di Desa Tihingan Klungkung. *Disertasi*. Ergonomi-Fisiologi Kerja Program Pascasarjana Universitas Udayana.
- [4] Irving, H.S. 2003. *Mechanical of Fluids*. Fourth Edition. McGraw-Hill Higher Education. New York.
- [5] Saad, M. A. 1992. *Compressible Fluid Flow*, 2d ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- [6] Bello, S.R and Adegbulugbe, T.A. 2010. Comparative Utilization of Charcoal, Sawdust and Ricehusk as Fuel in Heating biomass furnace-dryer *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development*. Manuscript 1592, Volume XII.
- [7] Richard, C Matzen. 1991. Gas Furnaces and Indoor Air Quality. *ASHI Technical Journal* Vol .1 No. 2.
- [8] Arijit, B and Pinakeswar, M. 2013. Design and Experimental Analysis of Furnace for The Production of Bamboo Charcoal. *International Journal of Mechanical and Industrial Engineering (IJMIE)* ISSN No. 2231-6477, Vol-3, Iss-1.
- [9] Tippayawong, T., Tanyakitti, C and Thavornun, S. 2005. Investigation of Lignite and Firewood Co-combustion in a Furnace for Tobacco Curing Application. *Asian Journal on Energy and Environment* ISSN 1513-4121.
- [10] Jun Li, Xiaolei Zhang, Weihong Yang, Wlodzimierz Blasiak. 2013. Effect of Flue Gas Internal Recirculation on NO<sub>x</sub> and SO<sub>x</sub> Emissions in a Co-Firing Boiler. *International Journal of Clean Coal and Energy*, 2, 13-21.
- [11] Roy, M.M; Corscadden, K.W. 2012.. An experimental study of combustion and emissions of biomass briquettes in a domestic wood stove. *Applied Energy* 99 (2012) 206–212 journal homepage: [www.elsevier.com/locate/apenergy](http://www.elsevier.com/locate/apenergy)