

Aplikasi *Multichart Diagram* Dalam Desain Dan Manufaktur Tungku Pengecoran Kuningan (CuZn_5) Menggunakan Bahan Bakar Briket Batubara Kalori Rendah

Diah Kusuma Pratiwi^{1)*}

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Sriwijaya, Palembang-Indonesia
Kampus Unsri Indralaya, km 32 Indralaya (30662)
pratiwi.diahkusuma@yahoo.com

Abstrak

Sejak semakin mahalnya harga minyak bumi, sebagian besar industri kecil pengecoran logam tidak dapat bertahan karena biaya produksi yang semakin tinggi. Oleh karena itu dicari bahan bakar alternatif yang dapat menggantikan minyak dan gas dengan aman dan murah. Indonesia kaya akan batubara yang dalam pasar domestik dijual dalam bentuk briket batubara kalori rendah, oleh karena itu dilakukan desain untuk membuat tungku dengan bahan bakar ini. Proses desain dilakukan dengan mulai menghitung kalor yang dibutuhkan untuk melebur logam, dalam hal ini logam yang akan dilebur adalah kuningan (CuZn_5). Selanjutnya dilakukan pemilihan material refraktori untuk tungku yang dapat meminimalisir *heat loss*. Desain tungku pengecoran ini dilakukan dengan menggunakan *Multichart Diagram* untuk efisiensi 40 % dan kapasitas 150 kg kuningan. Hasil Uji coba pengecoran di lapangan ternyata efisiensi tungku adalah 42%, lama peleburan 3,5 jam.

Kata kunci: Tungku pengecoran kuningan, briket batubara kalori rendah, *multichart diagram*

Abstract

Since the increasingly price of oil fuel, mostly small foundry industry can not survive due to the higher production costs. Therefore searching for alternative fuels that can replace oil and gas safely and inexpensively is promoted. Indonesia is rich in coal. In domestic market is sold in the form of low-grade coal briquettes, therefore, is carried out the design to make furnace from this fuel. The design process is done by beginning to calculate the heat needed to melt this alloy, in this case the metal to be melted is brass (CuZn_5). Furthermore, the material selection for refractory furnace to minimize heat loss. This casting is done by using *Multichart Diagram* for 40% efficiency and capacity of 150 kg brass. The test results during experiment obtained that efficiency is 42% in 3.5 hours.

Keywords: Furnace casting brass, low grade coal briquettes, multichart diagram

1. PENDAHULUAN

Briket batubara non karbonisasi yang beredar mempunyai nilai kalor 4000 s/d 6000 kCal/kg. Pada mulanya briket ini diproduksi untuk dijadikan bahan bakar di dapur-dapur rumah tangga. Namun briket ini berasap dan berbau, sulit dinyalakan, dan bila telah nyala maka sulit untuk dipadamkan. Oleh karena itu briket batubara tidak cocok untuk bahan bakar di rumah tangga. Sehingga timbul ide untuk menggunakannya untuk bahan bakar di industri pengecoran logam. Jenis briket batubara yang dibunakan pada penelitian ini adalah tipe telur seperti yang ditampilkan pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Briket batubara non karbonisasi type telur [1]

* Penulis korespondensi, tlp: 0711-580272
Email: pratiwi.diahkusuma@yahoo.com

Bahan baku untuk membuat briket batubara non karbonisasi adalah : 82% batubara, 13.5 % tanah liat, 4 % tapioka, 0.5 % air(uap) [2]. Komposisi kimia briket adalah komposisi batubara ditambah dengan abu yang berasal dari tanah liat dan uap air. Unsur-unsur yang dikandung dalam briket adalah : C, H, O, S, N, uap air, dan karbon. Sedangkan oksida-oksida yang terkandung didalam tanah liat akan tetap berada dalam kandungan abu sisa pembakaran. Komposisi briket batubara ditampilkan pada Tabel 1 berikut ini

Tabel 1 Komposisi briket non karbonisasi [2]

Parameter	Total moisture (ar)	Inherent moisture (adb)	Ash content (adb)	Volatile matter (adb)	Fixed carbon (adb)	Total sulphur (adb)
Komposisi (%)	20.84	10.75	17.34	35.36	38.55	0.87
Gross Caloric Value (adb) kCal/kg						5320

Masing-masing unsur yang dikandung dalam briket akan bereaksi dengan oksigen dari udara selama proses reaksi pembakaran berlangsung. Kalor yang dilepaskan pada saat pembakaran briket batubara sebenarnya adalah merupakan energi yang dilepas oleh reaksi eksotermis pada reaksi antara C, S, H, dengan oksigen.

Selanjutnya dalam mendesain suatu produk, termasuk tungku pengecoran logam, perlu di lakukan *maximized* atau *minimized* yang disebut dengan *objective function*. Pada thermal system, *objective function* dapat dilakukan terhadap :

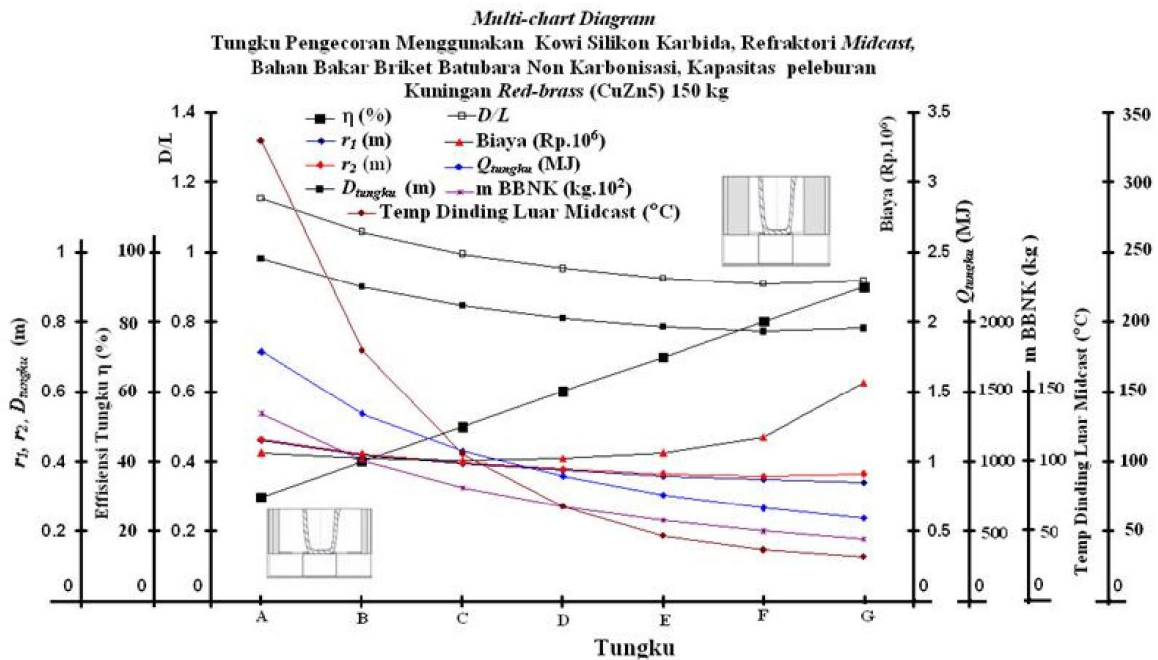
1. Berat
2. Ukuran dimensi
3. Performance system
4. Laju pemakaian energi
5. Laju kehilangan kalor
6. Effisiensi
7. Biaya

Oleh karena itu, dilakukan desain dan manufaktur tungku pengecoran logam menggunakan bahan bakar briket batubara dengan kriteria desain ditampilkan pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2 Kriteria desain tungku pengecoran kuningan menggunakan kowi silikon karbida berbahan bakar briket batubara non karbonisasi untuk kapasitas 150 kg

Kapasitas peleburan	: 150 kg
Konsumsi bahan bakar	: < 210 kg
Dimensi :	
• Ruang bakar r_1	: < 0.6 m
• Diameter tungku D	: < 1.2 m
Waktu peleburan	: < 4 jam
Temperatur yang akan dicapai	: 1200 °C
Laju peleburan	: 37.5 kg/jam

Effisiensi maksimum tungku pengecoran logam yang menggunakan krus atau kowi untuk kapasitas 20 kg adalah 20 %, sedangkan untuk kapasitas dibawah 1000 kg adalah 40 % dan untuk kapasitas di bawah 10000 kg adalah 60 % [3]. Kapasitas desain pengecoran logam pada penelitian ini adalah 150 kg, maka effisiensi yang dipilih pada Gambar 2 adalah 40%, berarti tungku yang didesain adalah tipe B dengan diameter luar 0,9 m, rasio diameter terhadap tinggi tungku (D/L) adalah 1,1. Jari-jari tungku bagian dalam semen tahan api adalah 0,4 m. Kalor yang dibutuhkan untuk mencairkan adalah 1250 MJ dan memerlukan briket batubara sebagai bahan bakar sebanyak 150 kg.



Gambar 2 Multi Chart Diagram Tungku Pengecoran Kuningan Menggunakan Kowi Silikon Karbida dan Bahan Bakar Briket Batubara Non Karbonisasi Kapasitas 150 kg [1].

Sehingga dapat dibuat tungku pengecoran dengan beberapa penyesuaian ukuran berikut ini:

- Kowi yang digunakan : silikon karbida
 - Tinggi Kowi : 452 mm
 - Diameter atas kowi : 262 mm
 - Diameter bawah : 250 mm
 - kowi
 - Tebal kowi : 15 mm
- Kapasitas pengecoran : 150 kg kuningan
- Material refraktori : bata tahan api
- Diameter tungku : 1000 mm
- Tinggi total tungku : 1052 mm
- Bahan bakar : briket batubara non karbonisasi
- Lokasi : Industri Pengecoran Uang Kepeng, Kabupaten Klungkung-Bali

Kajian analitis dilakukan untuk mendesain tungku dengan menggunakan kowi dari bahan silicon karbida untuk kapasitas pengecoran 150 kg paduan tembaga, yaitu kuningan CuZn₅ seperti yang ditampilkan pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3 Tungku pengecoran kuningan berbahan bakar briket batubara non karbonisasi menggunakan kowi silikon karbida berkapasitas 150 kg

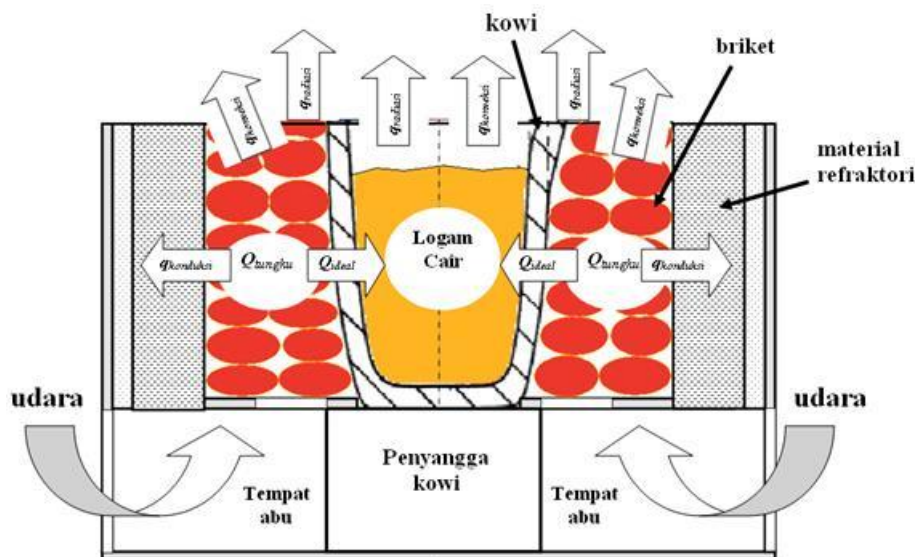
Penelitian yang telah dilakukan adalah dengan menggunakan optimasi desain, dimana dilakukan kajian secara analitis yang digabung dengan metode *losses management* [1].

2. METODE

Pada proses pengecoran logam terdapat tiga hal yang saling berkaitan, yaitu : waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur tuang, jumlah pemakaian bahan bakar yang digunakan, dan efisiensi tungku peleburan yang diinginkan. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur tuang logam tergantung kepada laju pemberian kalor yang diberikan oleh bahan bakar melalui dinding kowi kepada logam yang masih dalam bentuk skrap didalamnya. Sedangkan laju pemindahan kalor ini tidak hanya tergantung pada jenis kowi yang digunakan, tetapi terutama pada laju reaksi pembakaran bahan bakar dan suplai udara yang dimasukkan kedalam ruang bakar. Hal inilah akan menentukan banyak bahan bakar yang dibutuhkan untuk melebur logam tiap kali proses pengecoran. Selain itu, jumlah kalor yang diterima oleh kowi untuk melebur logam tergantung pada berapa besar kehilangan kalor yang tergantung kepada desain tungku.

Kebutuhan kalor untuk memanasi skrap logam dalam fase padat adalah : jumlah kalor sensibel untuk menaikkan temperatur dari temperatur ruang hingga temperatur cair. Sedangkan kalor yang dibutuhkan untuk mencairkan logam adalah kalor laten pada temperatur cair logam [4]. Sedangkan waktu yang dibutuhkan untuk melebur logam, dihitung mulai saat skrap logam dalam keadaan padat hingga logam dapat dituang kedalam cetakan. Perpindahan kalor yang terjadi dari nyala briket batubara sebagai sumber energi kalor kelingkungannya adalah dengan cara radiasi, konveksi dan konduksi. Perpindahan kalor secara konduksi tergantung kepada temperatur gas dan nyala briket batubara yang bersentuhan dengan permukaan kowi bagian luar. Sedangkan perpindahan kalor dengan cara radiasi tergantung pada emisivitas, luas permukaan, dan temperatur permukaan yang menerima panas. Sedangkan bentuk permukaan merupakan faktor geometry yang berpengaruh terhadap besar perpindahan kalor yang terjadi karena adanya perubahan sudut pancar radiasi [5].

Komposisi abu briket sebesar 14 % adalah berasal dari abu yang dikandung oleh batubara juga dari tanah liat yang sengaja ditambahkan pada proses pembuatan. Tanah liat ini ditambahkan dengan tujuan untuk menambah kekuatan tekan dan kekompakan butiran briket. Sedangkan komposisi uap air hingga 17 % berasal dari uap air yang dikandung oleh batubara dan uap air yang ditambahkan pada saat proses pembuatan untuk mengikat tanah liat dan serbuk batubara. Pada Gambar 4. ditampilkan sketsa siklus thermal tungku pengecoran kuningin berbahan bakar briket batubara non karbonisasi.



Gambar 4 Sketsa siklus thermal pada tungku pengecoran logam yang menggunakan bahan bakar briket [1]

Berat briket yang dibutuhkan untuk menghasilkan kalor yang diperlukan untuk melebur logam dari temperatur kamar ketemperatur tuangnya adalah :

$$m_{briket} = \frac{\Delta H_{tot}}{Q_{briket}} \quad (1)$$

Untuk dapat melebur logam, kalor dari hasil pembakaran briket terlebih dahulu digunakan untuk memanasi kowi . Besar kalor untuk memanasi kowi ini tergantung pada jenis dan dimensi kowi yang digunakan. Oleh karena itu, kalor ideal yang harus disediakan dari pembakaran briket batubara non karbonisasi adalah jumlah kalor yang dibutuhkan untuk melebur logam dan kalor untuk memanasi kowi (Q_{ideal}).

$$Q_{ideal} = \Delta H_{tot} + Q_{kw} \quad (2)$$

Sehingga efisiensi tungku adalah :

$$\eta = \frac{Q_{ideal}}{Q_{tungku}} \quad (3)$$

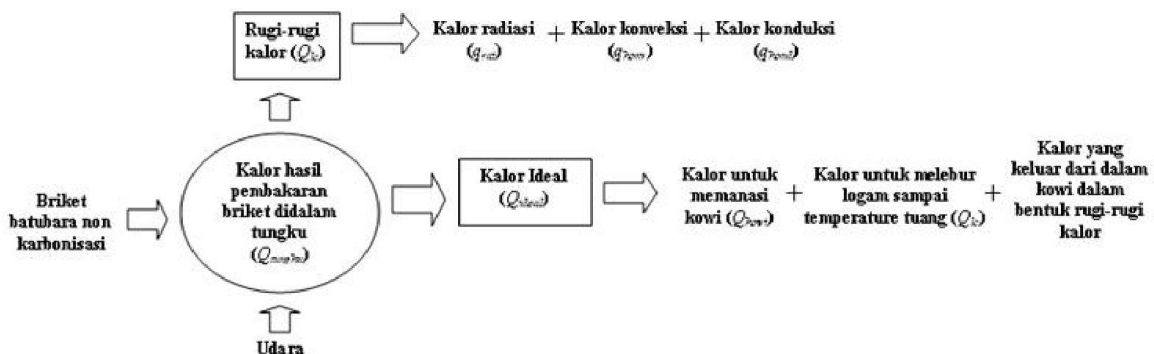
Berikut ini, hal-hal yang mempengaruhi pembakaran briket adalah [6]:

1. Reaksi pembakaran dan pelepasan kalor memerlukan waktu dan merupakan proses reaksi kimia yang berantai
2. Oksigen yang bereaksi dengan briket sebagai bahan bakar harus mampu menembus lapisan gas buang dan lapisan abu dipermukaan briket. Sehingga semakin sedikit oksigen yang dapat bereaksi dengan bahan bakar dan semakin kecil jumlah kalor yang dapat dilepaskan dari hasil reaksi pembakaran.
3. Tidak semua kalor yang dihasil dari proses pembakaran dapat digunakan untuk melebur paduan tembaga, karena sebagian besar akan hilang dalam bentuk rugi-rugi kalor pada ruang bakar dan pada kowi.

Tahapan reaksi yang terjadi pada briket adalah :penguapan uap air, pembakaran hidro karbon dalam bentuk *volatile matter*, kemudian pembakaran karbon yang terdapat dalam briket. Kecepatan reaksi tersebut diatas tergantung pada jumlah oksigen yang dapat ikut serta dalam reaksi pembakaran. Oleh karena itu jumlah dan kecepatan udara masuk sangat menentukan jumlah kalor yang dapat dilepaskan dan temperatur bara maksimum yang dapat dicapai.

Kalor ideal yang harus disediakan dari pembakaran briket untuk dapat melebur logam kuningan (m_{lc}) adalah jumlah kalor untuk melebur kuningan hingga temperatur tuangnya dan kalor yang dibutuhkan untuk memanasi dinding kowi dari luar ditambah dengan kalor yang hilang kelingkungan akibat adanya rugi-rugi kalor (Q_L). Kalor yang hilang kelingkungan ini adalah kalor yang akan menembus lapisan refraktori dinding tungku menuju keluar dinding. Besarnya kalor yang hilang ke lingkungan ini tergantung kepada tingkat efisiensi tungku. Oleh karena itu, Q_{ideal} adalah kalor net dari kalor yang dihasilkan oleh pembakaran briket dikurang dengan rugi-rugi thermal Q_L . Pada Gambar 5. ditunjukan sketsa ruang bakar tungku dimana kalor yang dihasilkan dari pembakaran briket Q_{tungku} sebagian akan digunakan untuk proses peleburan logam dan memanasi kowi dan sebagian lagi akan menembus dinding tungku dalam bentuk rugi-rugi kalor. Sehingga

$$\frac{Q_L}{Q_{ideal}} = \frac{1 - \eta}{\eta} \quad (4)$$



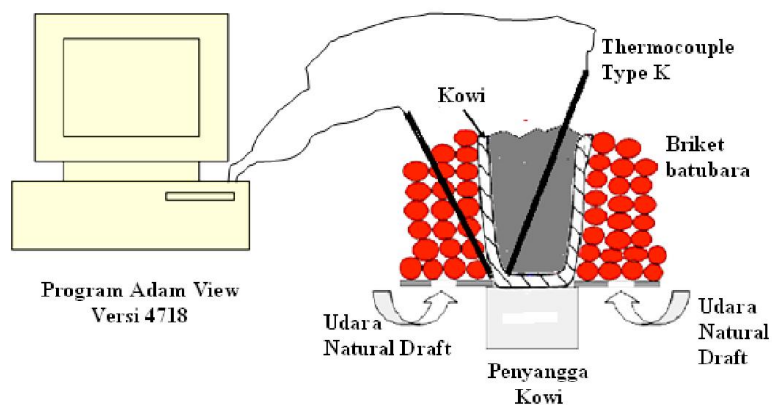
Gambar 5. Siklus pemanasan didalam tungku pengecoran logam menggunakan bahan bakar briket batubara non karbonisasi [1]

Kecepatan perpindahan kalor yang diterima oleh skrap kuning dalam kowi tergantung pada jumlah kalor yang dilepaskan dari hasil reaksi pembakaran, temperatur maksimum bara yang dicapai, dan kestabilan reaksi kimia pembakaran yang terjadi dalam ruang bakar. Pada Gambar 5 dibawah ini ditampilkan siklus pemanasan dan rugi-rugi yang terjadi selama pembakaran dan pengecoran dilaksanakan.

Berdasarkan Gambar 5, maka dapat diketahui bahwa rugi-rugi yang terjadi sangat besar dengan cara konduksi, konveksi, dan radiasi. Oleh karena itu harus dilakukan *losses management* dimana rugi-rugi yang terjadi diminimalisir sehingga semakin banyak kalor yang dapat digunakan untuk mencairkan logam

2.1 Uji Coba Pengecoran

Kajian terhadap performance tungku dilakukan dengan membandingkan kondisi real tungku dengan kondisi ideal hasil perhitungan analitis. Selanjutnya hasil perhitungan terhadap kalor yang dihasilkan dari pembakaran briket batubara dalam ruang bakar (Q tungku). Metode pengujian ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Metode pengujian pembakaran natural draft briket batubara non karbonisasi untuk tungku pengecoran logam

Kajian eksperimental dilakukan untuk pembakaran natural draft dan pembakaran gabungan antara udara berkecepatan dengan menggunakan blower dan udara natural draft dari udara ambient pada prototip tungku pengecoran paduan tembaga berbahan bakar briket batubara non karbonisasi. Perubahan temperatur diukur dengan menggunakan thermokopel type K yang dipasang pada dinding bagian dalam dan pada dinding bagian luar kowi. Perubahan temperatur yang diukur oleh thermocouple dibaca dengan menggunakan program ADAM VIEW versi 4718. Kecepatan aliran udara natural draft yang masuk dari lubang di bagian bawah tungku dan kecepatan aliran udara bertekanan yang berasal dari blower diukur dengan menggunakan *Hot Wire Anemometer*. Ternyata kecepatan udara natural draft rata-rata adalah 0.005 m/detik. Sedangkan kecepatan udara dari blower rata-rata adalah 9 m/s. Udara lingkungan yang digunakan adalah pada komposisi oksigen 21% dan sisanya 79% adalah nitrogen.

Uji coba pengecoran ini dilakukan sbb :

- Berat skrap : 60 kg
- Waktu lebur : 195 menit
- Waktu tuang : 235 menit
- Jumlah bahan bakar : 100 kg

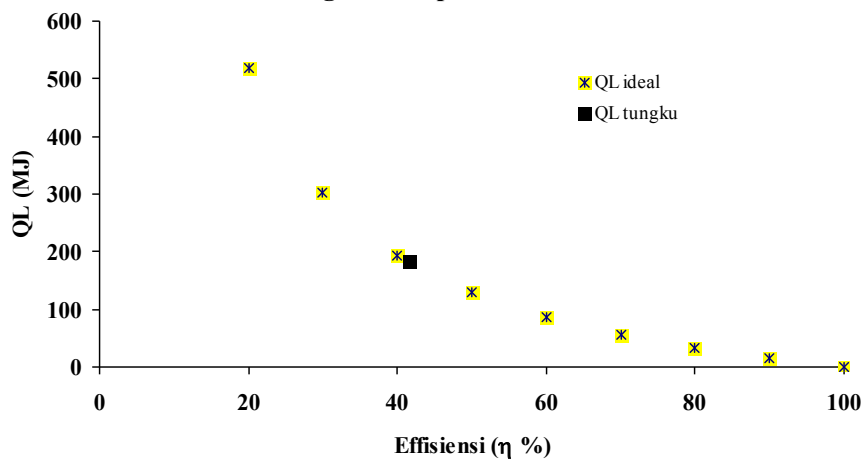
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian pengecoran didapatkan performance tungku yang ditampilkan pada Tabel 3. Rasio antara rugi-rugi kalor yang terjadi terhadap volume ruang bakarnya sebesar 200 (MJ) pada efisiensi tungku sebesar 41.4839 % terhadap kondisi idealnya hasil kajian analitis ditampilkan pada Gambar 7.

Tabel 1. Performance prototype tungku pengecoran kuningan berbahan bakar briket batubara non karbonisasi menggunakan kowi silikon karbida berkapasitas 150 kg

Item	Nilai	Satuan
Briket	100	kg
Q tungku	312.3389	MJ
Q ideal	129.5704	MJ
QL	182.7685	MJ
η tungku	41.4839	%
Laju peleburan	0.342857	kg/menit
Kalor untuk melebur	41.39565	MJ

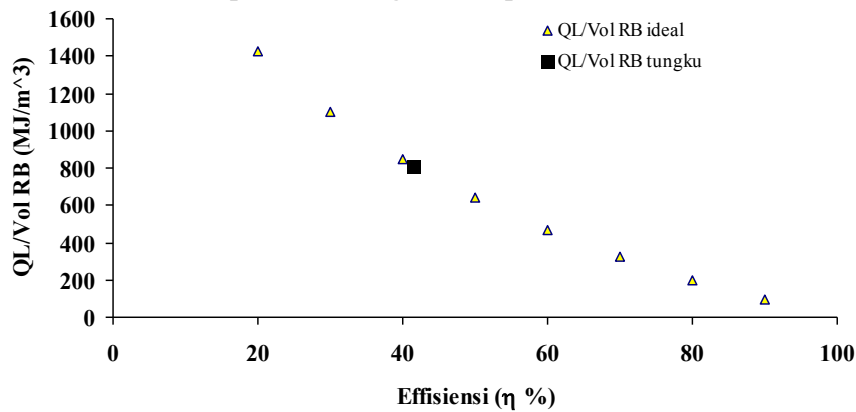
QL (MJ) vs η tungku (%) kowi silikon karbida kapasitas 150 kg terhadap kondisi ideal



Gambar 7 Perbandingan rugi-rugi kalor yang terjadi pada prototype tungku pengecoran kuningan berbahan bakar briket batubara non karbonisasi terhadap kondisi idealnya

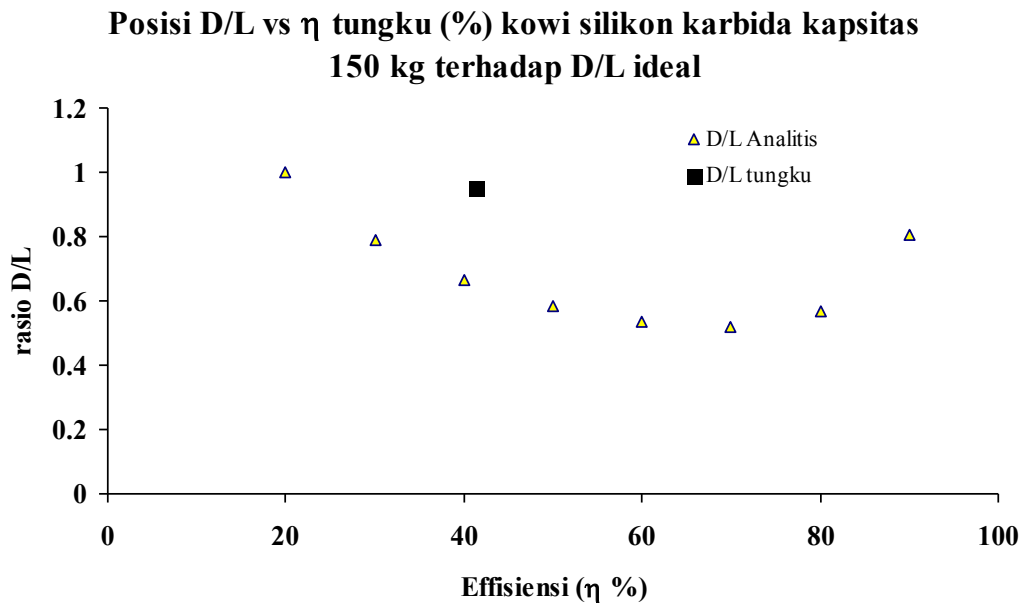
Rasio antara rugi-rugi kalor yang terjadi terhadap volume ruang bakarnya sebesar 806.166 (MJ.m³) pada efisiensi tungku sebesar 41.4839 % terhadap kondisi idealnya hasil kajian analitis ditampilkan pada Gambar 8 berikut ini

QL/Vol RB vs η tungku kowi silikon karbida kapasitas 150 kg terhadap kondisi ideal



Gambar 8 Perbandingan rasio antara QL/Vol RB vs η tungku (%) terhadap kondisi idealnya untuk tungku memakai kowi silikon karbida berkapasitas 150 kg

Rasio antara diameter tungku terhadap tingginya adalah 0.95057 pada efisiensi tungku 41.4839 % terhadap kondisi idealnya ditampilkan pada grafik yang ditunjukkan pada Gambar 9 berikut ini



Gambar 9 Perbandingan D/L vs η tungku terhadap kondisi idealnya

Pada Gambar 7,8,9 diatas, tampak bahwa performance tungku yang dihasilkan dari penelitian ini berada dalam area yang sudah diprediksi dalam kajian analitis sebelumnya.

4. SIMPULAN

Berdasarkan uji coba pengecoran kuningan yang telah dilakukan diatas maka dapat dikatakan bahwa aplikasi desain tungku pengecoran kuningan berbahan bakar briket batubara non karbonisasi menggunakan kowi silikon karbida kapasitas 150 kg adalah sebagai berikut:

- Mampu mencairkan kuningan sebagaimana bahan bakar minyak bumi
- Performance tungku berada dalam area yang telah diprediksi pada kajian analitis yang ditampilkan dalam *multichart diagram*
- Layak menggantikan ungu pengecoran yang menggunakan minyak bumi

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pratiwi DK, *Perancangan Tungku Pengecoran Kuningan Menggunakan Bahan Bakar Briket Batubara Non Karbonisasi : Optimasi Teoritis Dan Eksperimental*, Disertasi, FT UI: 171, 2011.
- [2] Pabrik Briket Batubara PTBA Natar, 18 Pebruari, 2010
- [3] Krivandin, V.A., Markov, B.L., *'Metallurgical Furnace'*, Mir Publisher, Moscow, 1980
- [4] Altun, NE., Hicyilmaz, C., Bagci, AS. 2003, "*Combustion Characteristics of Coal Briquette 1. Thermal Feature*", International Journal ACS, , p. 1266-1276
- [5] Frank P. Incropera, David P. DeWitt, "*Fundamentals of Heat and Mass Transfer*", John Willey & Sons, Singapore, 2002