

# Briket Batubara Sebagai Bahan Bakar Pada Pengecoran Logam

*by* Diah Kusuma Pratiwi

---

**Submission date:** 03-Feb-2021 10:08PM (UTC+0700)

**Submission ID:** 1500705993

**File name:** Buku\_Briket\_lengkap\_untuk\_dicetak.pdf (2.45M)

**Word count:** 20585

**Character count:** 116302

**BRIKET BATUBARA**  
Sebagai Bahan Bakar Pada  
Pengecoran Logam

Oleh:  
**Diah Kusuma Pratiwi**  
**Alfitri**  
**Rochmawaty Daud**

**PENERBIT UNSRI**  
**2015**

**BRIKET BATUBARA:**

**Sebagai Bahan Bakar Pengecoran Logam**

© Dr. Ir. Diah Kusuma Pratiwi, MT [pratiwi.diahkusuma@gmail.com](mailto:pratiwi.diahkusuma@gmail.com).

Prof. Dr. Alfitri MSi [al\\_fitri2002@yahoo.com](mailto:al_fitri2002@yahoo.com)

Hj. Rochmawaty Daud [wati\\_rochma@ymail.com](mailto:wati_rochma@ymail.com)

Editor: Ellyanie ST, MT [elly\\_unsri@yahoo.com](mailto:elly_unsri@yahoo.com)

UPT. Penerbit dan Percetakan

Universitas Sriwijaya 2015

Kampus Unsri Palembang

Jalan Srijaya Negara, Bukit Besar Palembang, 30139

Telp. 0711-360969

email: [unsri.press@yahoo.com](mailto:unsri.press@yahoo.com), [penerbitunsri@gmail.com](mailto:penerbitunsri@gmail.com)

website: [www.unsri.unsripress.ac.id](http://www.unsri.unsripress.ac.id)

Setting, layout isi & Cover: Maryati

Cetakan pertama, Desember 2015

xiv+135 hal; 14,8 x 21 cm

Hak Cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit

ISBN 978-602-73889-0-1



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur di panjatkan ke haderat Tuhan YME karena berkat ridhoNya dan rahmatNya jua maka buku ini dapat disiapkan dan diterbitkan.

Buku ini ditulis dan diterbitkan sebagai output dari penelitian Hibah Bersaing Multi Tahun namun bahan tulisan ini juga merupakan kajian dari banyak buku dan penelitian mandiri yang telah dilakukan penulis dalam waktu yang cukup lama.

Pada terbitan pertama Tahun 2015 ini, banyak pihak yang telah terlibat secara langsung dan tidak langsung. Sebagai ketua Tim, kami menyampaikan ucapan amat terimakasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada bapak Prof. Dr. Alfitri MSi, dan ibu Hj. Rochmawati Daud SE, AK, MSc atas dukungan dan kerjasama yang baik selama ini. Selanjutnya kami mengucapkan amat terimakasih kepada Dikti dan UNSRI yang telah membantu melalui dana Hibah Bersaing Multi tahun, sehingga penelitian ini dapat dikerjakan dan buku ini dapat diterbitkan. Kami juga mengucapkan amat terimakasih kepada PT. Bukit Asam (Persero) Tbk. yang telah memberikan dukungan yang sangat besar dalam penelitian ini. Selanjutnya ucapan amat terimakasih disampaikan kepada Prof. Tresna Priyana Soemardi, Prof. Raldi Artono Koestoer, Prof. Julianto SN, atas arahan, bimbingan dan masukan yang sangat berarti pada penelitian kami selama ini. Ucapan terimakasih disampaikan juga kepada Sdri. Ana Yuliana atas bantuannya dalam pengetikan dan editing, dan terutama kepada Sdri. Ellyanie ST, MT yang telah berkenan sebagai Editorial Board.

Buku ini adalah terbitan pertama dan masih sangat jauh dari sempurna, oleh karena itu, semua usulan dan saran yang membangun sangat kami tunggu. Namun demikian, kami berharap kiranya buku ini dapat bermanfaat bagi para peneliti yang relevan dan terutama bagi masyarakat industri kecil pengecoran logam.

Palembang, November 2015

Diah Kusuma Pratiwi

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>III</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>VIII</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>XIII</b>
<b>BAB 1 GAMBARAN UMUM TENTANG BRIKET</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Pendahuluan</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Jenis Briket</b>	<b>3</b>
<b>1.2.1 Briket Batubara Non Karbonisasi</b>	<b>3</b>
<b>1.2.2 Briket Batubara Karbonisasi</b>	<b>5</b>
<b>1.2.3 Briket Bio-Batubara</b>	<b>6</b>
<b>1.3 Proses Pembuatan Briket</b>	<b>7</b>
<b>1.3.1 Pembuatan Briket Batubara non Karbonisasi</b>	<b>7</b>
<b>1.3.2 Proses Pembuatan Briket Batubara Karbonisasi</b>	<b>7</b>
<b>1.4 Briket Bio-Batubara</b>	<b>20</b>
<b>1.4.1 Penggunaan Briket Sebagai Bahan Bakar</b>	<b>21</b>
<b>1.5 Pasokan Bahan Baku Briket Batubara</b>	<b>28</b>
<b>SUMBER PUSTAKA</b>	<b>30</b>
<b>BAB 2 ANALISA THERMAL PEMBAKARAN</b>	<b>31</b>
<b>2.1 Teori Pembakaran</b>	<b>31</b>
<b>2.1.1 Kalor ideal</b>	<b>48</b>
<b>2.1.2 Kalor untuk memanasi kowi</b>	<b>50</b>
<b>2.2 Dimensi ruang bakar</b>	<b>52</b>
<b>2.3 Dimensi lapisan refraktori</b>	<b>55</b>
<b>2.3.1 Semen tahan api mid cast</b>	<b>58</b>
<b>2.3.2 Metallite-1000</b>	<b>59</b>
<b>2.3.3 Kao wool</b>	<b>59</b>
<b>2.4 Analisa thermal</b>	<b>60</b>
<b>2.4.1 Konsep Effisiensi Thermal</b>	<b>60</b>
<b>2.4.2 Analisa Thermal pada ruang bakar</b>	<b>61</b>
<b>2.4.3 Radiasi</b>	<b>62</b>
<b>2.4.4 Konveksi</b>	<b>63</b>
<b>2.4.5 Konduksi</b>	<b>64</b>
<b>2.5 Effisiensi thermal</b>	<b>65</b>

2.6 Manajemen Losses	69
SUMBER PUSTAKA:	69
<b>BAB 3 PERANCANGAN TUNGKU PENGECORAN LOGAM</b>	<b>70</b>
3.1 Arsitektur Tungku	73
3.2 Kriteria Desain	74
3.2.1 Tungku pengecoran logam menggunakan bahan bakar briket batubara	77
3.3 Konsep Desain	78
3.3.1 Langkah desain tungku pengecoran	80
3.3.2 Perhitungan kalor peleburan logam	81
3.3.3 Perhitungan kalor peleburan untuk kuningan yellow-brass (CuZn30)	87
3.4 Parameter Desain	92
3.4.1 Dinding tungku dengan 2 lapis refraktori	93
<b>BAB 4 ANALISA KEEKONOMIAN</b>	<b>99</b>
4.1 Perhitungan harga energi	100
4.2 Analisa Keekonomian	104
4.2.1 Fixed Costs	106
4.2.2 Variable Costs	107
4.3 Pembahasan Keteknisan	107
4.3.1 Pengaruh Jenis Kowi	107
4.3.2 Pengaruh Bahan isolator	108
4.3.3 Alat untuk suplai udara masuk	109
4.4 Perhitungan Biaya Produksi dan Harga	110
4.5 Pembahasan Keekonomian	111
4.5.1 Menggunakan bahan bakar minyak tanah	111
4.5.2 Biaya Proses Menggunakan bahan bakar solar	112
4.5.3 Biaya Proses Menggunakan bahan bakar briket batubara non karbonisasi	113
4.6 Netback value Briket	115
<b>BAB 5 TANGGAPAN MASYARAKAT</b>	<b>117</b>
5.1 Potensi Permintaan Briket Batubara	117
5.1.1 Data	117
5.2 Pengetahuan Responden Tentang Briket Batubara	120

<b>5.3</b>	<b>Inovasi Teknologi tentang Briket Batubara</b>	<b>126</b>
<b>5.4</b>	<b>Adopsi Teknologi Briket Batubara</b>	<b>130</b>
<b>5.5</b>	<b>Sistem Sosial Responden</b>	<b>134</b>
<b>5.6</b>	<b>Bahan Bakar yang Digunakan di Industri Pengecoran</b>	<b>137</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar	1.2	Briket batubara tipe telur karbonisasi	5
Gambar	1.3	Briket bio-batubara tipe kenari non karbonisasi	5
Gambar	1.4	Standar Kualitas Briket Batubara	9
Gambar	1.5	Diagram alir proses pembuatan briket batubara karbonisasi	9
Gambar	1.6	Diagram alir proses pembuatan biobriket	10
Gambar	1.7	Alat penghangat anak ayam menggunakan briket	11
Gambar	1.8	Kompor briket di pesantren dan rumah makan	13
Gambar	1.9	Penyulingan minyak atsiri	14
Gambar	1.10	Pengeringan bata	14
Gambar	1.11	Tungku pengecoran dengan menggunakan energi listrik	15
Gambar	1.12	Tungku pengecoran menggunakan bahan bakar solar	15
Gambar	1.13	Tungku pengecoran berbahan bakar minyak tanah	16
Gambar	1.14	Tungku pengecoran berbahan bakar briket batubara non karbonisasi	16
Gambar	1.15	Lokasi pabrik briket batubara	17
Gambar	1.16	Lokasi Tambang Batubara	18

Gambar 2.1	Fenomena yang terjadi pada reaksi pembakaran pada suatu partikel bahan bakar padat	23
Gambar 2.2	Analogi konsentrasi gas buang dan abu sisa pembakaran pada permukaan briket	23
Gambar 2.3	Tungku pengecoran krus menggunakan bahan bakar batubara atau kokas dengan pembakaran natural draft	28
Gambar 2.5	Tungku pengecoran krus berbahan bakar batubara atau kokas dengan pembakaran menggunakan udara bertekanan dari blower	29
Gambar 2.6	Hubungan antara temperatur dan waktu terhadap perubahan fasa pada logam	30
Gambar 2.7	Sketsa siklus thermal pada tungku pengecoran logam yang menggunakan bahan bakar briket	31
Gambar 2.8	Siklus pemanasan didalam tungku pengecoran logam menggunakan bahan bakar briket batubara non karbonisasi	32
Gambar 2.9	Sketsa arah aliran kalor didalam ruang bakar	37
Gambar 2.10	Kowi baja	38
Gambar 2.11	Dimensi kowi silikon karbida dan kowi grafit	40
Gambar 2.12	Perpindahan kalor yang terjadi pada lapisan refraktori dinding tungku	43

Gambar	2.13	Sankey diagram pada tungku pengecoran kuningan	49
Gambar	2.14	Perbandingan antara rugi-rugi dan efisiensi thermal yang terjadi pada kondisi ruang bakar dibuka (a) kowi kosong dibuka (b) kowi penuh pasir dibuka	52
Gambar	2.15	Perbandingan rugi-rugi dan efisiensi thermal pada kondisi ruang bakar ditutup (a) kowi kosong dibuka (b) kowi penuh dibuka	53
Gambar	2.16	Perbandingan antara rugi-rugi dan efisiensi thermal yang terjadi pada kondisi ruang bakar ditutup (a) kowi kosong ditutup (b) kowi penuh pasir dtutup	53
Gambar	3.1	Skema hubungan antara bentuk, fungsi, dan ketergantungan antara material dan cara produksi	58
Gambar	3.2	Kowi Baja $D_o = 203$ mm kapasitas peleburan 150 kg kuningan	60
Gambar	3.3	Kowi Baja $D_o = 267$ mm kapasitas peleburan 150 kg kuningan	60
Gambar	3.4	Kowi Silicon Karbida kapasitas peleburan 150 kg kuningan	61
Gambar	3.5	kowi grafit kapasitas peleburan 150 kg kuningan.	61
Gambar	3.6	Prosedur untuk memulai langkah untuk awal desain	64
Gambar	3.7	Tahapan perhitungan untuk kalor yang dibutuhkan untuk melebur kuningan <i>red-brass</i> ( $CuZn5$ ) berdasarkan perubahan fasa nya	67

Gambar 3.8	Tahapan perhitungan untuk kalor yang dibutuhkan untuk melebur kuningan <i>yellow-brass</i> ( $CuZn30$ ) berdasarkan perubahan fasa nya	71
Gambar 3.9	(a) dinding tungku dengan satu lapis refraktori (b) dinding tungku dengan dua lapis refraktori	79
Gambar 4.1	Hubungan antara berat kuningan yang dilebur dengan jumlah listrik (kWh), minyak tanah (liter), solar (liter), briket batubara karbonisasi (kg), dan briket batubara non karbonisasi (kg).	85
Gambar 4.2	Hubungan antara berat kuningan yang dilebur (kg) dengan harga (Rp) listrik, minyak tanah, solar, briket batubara karbonisasi dan briket batubara non karbonisasi	86
Gambar 4.3	Perbandingan biaya proses pengecoran (%) bila menggunakan bahan bakar minyak tanah, solar, dan briket dibandingkan dengan harga hasil penjualan produk coran total.	98
Gambar 5.1	Potensi Pemanfaatan Briket Batubara Indonesia	101
Gambar 5.2	Pemetaan Jenis Konsumen Briket	102
Gambar 5.3	Grafik tentang pengetahuan responden	104
Gambar 5.4	Hasil survey Inovasi. teknologi	111
Gambar 5.5	Grafik hasil survey tanggapan masyarakat terhadap Adopsi Teknologi Briket Batubara	115
Gambar 5.6	Grafik data hasil survey terhadap system sosial	117

Gambar 6.7 Bahan bakar yang digunakan pada 119  
industry pengecoran logam

## DAFTAR TABEL

Tabel	1.1	Perbandingan sifat teknis penggunaan bahan bakar briket batubara, minyak tanah, kayu, dan gas.	2
Tabel	1.2	Karakteristik Berbagai Tipe Briket Batubara	7
Tabel	1.3	Standar Kualitas Batubara Sebagai Bahan Baku Briket Batubara	7
Tabel	1.4	Standar Kualitas Briket Batubara	8
Tabel	2.1	Jumlah panas yang dilepaskan per gr mole produk pembakaran	20
Tabel	2.2	Kebutuhan oksigen dan jumlah panas yang dilepaskan pada reaksi pembakaran masing-masing molekul dalam batubara	21
Tabel	2.3	Hubungan antara efisiensi tungku $\eta$ (%) dengan $Q_L$ dan $Q_{ideal}$	36
Tabel	2.4	Sifat fisik kowi grafit	45
Tabel	2.5	Sifat fisik kowi silikon karbida	45
Tabel	2.6	Komposisi Kimia <i>midcast</i>	45
Tabel	2.7	Komposisi Kimia <i>Metallite-1000</i>	46
Tabel	2.8	Komposisi kimia Kao wool	46
Tabel	3.1	Kriteria desain tungku pengecoran kuningan menggunakan kowi baja $D_o = 203$ mm, kowi baja $D_o = 267$ mm, kowi silikon karbida, kowi grafit, menggunakan bahan bakar briket batubara non karbonisasi untuk kapasitas peleburan 150 kg	62
Tabel	3.2	Kalor ideal untuk melebur kuningan <i>red-brass</i> (CuZn5) $m_{lc}$ kg menggunakan kowi baja $D_o = 203$ mm	69

Tabel	3.3	Kalor ideal untuk melebur kuningan <i>red-brass</i> (CuZn5) $m_{lc}$ kg menggunakan kowi baja $D_0 = 267$ mm	70
Tabel	3.4	Kalor ideal untuk melebur kuningan <i>red-brass</i> (CuZn5) $m_{lc}$ kg menggunakan kowi Silikon Karbida	70
Tabel	3.5	Kalor ideal untuk melebur kuningan <i>red-brass</i> (CuZn5) $m_{lc}$ kg menggunakan kowi grafit	71
Tabel	3.6	Kalor ideal untuk melebur kuningan <i>yellow-brass</i> (CuZn30) $m_{lc}$ kg menggunakan kowi baja $D_0 = 203$ mm	75
Tabel	3.7	Kalor ideal untuk melebur kuningan <i>yellow-brass</i> (CuZn30) $m_{lc}$ kg menggunakan kowi baja $D_0 = 267$ mm	76
Tabel	3.8	Kalor ideal untuk melebur kuningan <i>red-brass</i> (CuZn5) $m_{lc}$ kg menggunakan kowi Silikon Karbida	76
Tabel	3.9	Kalor ideal untuk melebur kuningan <i>yellow-brass</i> (CuZn30) $m_{lc}$ kg menggunakan kowi grafit	77
Tabel	3.10	Hubungan $\eta$ (%) dan $\Delta QL$ (MJ) untuk 2 lapis refraktori	81
Tabel	4.1	Perbandingan harga jual beberapa sumber energi	84
Tabel	4.2	Perbedaan peralatan Tungku	88
Tabel	4.3	Parameter keekonomian	94
Tabel	4.4	Daftar nilai komponen produksi dan harga	95
Tabel	4.5	Biaya Energi Menggunakan Bahan Bakar Minyak Tanah	95
Tabel	4.6	Biaya Energi Menggunakan Bahan Bakar Solar	96
Tabel	4.7	Biaya Energi Menggunakan Bahan Bakar briket batubara non karbonisasi	97





## **BAB 1 GAMBARAN UMUM TENTANG BRIKET**

### **1.1 Pendahuluan**

Menurut Permen ESDM no. 47 tahun 2006 [1], yang dimaksudkan dengan Briket Batubara adalah jenis produk pembriketan (briguetting) melalui proses pencetakan partikel-partikel padatan berbasis batubara pada tekanan tertentu baik dengan/tanpa bahan pengikat (binder) maupun bahan tambahan lainnya.

Briket dipilih menjadi bahan bakar alternative karena beberapa keunggulan dibandingkan bahan bakar cair sebagai berikut:

1. Bahan baku melimpah
2. Harganya murah
3. Panas yang tinggi dan kontinyu sehingga sangat baik untuk pembakaran yang lama
4. Tidak beresiko untuk meledak dan terbakar sendiri
5. Tidak mengeluarkan suara bising dan tidak berjelaga
6. Mudah untuk dioperasikan
7. Aman terhadap lingkungan

Tidak dipungkiri bahwa penggunaan briket batubara diakibatkan karena menipisnya cadangan bahan bakar fosil sehingga harganya semakin mahal namun dilain pihak kebutuhan energi semakin meningkat. Selain briket bahan bakar yang sering digunakan adalah bahan bakar cair seperti : minyak tanah (kerosin), minyak diesel, bensin, dan bahan bakar gas seperti LNG (Liquid nature gas) dan LPG (Liquid Petroleum Gas).

Tabel 1.1 Perbandingan sifat teknis penggunaan bahan bakar briket batubara, minyak tanah, kayu, dan gas [1]

No	Sifat-Sifat	Briket Batubara	Minyak Tanah	Kayu	Gas
1.	Penyulutan	Agak sulit	mudah	Agak sulit	Sgt mudah
2.	Pengaturan suhu	sukar	mudah	Sukar	mudah
3.	Kemungkinan timbulnya asap, bau, abu, jelaga pada alat	Cukup besar	kurang	Cukup besar	kurang
4.	Kestabilan nyala	Stabil bila briket telah terbakar	stabil	Kurang stabil	Sangat stabil
5.	Kemudahan memperoleh dipasar	Agak sukar	Agak sukar	Agak mudah	mudah
6.	Kandungan kalori rata-rata per kg atau per liter	5400	8800	3800	11000
7.	Kemungkinan meledak	Tidak meledak	Ada kemungkinan	Sangat kecil	Mudah meledak
8.	Harga	medium s/d mahal	medium s/d mahal	murah	medium s/d mahal
9.	Bentuk	khusus	Umum	sederhana	Umum
10.	Effisiensi	20-45%	35-40%	10-20%	40-50%

Selain briket yang berasal dari batubara ada juga briket yang berasal dari biomassa (biobriket), dan briket yang merupakan campuran antara biomassa dan batubara (briket bio-batubara). Briket-briket ini sangat cocok digunakan di Indonesia. Batubara dan biomassa sebagai bahan baku utama pembuatan briket tersedia berlimpah di Indonesia dan diprediksi cadangannya dapat digunakan hingga 150 tahun mendatang.

Penggunaan teknologi yang cocok dalam desain tungku akan menyebabkan penggunaan briket sebagai bahan bakar menghasilkan temperatur pembakaran yang tinggi dan aman terhadap lingkungan.

## **1.2 Jenis Briket**

Peraturan Menteri Energi dan Sumberdaya Mineral No. 047 Tahun 2006, tentang *pedoman pembuatan dan pemanfaatan briket batubara dan bahan bakar padat berbasis batubara* maka briket batubara berdasarkan bahan bakunya terbagi menjadi 3 jenis.

### **1.2.1 Briket Batubara Non Karbonisasi**

Bahan baku utama briket batubara non karbonisasi adalah batubara dari kelas lignit dan subbituminus yang tidak melalui proses karbonisasi. Komposisi campurannya adalah batubara 80%-95%, bahan penguat (tanah liat atau semen) 5%-20%, bahan pengikat (tapioka) 0%-5% sisanya uap air. Sebagai contoh, briket batubara yang diproduksi oleh PT. Bukit Asam (Persero) Tbk. di Pabrik Briket Natar adalah: bahan baku

untuk membuat briket batubara non karbonisasi adalah: 82% batubara, 13.5 % tanah liat, 4 % tapioka, 0.5 % uap air (PTBA, 2009).

Briket non karbonisasi ini sangat sederhana dan biasanya berkualitas rendah sehingga harganya lebih murah. Karena zat terbangnya masih terkandung dalam briket batubara ini masih tinggi, maka pada penggunaannya lebih baik menggunakan tungku (bukan kompor) sehingga akan menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna dimana seluruh zat terbang yang muncul dari briket akan habis terbakar oleh lidah api di permukaan tungku. Briket ini umumnya digunakan untuk industri kecil, dan kurang cocok untuk memasak makanan yang bersentuhan langsung dengan asap atau gas hasil pembakaran.



a. Tipe kubus berlubang



b. Tipe silinder berlubang



c. Tipe telur non karbonisasi

Gambar 1.1 Briket batubara non karbonisasi

### 1.2.2 Briket Batubara Karbonisasi

Bahan baku utama briket batubara karbonisasi adalah batubara dengan persentase antara 80% - 90%, sisanya 5% - 15% merupakan bahan penguat dan bahan pengikat. Selain itu diberi bahan tambahan yang berfungsi sebagai adsorban untuk menangkap SO<sub>2</sub>, biasanya yang digunakan adalah kapur dengan kadar maksimum 5%, dan sisanya adalah air atau uap air.



Gambar 1.2. Briket batubara tipe telur karbonisasi

Pada pembuatan briket batubara karbonisasi, sebelum batubara diproses menjadi briket terlebih dahulu dilakukan proses *karbonisasi*. Proses karbonisasi dilakukan dengan cara membakar batubara pada suhu tertentu sehingga sebagian besar zat pengotor, terutama zat terbang (*volatile matter*) hilang atau turun serendah mungkin sehingga produk akhirnya tidak berbau dan tidak berasap. Biaya produksi lebih tinggi dari pembuatan briket non karbonisasi yang menyebabkan pada batubara tersebut terjadi rendemen hanya sebesar 50%. Briket ini cocok digunakan

untuk keperluan rumah tangga dan untuk memasak dimana asap/gas hasil pembakaran akan aman bersentuhan dengan bahan makanan.

#### <sup>4</sup> 1.2.3 Briket Bio-Batubara

Bahan baku briket bio-batubara terdiri dari : batubara, biomas, bahan pengikat dan kapur. Komposisi campurannya adalah batubara 50%-80%,



Gambar 1.3. Briket bio-batubara tipe kenari non karbonisasi

biomas 10%-40%, bahan pengikat 5%-10%, kapur terdiri atas 0% - 5% dan sisanya adalah air atau uap air. Selain penambahan kapur dan zat perekat, ke dalam campuran ditambahkan juga bahan biomasa untuk mengurangi emisi dan mempercepat pembakaran. Biomasa yang biasanya digunakan berasal dari ampas industri agro seperti bagas tebu, ampas kelapa sawit, sekam padi, serbuk gergaji dan lain-lain. Briket campuran biomassa dan batubara tampak lebih kecil dan berwarna lebih hitam, karena telah terlebih dahulu di karbonisasi. Proses karbonisasi dilakukan sebelum bahan baku dicampur dan dicetak. Jenis briket dapat dilihat pada Gambar 1.1. Pada gambar tampak bahwa briket non karbonisasi dan briket karbonisasi mempunyai bentuk yang mirip, namun dapat dibedakan dari warnanya.

### **1.3 Proses Pembuatan Briket**

Serbuk kayu dan serbuk batubara kemudian dicampur dengan zat penguat dan zat perekat dengan menggunakan uap air. Zat penguat terdiri atas organik dan anorganik. Penguat organik adalah tetes tebu (molasses), karboksil metil selulosa (CMC) dan lain-lain, sedangkan penguat anorganik adalah semen dan tanah liat (bentonite). Perekat yang biasa digunakan adalah tepung tapioca. Kemudian campuran ini dicetak lalu dikeringkan. Jenis batubara yang biasanya digunakan adalah lignit, bituminus dan subbituminus yang dikarbonisasi atau tidak dikarbonisasi.

#### **1.3.1 Pembuatan Briket Batubara non Karbonisasi**

Briket batubara non karbonisasi biasanya dibuat dari batubara yang mengandung 5900 kcal/kg. setelah menjadi briket dan dicampur dengan tanah liat maka nilai kalor akan turun menjadi 4800 s/d 5300 kcal/kg. Karena briket ini tidak dikarbonisasi maka warnanya agak kecoklatan, bukan warna hitam.

#### **1.3.2 Proses Pembuatan <sup>4</sup> Briket Batubara Karbonisasi**

Pada proses pembuatan briket batubara terkarbonisasi, bahan baku utamanya adalah batubara yang telah dikurangi kadar zat terbangnya menjadi maksimum 15%. Bagan alir pembuatan briket batubara ini dapat dilihat sebagaimana pada Gambar 1.4.

Tabel 1.2. Karakteristik Berbagai Tipe Briket Batubara [1]

Bentuk Briket Batubara	Ukuran (mm)	Kekuatan Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Nilai kalor (kcal/kg)	Kadar air (%)	Kadar abu
Briket batubara karbonisasi tipe bantal/telur	51x49x39	>60	5300-5600	<7,5	14-18
Briket batubara non karbonisasi tipe bantal/telur	55x60x30	>60	5200-5400	<10	14-18
Briket batubara non karbonisasi tipe sarang tawon	38x26x18	>70	5000-5400	<10	10-12
Briket bio-batubara tipe kenari	125x125x75 Φ: 125 T:7 (silinder)	40-60	4800-5200	10-15	15-20

4

Tabel 1.3. Standar Kualitas Batubara Sebagai Bahan Baku Briket Batubara [1]

Jenis Briket Batubara	Abu (adb) %	Nilai Kalori (adb) kcal/kg	Total Sulfur (adb)%	Keterangan
Briket batubara non karbonisasi dan briket bio-batubara	<10	Min 5100	Maks 1	Penambahan bahan pengikat akan menaikkan kadar abu dan menurunkan nilai kalor
Briket batubara karbonisasi	<5	Min 3500	Maks 1	Karbonisasi akan menaikkan nilai kalori dan menurunkan kadar abu

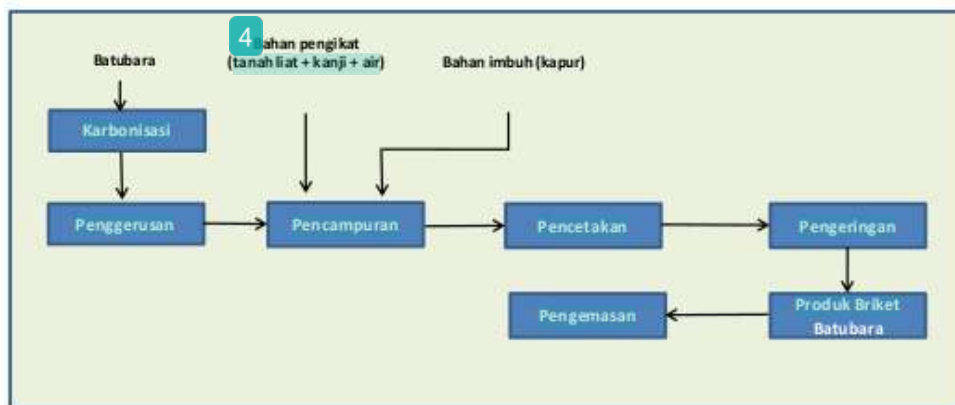


Tabel 1.4 Standar Kualitas Briket Batubara [1]

Jenis Briket Batubara	Kandungan air (%)	Zat Terbang (adb) %	Nilai Kalor (adb) kcal/kg	Total Sulfur (adb) %	Beban Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )
Briket batubara Terkarbonisasi (Batubara Muda)	Mak 20	Maks 15	Min 4000		Min 60
Briket Batubara Terkarbonisasi Jenis Batubara bukan Batubara Muda	Mak 7,5	Maks 15	Min 5500	Mak 1	Min 60
Briket Batubara Tanpa Karbonisasi Tipe Telur	Mak 12	Sesuai batubara asal	Min 4400	Mak 1	Min 65
Briket Batubara Tanpa Karbonisasi Tipe Sarang Tawon	Mak 12	Sesuai batubara asal	Min 4400	Mak 1	Min 10
Briket Bio-Batubara	Mak 15	Sesuai dengan bahan bakunya	Min 4400	Mak 1	Min 65



Gambar 1.4 Diagram alir pembuatan briket non karbonisasi

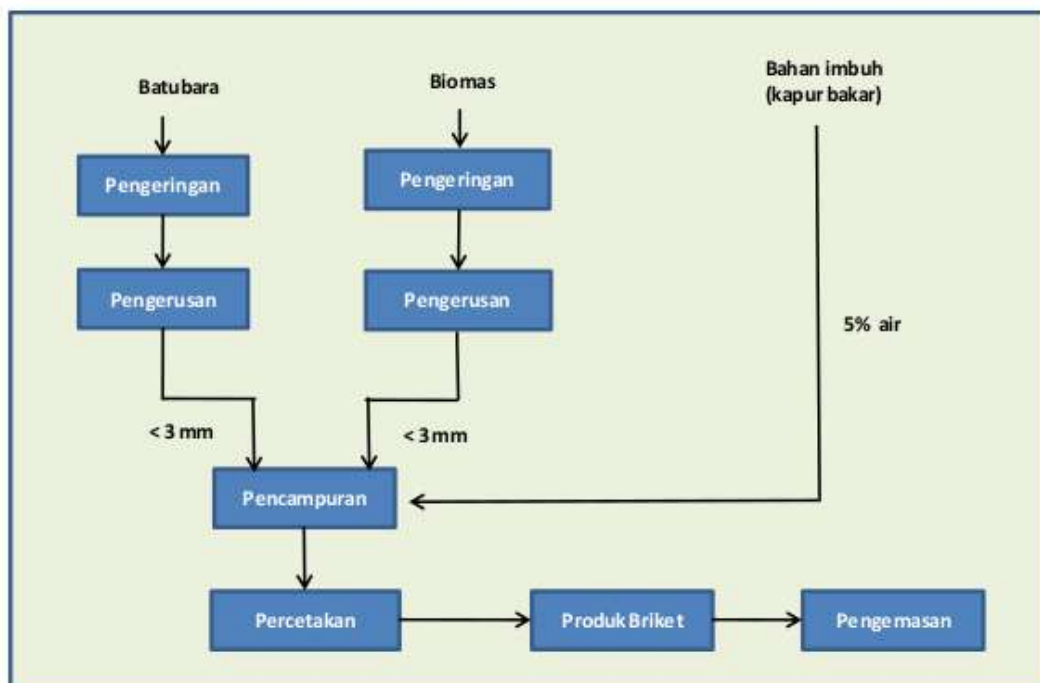


Gambar 1.5 Diagram alir proses pembuatan briket batubara [2]

Akibat proses karburisasi pada batubara ini, maka nilai kalor briket menjadi lebih tinggi dari pada briket non karburisasi, yaitu mencapai 6200 kcal/kg

#### 1.4 Briket <sup>4</sup>Bio-Batubara

Mengingat biomas bersifat mudah meregang (plastisitas tinggi), maka pada proses pembriketannya tidak cukup hanya dengan menambahkan bahan pengikat, namun juga memerlukan tekanan yang tinggi, sekitar 2 ton/cm<sup>2</sup>. Pemakaian biomas bertujuan selain untuk menurunkan temperatur penyalaan briket, juga untuk mempercepat proses pembakaran yang sempurna dari briket sehingga dapat mengurangi emisi gas buang. Diagram alir proses pembuatan briket bio-batubara dapat dilihat sebagaimana pada Gambar 1.6 berikut ini.



Gambar 1.6 Diagram alir proses pembuatan biobriket [2]

Penggunaan biobriket batubara akan menghasilkan gas-gas hasil pembakaran yang mengandung  $SO_x$ ,  $NO_x$  yang lebih rendah daripada briket batubara.

#### **1.4.1 Penggunaan Briket Sebagai Bahan Bakar**

Briket merupakan bahan bakar yang merah dan dapat terbakar dalam waktu yang lama. Oleh karena itu, sering dipergunakan untuk memasak dalam jumlah banyak dan lama, untuk penghangat dan pengering.

##### ***1.4.1.1 Peternakan Ayam***

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, energi panas yang dibutuhkan untuk peternakan ayam berjumlah 1000 ekor akan membutuhkan energi panas setara dengan 250 kg briket batubara dalam 28 hari agar perkembangan ayam sesuai dengan yang diinginkan, sebelumnya peternak ayam menggunakan minyak tanah untuk menghangatkan kandang ayam jenis pedaging.



Gambar 1.7 Alat penghangat anak ayam menggunakan briket

#### ***1.4.1.2 Pengeringan Teh***

Energi panas dibutuhkan proses pengolahan daun teh seperti pelayuan dan pengeringan teh. Kenaikan harga bahan bakar BBM (solar) membuat pabrik teh mulai melirik penggunaan bahan bakar alternatif, agar biaya pengolahan daun teh dapat diminimasi. Dalam proses pengolahan daun teh akan membutuhkan energi panas yang setara dengan 0,4 liter untuk membuat 1 kg teh.

#### ***1.4.1.3 Pengeringan Tembakau***

Seperti pengeringan teh maka pengeringan tembakau menggunakan energi panas yang dihasilkan oleh bahan bakar. Tembakau perlu dikeringkan untuk mengurangi/menghilangkan kandungan air. Pada awalnya pengeringan teh menggunakan bahan bakar minyak tanah, tetapi akibat kenaikan harga minyak tanah maka membuka peluang penggunaan energi alternatif. Pengeringan tembakau sebanyak 1 ton memerlukan minyak tanah sebanyak 1875 liter.

#### ***1.4.1.4 Pengasapan Karet***

Sebagaimana pada proses pengeringan tembakau dan proses pengolahan teh maka proses pengasapan karet membutuhkan bahan bakar untuk melakukannya. Pada mulanya proses pengasapan ini menggunakan bahan bakar minyak tanah, dan kenaikan harga minyak tanah membuat para pengusaha pengasapan karet melirik

bahan bakar alternatif. Keadaan ini membuka peluang penggunaan briket batubara sebagai bahan bakar alternatif.

#### ***1.4.1.5 Pondok Pesantren***

Besarnya jumlah komunitas manusia yang tinggal membuat pondok pesantren menggunakan bahan bakar dalam jumlah yang cukup besar dalam proses memenuhi kebutuhan pangan para santri yang tinggal didalamnya. Penggunaan bahan bakar yang cukup besar membuat pengeluaran pondok pesantren menjadi lebih besar ketika ada kenaikan harga minyak tanah yang digunakan dalam proses pengolahan makanan untuk memenuhi kebutuhan pangan di Pondok Pesantren. Kebutuhan minyak tanah untuk memenuhi kebutuhan pangan 1000 santri di Pondok Pesantren diperlukan sekitar 80 liter per hari. Beda harga antara briket batubara dan minyak tanah akan membuat penghematan yang signifikan dalam proses pemenuhan kebutuhan pangan di Pondok Pesantren yang ditunjukkan pada Gambar 8.

#### ***1.4.1.6 Penyulingan***

Beberapa industri penyulingan, seperti penyulingan minyak atsiri, minyak sereh, dan lain-lain, juga menggunakan bahan bakar briket karena harganya yang murah dan ketahanan nya terbakar dalam waktu yang lama. kompor untuk penyulingan ditampilkan pada Gambar 1.9



Gambar 1.8 Kompor briket di pesantren dan rumah makan



Gambar 1.9 Penyulingan minyak atsiri

#### ***1.4.1.7 Pengeringan bata***

Briket Batubara digunakan juga untuk mengeringkan batubata. Hal ini akan mempercepat pegeringan terutama pada musim hujan.



Gambar 1.10 Pengeringan bata

#### ***1.4.1.8 Pengecoran logam***

Ide menggunakan briket batubara non karbonisasi untuk pengecoran logam timbul karena briket ini mengeluarkan asap dan bau yang tidak disukai bila digunakan untuk industri makanan. Sehingga dianggap tidak layak untuk dipergunakan pada rumah tangga. Oleh karena itu, briket ini lebih cocok bila dipergunakan untuk industri manufaktur, seperti: pengecoran logam, penempaan panas, dan lain-lain.

Berdasarkan penelitian, untuk kondisi saat ini tungku yang pengecoran logam menggunakan briket batubara non karbonisasi baru mampu digunakan untuk mencairkan logam-logam aluminium



dan paduan tembaga berupa kuningan dan perunggu. Tungku dengan bahan bakar briket batubara non karbonisasi ini mampu untuk mengecor aluminium pada temperatur cairnya  $659^{\circ}\text{C}$  dan temperatur tuangnya  $\pm 750^{\circ}\text{C}$ , dan mampu mengecor perunggu hingga temperatur tuangnya  $1200^{\circ}\text{C}$ .



Gambar 1.11. Tungku pengecoran dengan menggunakan sumber energi listrik



Gambar 1.12 Tungku pengecoran menggunakan bahan bakar solar



Gambar 1.13 Tungku pengecoran berbahan bakar minyak tanah



Gambar 1.14 <sup>1</sup> Tungku pengecoran berbahan bakar briket batubara non karbonisasi

## **1.5 Pasokan Bahan Baku Briket Batubara**

Pasokan briket batubara berkaitan dengan bahan baku pembuatan briket dan kapasitas produksi briket itu sendiri. Bahan baku utama briket batubara adalah batubara sedangkan bahan baku pengikatnya adalah tepung tapioka (Kanji), tanah liat, air dan biomasa dan bahan baku imbuhnya adalah kapur.

Ketersediaan bahan baku utama atau batubara dan atau biomaassa di Indonesia sangat berlimpah. Berdasarkan data yang dikeluarkan Badan Geologi Departemen Energi dan Sumber Daya Alam pada tahun 2007 tercatat bahwa cadangan terbukti batubara Indonesia mencapai 5,3 miliar ton, dimana 4,395 miliar ton terletak di Kalimantan dan 905 juta ton di Sumatera. Sementara itu cadangan terkira batubara sebanyak 18,71 miliar ton dan sumberdaya batubara sebanyak Indonesia mencapai 93,40 miliar ton. Sebagian besar batubara Indonesia berada pada kualitas sedang (62%) dan rendah (24%). Sebaran lokasi sumber daya batubara seperti yang terlihat dalam Gambar 1.15 sedangkan pada Gambar 1.16 ditampilkan lokasi tambang batubara di Indonesia. Oleh karena itu, dengan sumberdaya batubara sedemikian besarnya maka ketersediaan bahan baku utama produksi briket batubara akan terjamin bila produksi briket batubara ditingkatkan sesuai dengan kebutuhan.



Gambar 1.15 Lokasi pabrik briket batubara [4]



Gambar 1.16. Lokasi Tambang Batubara [4]

## **SUMBER PUSTAKA**

- [1] Ditjen Minerba, 2006, *BUKU PANDUAN: Pemsyarakatan Penggunaan Briket Batubara*, Jakarta
- [2] Permen ESDM No. 047 Tahun 2006
- [3] PT. Bukit Asam (Persero) Tbk, 2009, *Wawancara*, Natar Lampung
- [4] Ditjen Minerba, 2008, *SOSIALISASI BRIKET BATUBARA*, Jakarta

## BAB 2 ANALISA THERMAL PEMBAKARAN

### 2.1 Teori Pembakaran

Bahan baku untuk membuat briket batubara non karbonisasi adalah : 82% batubara, 13.5 % tanah liat, 4 % tapioka, 0.5 % uap air [1]. Karena briket mengandung batubara, maka 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. Masing-masing unsur yang dikandung didalam 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. Bila komposisi kimia kandungan batubara adalah :

$$S = \alpha\%, N = \beta\%, C = \chi\%, H = \delta\%, O = \varepsilon\%. \quad (2.1)$$

Berat atom:  $S = 32.07$  mol,  $N = 14.01$  mol,  $C = 12.01$  mol,  $H = 1$  mol, dan  $O = 16$  mol. Maka berat molekul  $SO_2 = 64.07$  gr mol,  $N_2 = 28.02$  gr mol,  $CO_2 = 44.01$  gr mol,  $H_2 = 2$  gr mol,  $O_2 = 32$  gr mol,  $H_2O = 18$  gr mol. Oleh karena itu, bila digunakan batubara sebanyak

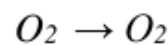
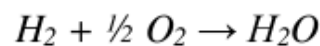
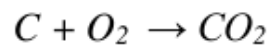
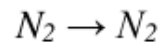
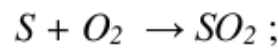
1 kg atau 1000 gr, maka komposisi kandungan dalam batubara adalah :

$$S = 10\alpha, N = 10\beta, C = 10\chi, H = 10\delta, O = 10\varepsilon \quad (2.2)$$

Maka berarti :

$$S = \frac{10\alpha}{32.07}, N = \frac{10\beta}{14.01}, C = \frac{10\chi}{12.01}, H = \frac{10\delta}{1}, O = \frac{10\varepsilon}{16} \quad (2.3)$$

Reaksi yang terjadi pada pembakaran batubara adalah :



Reaksi pembakaran tersebut adalah eksotermis, yaitu melepaskan kalor. Pada pembentukan 1 gr mol produk hasil pembakaran tersebut, jumlah kalor yang dilepaskan ( $\Delta H$ ) ditunjukkan pada Tabel 2.1 dibawah ini. Sedangkan jumlah kalor yang dilepaskan pada saat pembakaran dalam batubara ditunjukkan oleh Tabel 2.2. Oksigen stokiometrik yang dibutuhkan untuk melangsungkan reaksi pembakaran. Sedangkan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk reaksi pembakaran tersebut hanya terkandung sebanyak adalah 21 % di dalam udara yang dimasukkan kedalam ruang bakar, dan sisanya

sebanyak 79 % adalah nitrogen yang ikut dalam sirkulasi udara namun tidak ikut dalam reaksi pembakaran.

Tabel 2.1. Jumlah kalor yang dilepaskan per gr mole produk pembakaran

Produk komposisi gas buang	Kalor yang dilepaskan ( $\Delta H$ )
$SO_2$	- 70.947
$N_2$	0
$CO_2$	- 94.054
$H_2O$	- 57.796
$O_2$	0

Jumlah oksigen stokiometrik yang dibutuhkan untuk reaksi pembakaran batubara adalah :

$$O_2 = \left( \frac{10\alpha}{32.07} + \frac{10\chi}{12.01} + \frac{10\delta}{1} \right) \text{ gr/ mol} \quad (2.4)$$

$$N_2 = (79/21) \left( \frac{10\alpha}{32.07} + \frac{10\chi}{12.01} + \frac{10\delta}{1} \right) \text{ gr /mol} \quad (2.5)$$

Pada proses pembakaran diatas diatas, reaksi pembakaran dengan oksigen akan menyebabkan pelepasan kalor ( $\Delta H$ ) dan menghasilkan produk hasil pembakaran berupa gas buang dan abu sisa pembakaran.

Tabel 2.2.Kebutuhan oksigen dan jumlah kalor yang dilepaskan akibat reaksi pembakaran masing-masing molekul dalam batubara



Produk	Jumlah oksigen yang dibutuhkan	Jumlah kalor yang dilepaskan ( $\Delta H$ , cal)
$SO_2$	$\frac{10\alpha}{32.07}$	$\frac{10\alpha}{32.07} \times -70.947$
$N_2$	0	0
$CO_2$	$\frac{10\chi}{12.01}$	$\frac{10\chi}{12.01} \times -94.054$
$H_2O$	$\frac{10\delta}{1}$	$\frac{10\delta}{1} \times -57.796$
$O_2$	0	0

Jumlah udara yang dibutuhkan untuk direaksikan pada proses pembakaran batubara, atau udara stokiometrik, adalah :

$$\text{Udara} = N_2 + O_2 \quad (\text{gr mol})$$

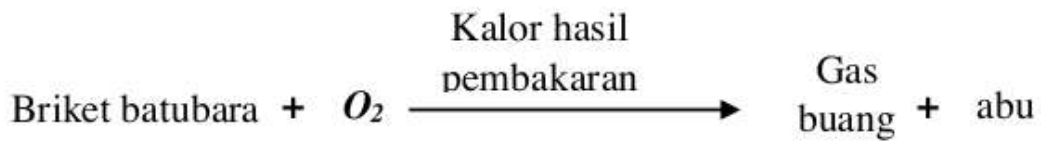
$$\text{Udara} = (79/21) \left( \frac{10\alpha}{32.07} + \frac{10\chi}{12.01} + \frac{10\delta}{1} \right) + \left( \frac{10\alpha}{32.07} + \frac{10\chi}{12.01} + \frac{10\delta}{1} \right)$$

$$\text{Udara} = 7.52381 \left( \frac{10\alpha}{32.07} + \frac{10\chi}{12.01} + \frac{10\delta}{1} \right) \text{ gr /mol} \quad (2.6)$$

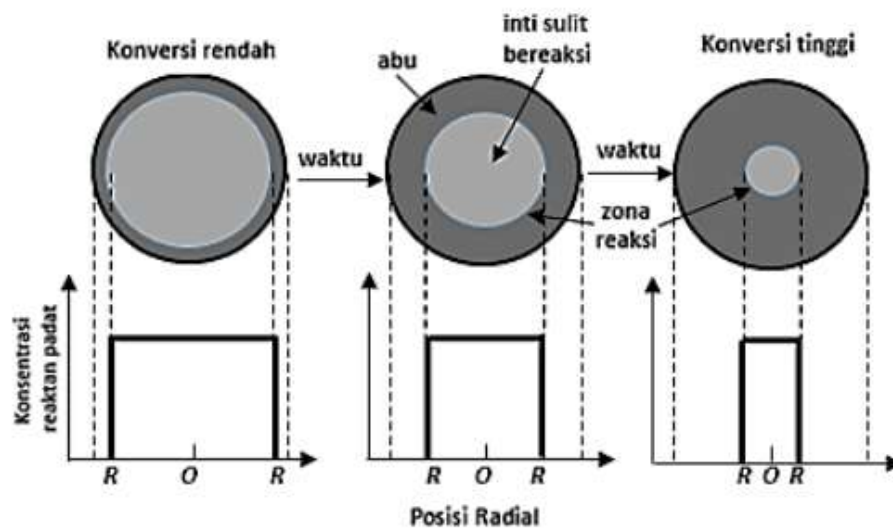
Maka berdasarkan Tabel 2.2 diatas, jumlah kalor total yang dilepaskan dari pembakaran bahan bakar adalah:

$$\Delta H_a = \Delta H_{CO_2} + \Delta H_{H_2O} + \Delta H_{SO_2} + \Delta H_{O_2} + \Delta H_{N_2} \quad (2.7)$$

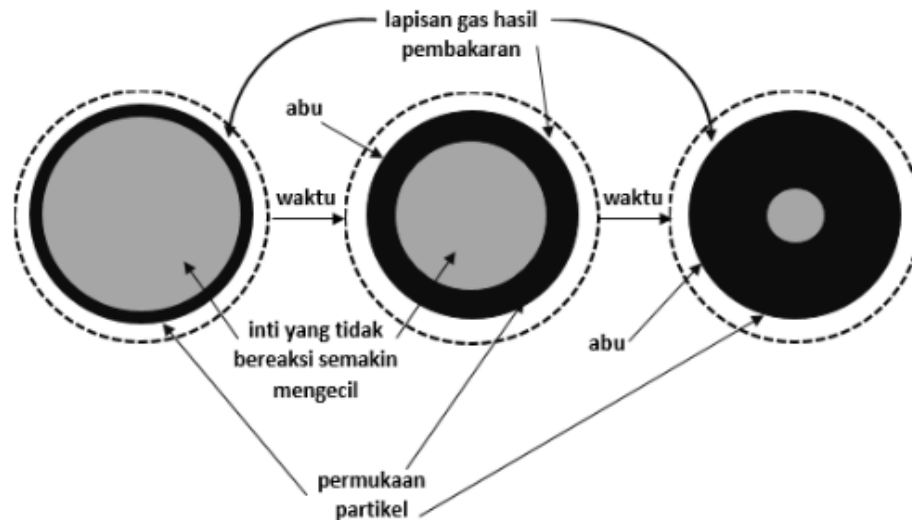
Proses pembakaran ini akan menghasilkan produk dalam bentuk gas buang yang akan dilepas kelingkungan dan abu sisa pembakaran.



Pada proses pembakaran ini, bagian briket yang pertama kali mengalami reaksi pembakaran adalah permukaan luar partikel briket. Oksigen didalam udara akan bergerak kepermukaan briket dan berdifusi masuk ke dalam sehingga terjadi reaksi pembakaran di dalam partikel briket. Selanjutnya hasil dari reaksi pembakaran pada permukaan briket ini akan membentuk gas buang dan abu sisa pembakaran. Fenomena ini di tampilkan pada Gambar 2.1 dan 2.2 berikut ini.



Gambar 2.1 Fenomena yang terjadi pada reaksi pembakaran pada suatu partikel bahan bakar padat



Gambar 2.2 Analogi konsentrasi gas buang dan abu sisa pembakaran pada permukaan briket

Semakin lama reaksi pembakaran berlangsung, maka akan semakin tebal abu yang terbentuk dipermukaan briket. Abu ini akan berfungsi sebagai tahanan yang mempersulit oksigen untuk dapat berdifusi dan masuk kedalam briket untuk melanjutkan reaksi pembakaran di bagian dalam briket. Bersamaan dengan itu, secara signifikan terbentuk gas hasil pembakaran seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.1. Pada Gambar 2.1 tampak bahwa semakin lama reaksi, maka abu sisa pembakaran dan film lapisan gas buang yang terdapat di atasnya akan semakin tebal. Sehingga proses pembakaran akan menjadi semakin lambat.

Bila kedua gambar di atas dihubungkan maka dapat dikatakan bahwa semakin besar ukuran briket, akan menyebabkan reaksi pembakaran akan semakin lambat. Namun karena briket adalah

bahan bakar padat yang mengandung karbon, maka bila tinggal tersisa karbon saja dalam bahan bakar dan zat-zat lain sudah habis terbakar, maka pembakaran tetap akan terus berlangsung sampai persediaan karbon habis. Namun demikian, karakteristik pembakaran briket batubara tetap amat tergantung pada jenis pengikatnya.

Briket dengan pengikat tanah liat [2] mempunyai konstanta Arrhenius  $A_r$   $4.36 \times 10^{-2}$ , dengan energi aktivasi sebesar 47.08 (kJ/mol). Semakin tinggi energi aktivasi maka kualitas pembakarannya akan semakin berkurang. Hal ini berarti bahwa briket batubara dengan pengikat tanah liat akan lebih sulit terbakar bila dibandingkan dengan briket dengan pengikat CMC (*carboxyl methyl cellulose*) yang energi aktivasinya 31.86 (kJ/mol).

Laju konsumsi udara yang dibutuhkan untuk pembakaran briket batubara sebanding dengan konstanta laju aliran gas,  $q$  (dalam liter per menit) dengan jumlah perubahan konsentrasi oksigen dalam gas buang ( $\Delta O_2$ ) dan berbanding terbalik terhadap luas penampang ( $A$ ) dan panjang ( $L$ ) partikel briket yang digambarkan dalam persamaan 2.8 berikut ini.

$$\frac{q\Delta O_2}{AL} \quad (2.8)$$

Maka persamaan untuk laju konsumsi udara dan laju reaksi pembakaran menjadi:

$$\frac{q\Delta O_2}{AL} = A_r P_{O_2}^m C_f^n \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) = -\alpha \frac{dC_f}{dt} \quad (2.9)$$

dimana  $A_r$  adalah konstanta Arhenius yang besarnya tergantung kepada ukuran partikel sebagaimana ditampilkan pada Tabel 2.3. Sedangkan  $P_{O_2}$  adalah tekanan parsial oksigen ( $Pa$ ) dan  $m$  adalah orde reaksinya.  $C_f$  adalah konsentrasi bahan bakar ( $I/S$ ) dan  $n$  adalah orde reaksinya.  $E$  adalah energy aktivasi ( $kJ/mol$ ),  $R$  adalah konstanta gas universal ( $J/mol.K$ ), dan  $T$  adalah temperatur absolut ( $K$ ). Besarnya konstanta Arhenius,  $A_r$ , ternyata semakin besar dengan semakin kecilnya ukuran partikel briket. Sebaliknya bila partikel semakin besar, maka  $A_r$  akan semakin kecil.

Tabel 2.3 Hubungan antara nilai konstanta Arhenius ( $A_r$ ) dengan ukuran briket batubara [2].

Ukuran Briket Batubara (diameter x panjang, cm)	Konstanta Arhenius, $A_r$
2,5 x 4,0	$5,38 \times 10^{-2}$
2,5 x 6,0	$2,53 \times 10^{-3}$
2,5 x 8,0	$6,10 \times 10^{-3}$
2,5 x 10,0	$6,59 \times 10^{-3}$
4,0 x 4,0	$2,82 \times 10^{-2}$
4,0 x 6,0	$3,92 \times 10^{-3}$
4,0 x 8,0	$1,46 \times 10^{-3}$
4,0 x 10,0	$2,22 \times 10^{-3}$
5,5 x 4,0	$1,02 \times 10^{-2}$
5,5 x 6,0	$1,64 \times 10^{-3}$
5,5 x 8,0	$7,66 \times 10^{-3}$
5,5 x 10,0	$8,91 \times 10^{-4}$

Maka didapat hubungan antara laju konsumsi udara dan laju pengurangan bahan bakar briket sebagai berikut:

$$\frac{q\Delta O_2}{A_{briket}L_{briket}} = -\alpha \frac{dC_f}{dt} \quad (2.10)$$

Bila dimasukkan hubungannya dengan laju reaksi, maka persamaan diatas menjadi :

$$\frac{q\Delta O_2}{A_{briket}L_{briket}} = A_r P_{O_2}^m C_f^n \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) = -\alpha \frac{dC_f}{dt} \quad (2.11)$$

Tabel 2.4. Hubungan antara nilai Energi Aktivasi dengan besar tekanan udara dan ukuran briket batubara

Ukuran briket batubara (diameter x panjang, cm)	Tekanan Udara (psig)			E rata-rata (kJ/mol)
	25	50	75	
	Energi Aktivasi (kJ/mol)			
2,5 x 4,0	32,93	29,54	28,89	30,45
2,5 x 6,0	37,11	34,32	30,75	34,06
2,5 x 8,0	38,75	36,47	31,86	35,69
2,5 x 10,0	39,50	37,54	34,58	37,21
4,0 x 4,0	34,12	33,40	31,81	33,11
4,0 x 6,0	37,62	35,01	33,77	35,47
4,0 x 8,0	42,43	38,09	36,18	38,90
4,0 x 10,0	44,20	40,98	37,82	41,00
5,5 x 4,0	41,14	37,65	35,50	38,09
5,5 x 6,0	42,97	39,66	36,50	39,71
5,5 x 8,0	44,82	41,14	38,24	41,40
5,5 x 10,0	51,52	45,33	41,18	46,01

dimana besar energi aktivasi  $E$  tergantung pada tekanan udara dan ukuran briket batubara, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 2.4 diatas. Pada tabel tersebut, tampak bahwa pada tekanan yang sama namun ukuran briket yang semakin besar, maka energi aktivasi akan semakin pula besar. Sebaliknya, bila tekanan diprbesar pada ukuran yang sama, maka energi aktivasi akan semakain kecil.

Bila  $\alpha$  adalah faktor keseimbangan yang besarnya sama dengan jumlah oksigen yang bereaksi dengan 1 gr bahan bakar, maka:

pada  $t = t_1 \rightarrow \infty$  adalah :

$$\alpha C_f(t) = \int_{t_1}^{\infty} \frac{q\Delta O_2}{AL} dt \quad (2.12)$$

Dimana :  $C_f = 0$  pada  $t = \infty$ , maka :

$$C_f^n(t) = \left( \frac{q\Delta O_2}{AL} \right) \left( \frac{1}{A_r P_{O_2}^m C_f^n \exp\left(-\frac{E}{RT}\right)} \right) \quad (2.13)$$

Jika Persamaan (2.13) di substitut ke Persamaan (2.12), maka persamaan akan menjadi:

$$\frac{\Delta O_2}{\left[ \int_{t_1}^{\infty} O_2 dt \right]^n} = \beta \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) \quad (2.14)$$

$$\text{Dimana: } \beta = \left( \frac{q}{AL} \right)^{n-1} \frac{A_r P_{O_2}^m}{\alpha^n} \quad (2.15)$$

Waktu penyalaan briket batubara tergantung pada kandungan kadar air didalam briket. Perbandingan waktu yang dibutuhkan untuk penyalaan pembakaran antara briket batubara yang mengandung kadar air lebih dari 10 % dengan briket yang kering atau tidak mengandung kadar air menunjukkan bahwa waktu penyalaan akan bertambah dengan semakin banyaknya kandungan kadar air, namun akan semakin berkurang dengan semakin tingginya temperatur. Selain itu, laju pembakaran briket akan berkurang dengan bertambahnya kandungan air. Untuk kandungan air 10 %-20 %, maka laju pembakaran adalah  $0.0508 - 0.0439 \text{ s}^{-1}$ . Sedangkan waktu yang diperlukan untuk menyala adalah 15 - 30 menit pada temperatur  $700 \text{ }^\circ\text{C}$ . Semakin banyak kandungan air, maka pengurangan beratpun akan semakin lambat. Pengurangan berat ini menjadi 0.7 - 0.8 dari berat semula setelah 30 menit, dan mulai konstant mencapai 0.5 - 0.6 setelah 90 menit. Laju pembakaranpun meningkat hingga lebih dari  $0.02 \text{ min}^{-1}$  setelah 15 menit.

Hubungan antara temperatur bara dan jumlah kalor yang dilepaskan pada saat reaksi pembakaran selama selang waktu tertentu yang diukur adalah

$$\left( \frac{\partial H^\circ_A}{\partial T} \right)_p = C_{pA}^\circ \quad (2.16)$$



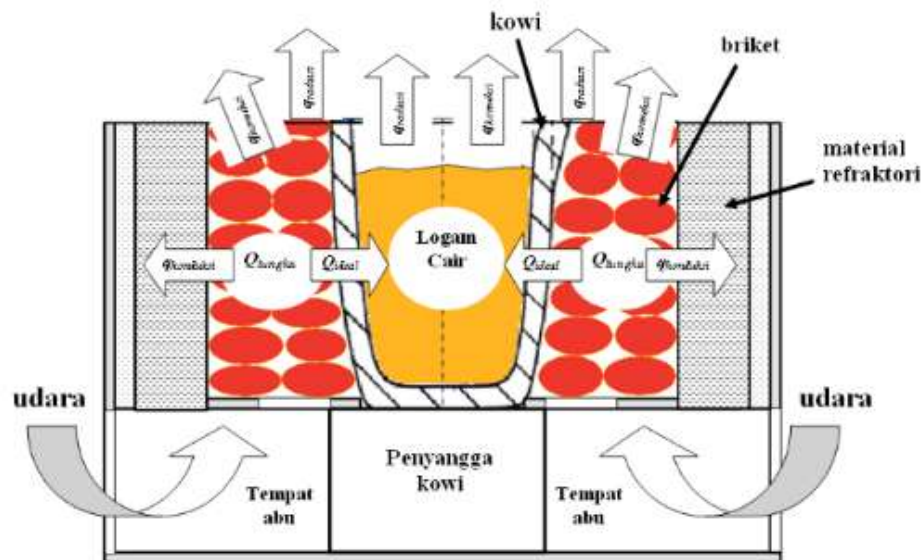
Maka jumlah kalor yang dilepaskan sebagai hasil reaksi pembakaran briket batubara adalah:

$$\Delta H_r^\circ = \Delta H_r^\circ|_{T_0} + \frac{1}{a} \left[ \int_{T_0}^T a C_{pA}^0 dT + \int_{T_0}^T b C_{pB}^0 dT + \int_{T_0}^T c C_{pC}^0 dT + \int_{T_0}^T d C_{pD}^0 dT \right] \quad (2.17)$$

Atau dapat ditulis dengan persamaan sebagai berikut::

$$\Delta H_T = \Delta H_{T_0} + \sum (N_i \bar{C}_{p_i})_{prod} (T - T_0) - \sum (N_i \bar{C}_{p_i})_{react} (T - T_0) \quad (2.18)$$

Pada pembakaran dengan *natural draft*, konsumsi oksigen hanya mencapai 14.70 % dan temperatur maksimum yang dapat dicapai hanya 910 °C. Produksi CO < 2 % dan CO<sub>2</sub> < 14 %. sehingga untuk meningkatkan temperatur dalam proses pembakaran diperlukan udara lebih.



Gambar 2.3 Sketsa siklus thermal pada tungku pengecoran logam yang menggunakan bahan bakar briket

1

Pada proses pengecoran logam terdapat tiga hal yang saling berkaitan, yaitu:

1. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur tuang
2. Jumlah pemakaian bahan bakar yang digunakan,
3. Effisiensi tungku peleburan yang digunakan.

Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur tuang logam tergantung kepada laju pemberian kalor dari proses pembakaran briket batubara melalui dinding kowi kepada logam yang masih dalam bentuk skrap didalam kowi tersebut. Sedangkan laju pemindahan kalor ini tidak hanya tergantung pada jenis kowi yang digunakan, tetapi terutama pada laju reaksi pembakaran briket batubara dan suplai udara yang dimasukkan kedalam ruang bakar. Hal inilah yang menentukan jumlah briket yang dibutuhkan untuk melebur logam pada 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.

Jumlah briket batubara untuk proses pengecoran tergantung pada jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur logam pada temperatur kamar hingga temperatur cairnya dan kalor untuk menaikkan temperatur logam dari temperatur cair ke temperatur tuangnya. Sedangkan waktu yang dibutuhkan untuk

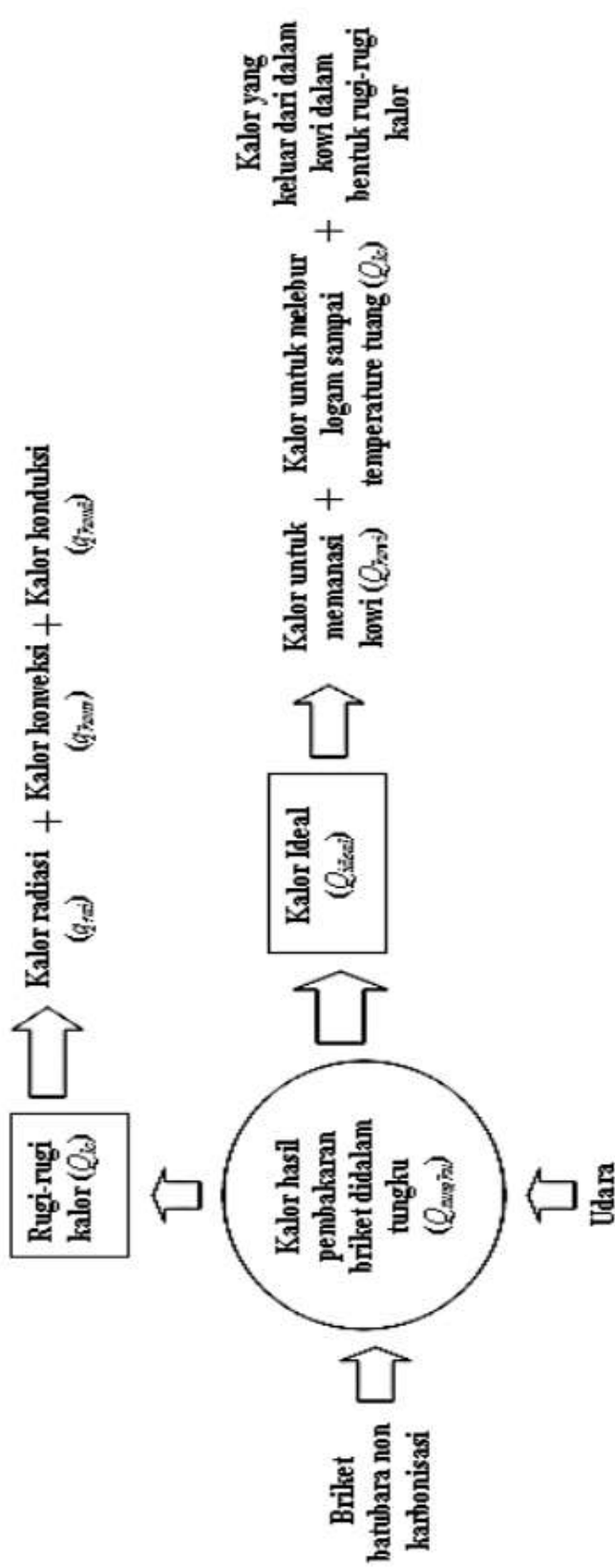
melebur logam, dihitung berdasarkan fraksi energi dari jumlah kalor yang dibutuhkan untuk proses perubahan fase skrap dari padat kecair. Jumlah kalor ini sangat tergantung kepada jenis logam yang akan dicairkan. Kalor berpindah dari bara briket yang sedang menyala dengan cara radiasi, konveksi dan konduksi seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.3.

Kecepatan perpindahan <sup>1</sup> kalor yang diterima oleh skrap kuningan logam didalam kowi tergantung pada:

1. Jumlah kalor yang dilepaskan dari hasil reaksi pembakaran,
2. Temperatur maksimum bara yang dicapai,
3. Kestabilan reaksi kimia pembakaran yang terjadi didalam ruang bakar.

Jumlah kalor yang dilepas pada saat reaksi pembakaran briket batubara dipengaruhi oleh hal-hal sebagai berikut, yaitu:

- <sup>1</sup> 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.



1 Gambar 2.4 Siklus pemanasan didalam tungku pengecoran logam menggunakan bahan bakar briket batubara non karbonisasi

- 1  
3. Tidak semua kalor yang dihasil dari proses pembakaran dapat digunakan untuk melebur logam, karena sebagian besar akan hilang dalam bentuk rugi-rugi kalor pada ruang bakar dan pada kowi.

Tinggi temperatur maksimum pada nyala bara briket yang dapat dicapai tergantung kepada efisiensi tungku, yaitu jumlah kalor yang digunakan secara efektif untuk melebur logam ( $Q_{ideal}$ ) dan jumlah kalor yang hilang ke lingkungan dalam bentuk rugi-rugi ( $Q_{losses}$ ). Jumlah kalor total ini adalah kalor yang harus disediakan oleh briket sebagai bahan bakar didalam tungku pengecoran logam ( $Q_{tungku}$ ).

1  
Pada briket ini, nilai komposisi abu yang besar hingga 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.

1  
Berat briket yang dibutuhkan untuk menghasilkan kalor yang diperlukan untuk melebur logam dari temperatur kamar ketemperatur tuangnya adalah :

$$m_{briket} = \frac{\Delta H_{tot}}{Q_{briket}} \quad (2.19)$$

Namun digunakan untuk dapat melebur logam, kalor dari hasil pembakaran briket terlebih dahulu digunakan untuk memanasi kowi yaitu : wadah tempat logam akan dilebur. 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 ( $Q_{ideal}$ ).

$$Q_{ideal} = \Delta H_{tot} + Q_{kw} \quad (2.20)$$

Sehingga efisiensi tungku adalah :

$$\eta = \frac{Q_{ideal}}{Q_{tungku}} \quad (2.21)$$

Berikut ini, hal-hal yang mempengaruhi pembakaran briket adalah:

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.

### 2.1.1 Kalor ideal

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.

Sebenarnya selama proses pembakaran briket dan proses peleburan kuningan berlangsung, sebagian kalor yang dihasilkan dari pembakaran briket didalam ruang bakar akan hilang kelingkungan sebagai 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 2.8 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:

$$\frac{Q_L}{Q_{ideal}} = \frac{1-\eta}{\eta} \quad (2.22)$$

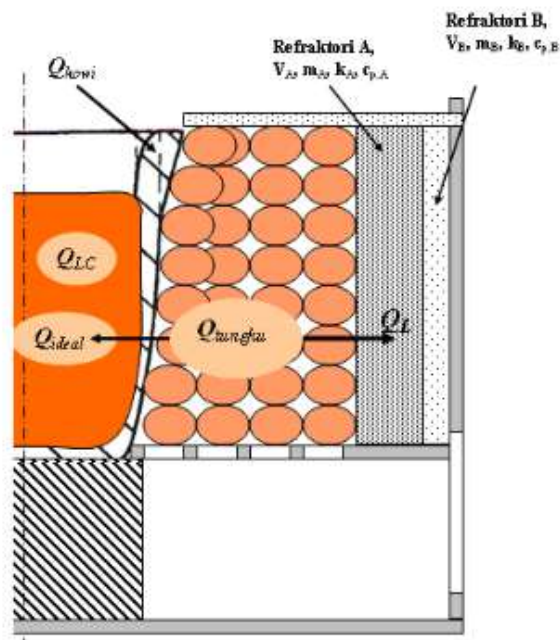
Persamaan (2.26) diatas tidak berlaku untuk  $\eta = 100 \%$ . Sehingga dapat dibuat hubungan antara  $Q_{ideal}$  dan  $Q_L$  untuk tingkat efisiensi tungku yang yang bervariasi dan ditampilkan pada Tabel 2.4

dibawah ini. Maka besar kalor ideal, kalor yang hilang ke lingkungan, dan kalor yang harus disediakan dari pembakaran briket untuk berbagai tingkat efisiensi tungku dapat dihitung.

Tabel 2.3 Hubungan antara efisiensi tungku  $\eta$  (%) dengan  $Q_L$  dan  $Q_{ideal}$

$\eta$ (%)	
100	$Q_L = 0$
80	$Q_L = 0.25 \cdot Q_{ideal}$
50	$Q_L = Q_{ideal}$
40	$Q_L = 1.5 Q_{ideal}$
20	$Q_L = 4 Q_{ideal}$
10	$Q_L = 9 Q_{ideal}$

Pada Gambar 2.9 berikut ini ditunjukkan arah aliran kalor hasil pembakaran briket didalam ruang bakar.



Gambar 2.8 Sketsa arah aliran kalor didalam ruang bakar



## 2.1.2 K<sup>1</sup> Kalor untuk memanasi kowi

Kalor yang dibutuhkan untuk memanasi kowi tergantung pada berat kowi dan beda temperatur pemanasan.

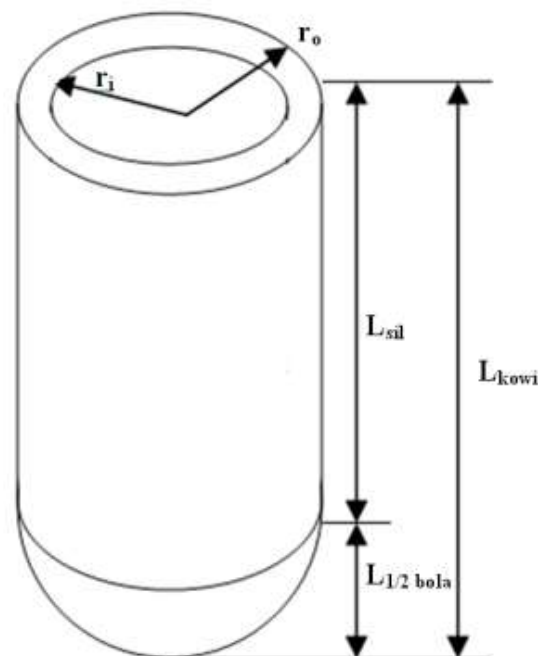
$$Q_{kowi} = m_{kowi} \cdot c_{p,kowi} (T_1 - T_0) \quad (2.22)$$

### 2.1.2.1 Kalor untuk memanasi kowi baja

Kapasitas kowi adalah tergantung kepada berat logam yang akan di cor dalam kowi sebanyak  $m_{lc}$  (kg) yaitu :

$$m_{lc} = \rho_{lc} \cdot V_{kowi} \quad (2.23)$$

$$\text{Atau : } m_{lc} = m_{sil} + m_{0.5bola} \quad (2.24)$$



Gambar 2.9. Kowi baja

Dimana volume total dinding kowi baja yang ditampilkan pada Gambar 9 adalah :

$$V_{kowi} = V_{sil} + V_{0.5bola}$$

$$V_{0.5bola} = \frac{2}{3}\pi r_i^3$$

Maka berat logam yang dicairkan dalam volume ½ bola

$$m_{0.5bola} = \rho_{lc} \cdot V_{0.5bola}$$

Sehingga berat logam yang dicairkan dalam volume silinder :

$$m_{sil} = m_{lc} - m_{0.5bola}$$

$$m_{sil} = \rho_{lc} \cdot V_{sil}$$

Volume silinder yang diisi logam cor adalah :

$$V_{sil} = \frac{m_{sil}}{\rho_{lc}}$$

$$V_{sil} = \pi \cdot L_{sil} \cdot r_i^2$$

Sehingga tinggi silinder adalah :

$$L_{sil} = \frac{V_{sil}}{\pi r_i^2}$$

Jadi tinggi kowi total adalah :

$$L_{kowi, tot} = L_{sil} + r_o \quad (2.25)$$

Volume dinding kowi :

$$V_{dinding} = \pi \left\{ \frac{2}{3} (r_o^3 - r_i^3) + L_{sil} (r_o^2 - r_i^2) \right\} \quad (2.26)$$

Berat kowi :  $m_{kowi} = \rho_{baja} \cdot V_{dinding}$

Kalor yang diperlukan untuk memanasi kowi baja adalah berat kowi dikali dengan kapasitas panas baja dan beda temperatur pemanasan, dimana berat jenis baja  $\rho$  adalah 7880 kg/m<sup>3</sup> dan kapasitas panasnya  $c_p$  adalah 0.511 kJ/kg.K.

### 2.1.2.2 Kalor untuk memanasi kowi silikon karbida dan kowi grafit

Volume dinding kowi yang dipanasi adalah :

$$V_{kowi} = V_{alas} + V_{dinding}$$

$$V_{alas} = \pi t \cdot r_{o,bawah}^2$$

Sehingga volume dinding kowi adalah :

$$V_{dinding} = \pi \left\{ (L_{kowi} - t) (r_{o,atas}^2 - r_{i,atas}^2) - t (r_{o,bawah}^2 - r_{i,bawah}^2) \right\} \quad (2.27)$$

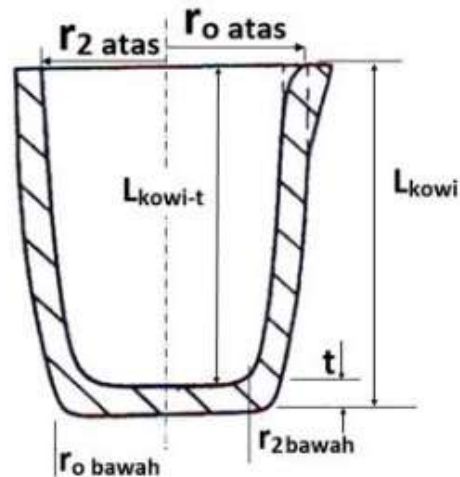
Jadi berat kowi  $m_{kowi} = \rho_{kowi} \cdot V_{kowi}$

Dimensi kowi silikon karbida dan kowi grafit untuk kapasitas peleburan logam  $m_{lc}$  ditunjukkan pada Gambar 2.10.

## 2.2 Dimensi ruang bakar

Berdasarkan uji coba yang telah dilakukan dengan memasukan briket kedalam kotak, maka didapat bahwa briket dengan volume

0.00108 m<sup>3</sup> akan mempunyai berat 0.693 kg. Sehingga volume yang dibutuhkan untuk menempatkan briket dengan berat yang sebenarnya ( $m_{real}$ ) adalah



Gambar 2.10 Dimensi kowi silikon karbida dan kowi grafit

$$V_{bbnk} = \left( \frac{0.00108}{0.693} \right) 7 m_{bbnkideal}$$

$$V_{bbnk} = 0.70056 m_{bbnkideal} \quad (2.28)$$

Jadi volume total daerah yang dipanasi adalah :

$$V_{tot} = V_{bbnk} + V_{kowi}$$

Volume kowi baja didalam ruang bakar adalah :

$$V_{kowi,baja} = V_{sil} + V_{0.5bola}$$

$$V_{kowi,baja} = \pi \cdot L_{sil} r_0^2 + \pi \cdot \frac{2}{3} r_0^3$$

$$V_{kowi,baja} = \pi r_0^2 \left( \frac{2}{3} r_0 + L_{sil} \right)$$

Volume kowi grafit dan silikon karbida dalam ruang bakar adalah :

$$V_{kowi,grafit} = V_{kowi,silkar} = \pi \cdot L_{kowi} \cdot r_{o,atas}^2 - \pi \cdot L_{kowi} \cdot r_{o,bawah}^2 \quad (2.29)$$

Jika kowi dan ruang bakar adalah daerah yang mengalami pemanasan selama proses pembakaran briket dan peleburan logam berlangsung, maka volume daerah yang dipanasi bila memakai kowi baja dan kowi grafit atau silikon karbida adalah :

a. Kowi baja adalah :

$$V_{tot} = 0.70056 \cdot m_{bbnk,real} + \pi \cdot r_o^2 \left( \frac{2}{3} r_o + L_{sil} \right) \quad (2.30)$$

b. Kowi grafit atau silicon karbida adalah :

$$V_{tot} = 0.70056 \cdot m_{bbnkideal} + \pi \left( L_{kowi} \cdot r_{o,atas}^2 - r_{o,bawah}^2 \right) \quad (2.31)$$

Selanjutnya, jika tinggi ruang bakar  $L_{rb}$  adalah sama dengan tinggi kowi total.

$$L_{rb} = L_{kowi,tot} \quad (2.32)$$

Maka luas penampang daerah yang dipanasi adalah :

$$A_1 = \frac{V_{tot}}{L_{rb}}$$

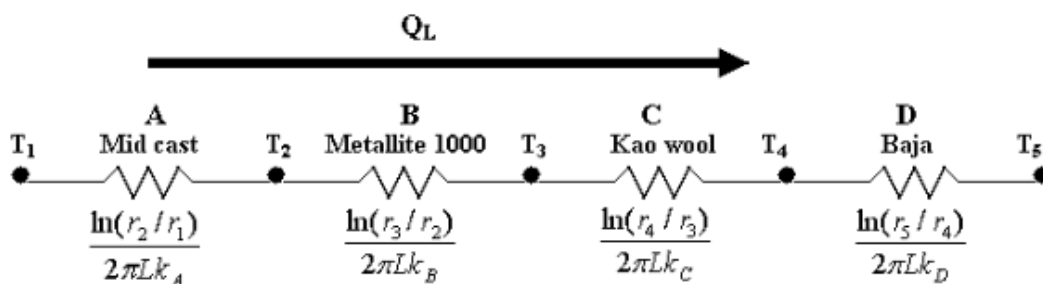
Sehingga panjang jari-jari dari pusat kowi ke dinding ruang bakar adalah :

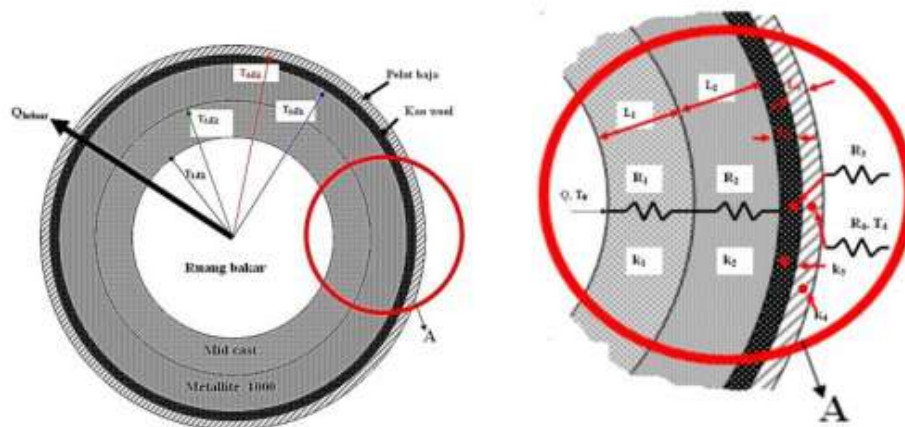
$$r_1 = \left( \frac{V_{tot}}{\pi \cdot L_{rb}} \right)^{1/2} \quad (2.33)$$

### 2.3 Dimensi lapisan refraktori

Banyak faktor yang berpengaruh terhadap efisiensi tungku, diantaranya yang terpenting adalah jenis material refractory pembangun tungku yang berfungsi untuk memperkecil rambatan panas yang akan keluar dari ruang bakar. Material ini harus bersifat isolator dan mampu beroperasi pada temperatur tinggi, sehingga dapat memperkecil rugi-rugi thermal yang akan terjadi.

Sebenarnya perpindahan kalor didalam tungku yang terjadi adalah konduksi, konveksi, dan radiasi. Namun untuk menghitung dimensi dinding tungku dan untuk menghambat kehilangan kalor yang akan terjadi pada dinding tungku semaksimal mungkin, maka digunakan perpindahan kalor konduksi pada silinder berlapis. Kalor didalam tungku dianggap seragam pada temperatur maksimal, yaitu 1200 °C. Maka berdasarkan perhitungan terhadap hambatan kalor pada dinding tungku, maka dapat dihitung hubungan antara efisiensi  $\eta$  dengan dimensi tungku.





Gambar 2.11. Perpindahan kalor yang terjadi pada lapisan refraktori dinding tungku

Perhitungan terhadap dimensi lapisan refraktori pada dinding tungku dilakukan berdasarkan hubungan perpindahan kalor untuk komposit pada silinder berlapis sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2.11 diatas. Hambatan terhadap aliran rugi-rugi kalor yang menembus lapisan refraktori pada dinding tungku dapat dihitung menggunakan persamaan diatas dapat ditulis dalam bentuk persamaan perpindahan panas berikut

$$Q_L = \frac{2\pi L(T_1 - T_5)}{\frac{\ln(r_2/r_1)}{k_A} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{k_B} + \frac{\ln(r_4/r_3)}{k_C} + \frac{\ln(r_5/r_4)}{k_D}} \quad (2.34)$$

Dimana :

$Q_L$  = kehilangan panas pada masing-masing tingkat efisiensi  $\eta$   
(kcal)

$T_1$  = Temperatur bara briket yang ingin dicapai,  $1200\text{ }^\circ\text{C} = 1473\text{ K}$

$T_5$  = Temperatur lingkungan,  $30\text{ }^\circ\text{C} = 303\text{ K}$

$k_A, k_B, k_C, k_D$  = konduktifitas panas lapisan refraktori

$L$  = panjang silinder yang akan diisi oleh logam cair dan akan dikelilingi oleh briket

$r_1$  = jari-jari bagian dalam tungku

$r_2$  = jari-jari bagian luar lapisan Midcast

$r_3$  = jari-jari bagian dalam lapisan Metalite 1000

$r_4$  = Jari-jari bagian luar lapisan kao wool

$r_5$  = jari-jari dinding baja bagian luar

Sifat-sifat fisik material kowi sangat penting dalam desain ini, karena akan berpengaruh terhadap kalor total yang harus di sediakan dari reaksi pembakaran briket, kalor yang harus disediakan untuk memanasi kowi, dan kalor untuk melebur logam paduan tembaga hingga temperatur tuangnya.

Pada industri kecil pengecoran yang biasanya menggunakan bahan bakar padat dan bahan bakar cair. Untuk melebur kuningan dengan kapasitas 150 kg, bahan bakar padat biasanya adalah batubara atau kokas, sedangkan bahan bakar cair adalah minyak tanah atau solar yang dicampur dengan bensin. Lama proses peleburan biasanya 3.5 jam hingga 4 jam.

Pada kapasitas yang sama, kowi silikon karbida dan grafit mempunyai bentuk dan ukuran yang sama. Namun sifat fisik kedua jenis kowi ini berbeda. Sifat fisik kowi grafit dan kowi silikon karbida ditampilkan pada Tabel 2.4 dan 2.5 dibawah ini.



Tabel 2.4. Sifat fisik kowi grafit

Komposisi	Karbon + tanah liat	
Sifat	Nilai	Satuan
Berat jenis	2267	kg/m <sup>3</sup>
Kalor fusi	117	kJ/mol
Kapasitas panas jenis	8.517	J/mol.K
Konduktifitas panas	151	W/m.k

Tabel 2.5 Sifat fisik kowi silikon karbida

Sifat	Nilai	Satuan
Temp operasi maksimum	1650	°C
Berat jenis	3.1	g/cm <sup>3</sup>
Ketangguhan K <sub>IC</sub>	4.6	Mpa.m <sup>1/2</sup>
Konduktifitas panas	120	W/m.°K
Panas jenis	750	J/kg.°K

### 2.3.1 Semen tahan api mid cast

Semen tahan api yang dipilih untuk desain ini adalah yang dapat beroperasi sampai temperatur 1500 °C yaitu dari jenis *midcast*. Konduktifitas panasnya adalah 1.31 W/m.K. Panas jenis 2560 kg/m<sup>3</sup>. Penambahan air : 11-13 %. Komposisi kimia *midcast* ditunjukkan pada Table 2.8. berikut ini.

Tabel 2.6 Komposisi Kimia *midcast*

Senyawa	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Komposisi (%)	73.5	7.6	8.8	4.6

### 2.3.2 Metallite-1000

Setelah lapisan *midcast*, maka material pelapis berikutnya adalah *Metallite-1000* yang merupakan semen tahan api yang mampu beroperasi sampai dengan temperatur 1000 °C. Konduktifitas panas 0.5 W/mK. Berat jenis 1100 kg/m<sup>3</sup>. Penambahan air 15-17 %. Sedangkan komposisi kimia *Metallite-1000* ditampilkan pada Tabel 2.7 berikut ini.

Tabel 2.7 Komposisi Kimia *Metallite-1000*

Senyawa	$Al_2O_3$	$SiO_2$	$CaO$	$Fe_2O_3$
Komposisi (%)	33	39	22	4.6

### 2.3.3 Kao wool

Kao wool adalah material isolator panas dalam bentuk serat dan disebut dengan *blanket*. Material ini mampu beroperasi sampai dengan temperatur 1000 °C. Konduktifitas panas 0.038 W/mK Berat jenis 222 kg/m<sup>3</sup>. Komposisi kimia Kao wool ditampilkan pada Tabel 2.8 berikut ini.

Tabel 2.8 Komposisi kimia Kao wool

Senyawa	$Al_2O_3$	$SiO_2$	$ZrO_2$	$Cr_2O_3$
Komposisi (%)	43	52	-	-

#### 2.3.3.1 Pelat baja

Pelat baja ini digunakan sebagai casing dan alas briket di ruang bakar. Pelat yang digunakan adalah yang terdapat dipasar dengan

komposisi karbon kurang dari 0.2 %. Tebal pelat adalah 1.8 mm. Konduktifitas panas pelat adalah : 54 W/mK.

## 2.4 Analisa thermal

### 2.4.1 Konsep Effisiensi Thermal

Menurut Hukum Thermodinamika ke 2, pada suatu system yang tertutup, dimana tidak terjadi perpindahan kalor dari dalam system ke lingkungan, maka tidak akan terjadi perubahan energi didalamnya. Prinsip yang disebutkan dalam Hukum Thermodinamika ini hanya akan terjadi bila suatu sistem diisolasi dengan sempurna sehingga tidak terjadi kebocoran sekecil apapun yang dapat menyebabkan energi didalam system keluar ke lingkungan. Kenyataan yang terjadi di alam adalah bahwa kondisi ideal ini tidak mungkin tercapai. Hal yang dapat dilakukan adalah meminimalisasi kebocoran yang mungkin terjadi dalam bentuk rugi-rugi kalor ( $Q_L$ ) dengan memilih material isolator yang sesuai dengan kondisi operasi.

Rugi-rugi kalor didalam suatu system thermal seperti tungku pengecoran kuningan ini terjadi karena perpindahan kalor konduksi, konveksi, dan radiasi. Kalor yang dapat digunakan untuk melaksanakan fungsi tungku untuk melebur kuningan didalam kowi setelah dikurangi dengan rugi-rugi kalor yang terjadi merupakan kalor efektif . Kalor efektif ini adalah kalor ideal ( $Q_{ideal}$ ) yang merupakan jumlah dari **kalor yang dibutuhkan untuk melebur logam ( $Q_{lc}$ ) dan kalor yang dibutuhkan untuk memanasi kowi ( $Q_{kowi}$ )**. Perbandingan

antara kalor efektif ( $Q_{ideal}$ ) dan kalor total dari pembakaran briket didalam tungku atau  $Q_{tungku}$  disebut dengan efisiensi thermal.

$$\eta = \frac{Q_{ideal}}{Q_{tungku}} (\%) \quad (2.35)$$

Upaya-upaya yang dapat dilakukan untuk menaikkan efisiensi tungku adalah dengan memperkecil rugi-rugi kalor yang terjadi atau dengan melakukan *manajemen losses*. Namun sebelum dapat melakukan *manajemen losses* maka terlebih dahulu harus dilakukan analisa terhadap siklus thermal yang terjadi pada tungku. Hubungan antara  $Q_{ideal}$ ,  $Q_L$ , dan  $Q_{tungku}$  dapat di visualisasikan dalam bentuk Diagram *Sankey* yang ditampilkan pada Gambar 2.12 dibawah ini. Pada ini ditampilkan bahwa rugi-rugi kalor yang terjadi disebabkan karena adanya kehilangan kalor akibat radiasi, konduksi, dan radiasi. Sedangkan kalor ideal terdiri atas kalor untuk memanasi kowi dan untuk melebur logam.

#### **2.4.2 Analisa Thermal pada ruang bakar**

Perpindahan kalor yang terjadi pada ruang bakar tungku pengecoran logam adalah : radiasi, konveksi, dan konduksi. Besarnya kehilangan kalor total pada ruang bakar adalah :

$$Q_L = q_{radiasi} + q_{konveksi} + q_{konduksi} \quad (2.36)$$

Besar perpindahan kalor ini akan menentukan efisiensi thermal *overall* yang terjadi pada tungku. Efisiensi tungku adalah

perbandingan antara kalor efektif yang dapat digunakan untuk melebur logam dengan kalor yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar.

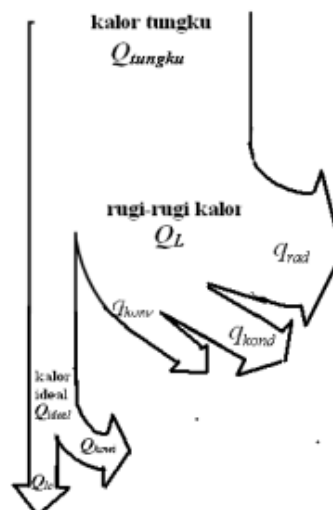
### 2.4.3 Radiasi

Kehilangan kalor pada ruang bakar akibat radiasi dihitung sebagai benda hitam berbentuk lingkaran sebesar diameter ruang bakar yang dikurangi dengan diameter kowi ditambah dengan pantulan radiasi di dalam silinder berlubang.

Kehilangan kalor dalam ruang bakar diasumsi sebagai silinder berlubang dihitung dengan memasukan faktor geometri pada ruang bakar yang berbentuk silinder  $F_{ij}$  yaitu:

$$q_{radiasi} = A_i F_{ij} \sigma (T_{bara}^4 - T_{lingkungan}^4) \quad (2.37)$$

$A_i$  adalah luas penampang llingkaran silinder berlubang, dan  $\sigma$  adalah konstanta Boltzman yang besarnya  $5.670 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ .



Gambar 2.13 Sankey diagram pada tungku pengecoran kuningan

#### 2.4.4 Konveksi

Kehilangan kalor konveksi yang terjadi pada ruang bakar hanyalah akibat konveksi bebas pada permukaan bagian atas. Laju perpindahan kalor konveksi bebas menurut Hukum Newton untuk pendinginan adalah:

$$q = \bar{h} A_s (T_s - T_\infty) \quad (2.37)$$

$\bar{h}$  adalah koefisien perpindahan kalor konveksi rata-rata yang dapat dihitung dengan menggunakan *Rayleigh Number*.  $A_s$  adalah luas permukaan yang mengalami perpindahan kalor konveksi.  $T_s$  adalah temperatur bara dan  $T_\infty$  adalah temperatur udara lingkungan. Besarnya *Rayleigh Number* dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\alpha\nu} \quad (2.38)$$

Dimana  $g$  adalah percepatan gravitasi bumi,  $\beta$  adalah koefisien ekspansi udara,  $\nu$  adalah viskositas kinematik, dan  $\alpha$  difusivitas termal. Persamaan (2.21) diatas akan digunakan untuk mendapatkan nilai *Nusselt Number*. Sehingga koefisien perpindahan kalor konveksi rata-rata adalah:

$$\bar{h} = \frac{\overline{Nu}_L k}{L} \quad (2.39)$$

Sedangkan  $k$  adalah konduktifitas kalor udara dan *Nusselt Number* adalah:

$$\overline{Nu}_L = 0.54 Ra_L^{1/4} \quad (2.40)$$

$L$  adalah luas permukaan horizontal dibagi dengan perimeternya. Pada perpindahan kalor konveksi bebas dimana perbedaan temperatur yang terjadi sangat besar, maka Nusselt Number akan bertambah dengan bertambahnya *Rayleigh number*, sehingga  $5 \cdot 10^2 \leq Ra \leq 10^6$ ,  $10^{-3} \leq Pr \leq 10^3$ .  $10^6$ . Temperatur film  $T_f = (T_s + T_\infty)/2$ . Dimana  $T_s$  adalah temperatur bara briket dan  $T_\infty$  adalah temperatur udara lingkungan. Kalor konveksi total yang terjadi pada ruang bakar adalah:

$$q_{konveksi} = q_{konv,atas} + q_{konv,bwh} \quad (2.41)$$

#### 2.4.5 Konduksi

Kehilangan kalor akibat konduksi dihitung terhadap pelat baja yang menjadi alas ruang bakar dengan konduktifitas kalornya adalah 54 W/m. Pelat ini terletak di bagian bawah ruang bakar untuk tempat alas briket. Pada pemodelan ini pelat baja ini seolah-olah terletak di atas tanah.

$$q_{konduksi} = -kA \frac{dt}{dx} \quad (2.42)$$

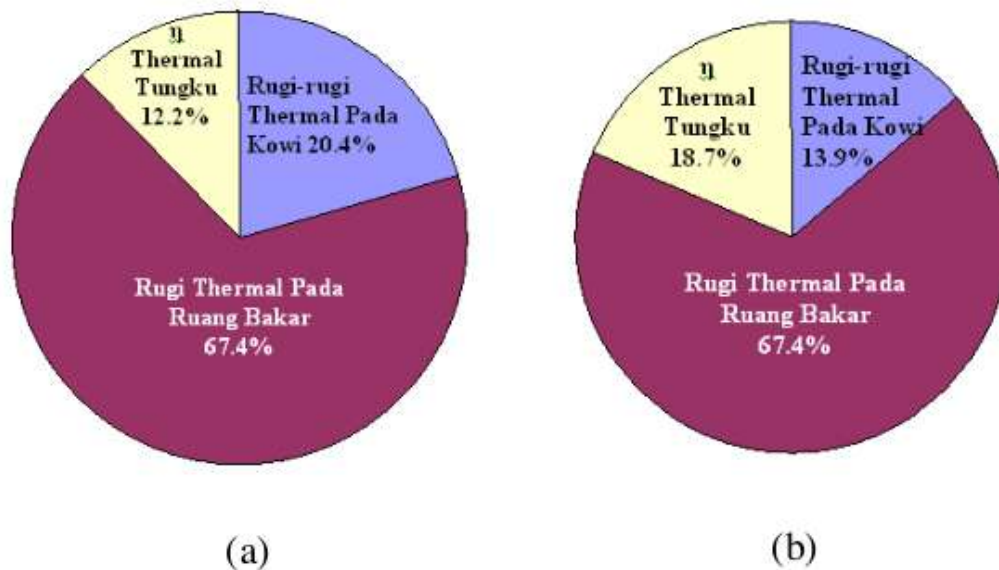
Dimana :  $k$  adalah konduktifitas kalor baja,  $A$  adalah luas permukaan perpindahan kalor pada pelat baja,  $dt$  adalah beda temperatur antara kedua permukaan pelat baja yaitu permukaan yang bersentuhan dengan bara briket dan permukaan yang kontak dengan udara lingkungan, dan  $dx$  adalah tebal pelat baja.

## 2.5 Effisiensi thermal

Berdasarkan hasil perhitungan secara analitis yang telah dilakukan pada di ketahui efisiensi thermal untuk masing-masing kondisi yang ditampilkan pada Gambar 2.14., 2.15, dan 2.16., Pada Gambar 2.14. (a) ditampilkan perbandingan nilai kalor pada kondisi ruang bakar dibuka, kowi kosong yang juga dibuka. Kehilangan kalor pada dinding kowi terjadi secara radiasi kearah atas tungku. Sedangkan kehilangan kalor akibat konveksi bebas terjadi didalam kowi dan dipinggir dinding kowi bagian atas karena pengaruh perbedaan temperatur yang besar antara permukaan kowi dengan udara disekitarnya. Hal ini mengakibatkan terjadi perbedaan kerapatan udara yang menyebabkan udara didalam kowi bergerak dan membawa panas kelingkungan dengan cepat. Sedangkan perpindahan kalor konduksi yang terjadi adalah dari dinding kowi ke penyangganya. Kehilangan kalor yang terjadi pada kowi kosong adalah sebanyak 20.4 % dari total kalor yang dilepaskan dari reaksi pembakaran briket didalam ruang bakar. Sedangkan kehilangan kalor pada ruang bakar yang terbuka adalah sebanyak 67.4%. Sehingga efisiensi thermal tungku hanya 12.2%. Pada Gambar 2.14 (b) kajian analitis dilakukan terhadap kondisi ruang bakar dan kowi dalam keadaan terbuka, namun kowi dalam kondisi penuh. Pasir dalam hal ini berfungsi sebagai tahanan panas sehingga kehilangan panas akibat radiasi dan konveksi pada kowi hanya terjadi pada pinggir kowi bagian atas yang kontak dengan udara lingkungan. Hal inilah yang menyebabkan perbedaan



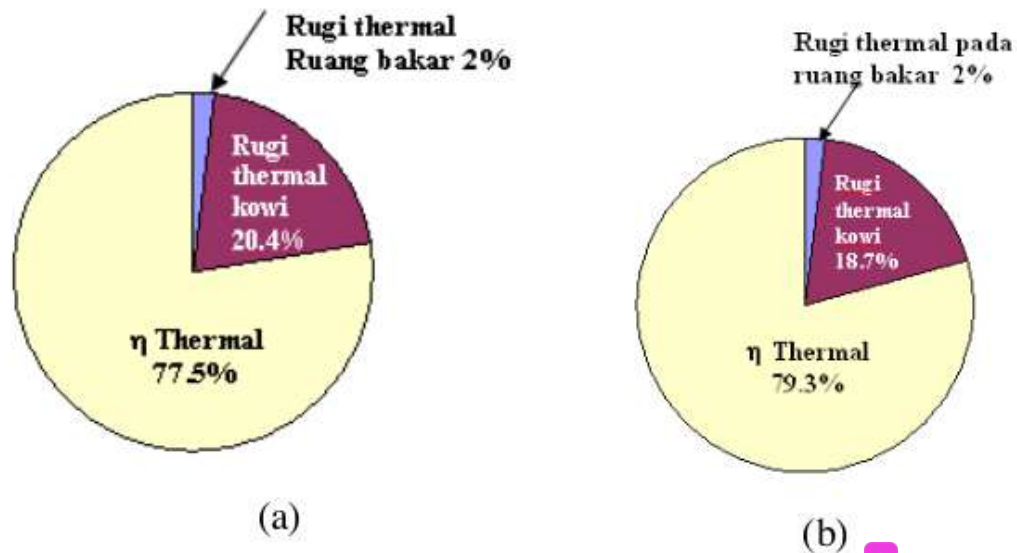
temperatur yang kecil pada bagian dalam kowi dan bara yang terdapat diluar kowi. Kehingan kalor yang terjadi pada kowi berisi penuh ini hanya 13.9%, sehingga efisiensi thermal naik dari 12.2% menjadi 18.7%.



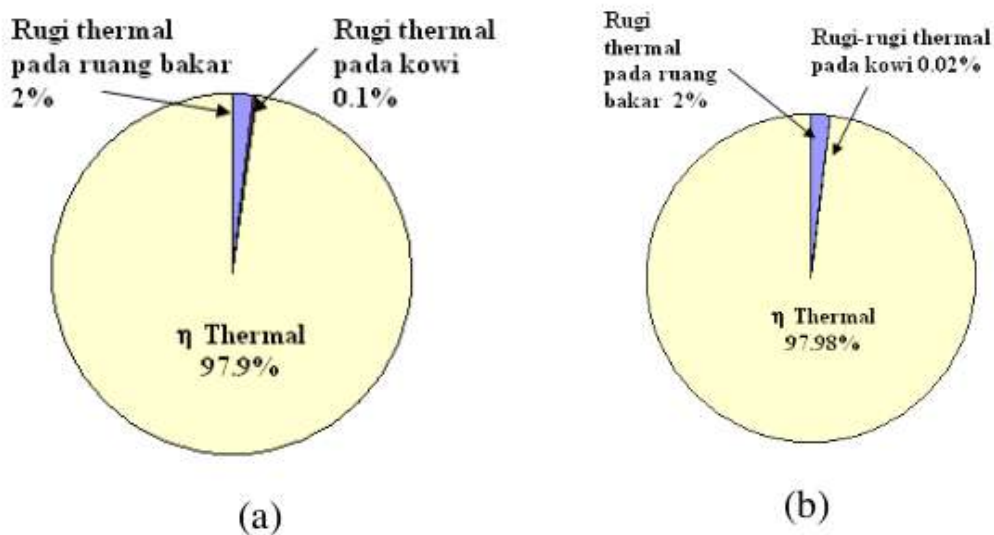
Gambar 2.14 2 Perbandingan antara rugi-rugi dan efisiensi thermal yang terjadi pada kondisi ruang bakar dibuka (a) kowi kosong dibuka (b) kowi penuh pasir dibuka

Hasil kajian analitis ditampilkan pada Gambar 2.15 adalah hasil kajian terhadap ruang bakar yang ditutup sehingga tidak terjadi kehilangan kalor akibat radiasi dan konveksi. Rugi-rugi thermal yang terjadi pada ruang bakar hanya 2 % dari kalor yang dilepaskan oleh reaksi pembakaran briket didalam ruang bakar. Gambar 2.15. (a) menunjukkan efisiensi thermal tungku mencapai 77.5% untuk kowi

kosong, sedangkan pada Gambar 2.15 (b) menunjukkan bahwa untuk kowi berisi penuh efisiensi thermalnya mencapai 79.3%.



Gambar 2.15. Perbandingan rugi-rugi dan efisiensi thermal pada kondisi ruang bakar ditutup (a) kowi kosong dibuka (b) kowi penuh dibuka



Gambar 2.16. Perbandingan antara rugi-rugi dan efisiensi thermal yang terjadi pada kondisi ruang bakar ditutup (a) kowi kosong ditutup (b) kowi penuh pasir dtutup

Pada Gambar 2.16. berikut ini ditampilkan hasil kajian analitis untuk ruang bakar ditutup dan kowi ditutup. Pada Gambar 2.16. (a) ditunjukkan bahwa rugi-rugi thermal yang terjadi pada kowi kosong yang ditutup adalah sebesar 0.1% sedangkan pada Gambar 2.16.(b) untuk kowi berisi pasir yang ditutup adalah sebesar 0.02%. Hal ini disebabkan karena pada kowi kosong masih ada sedikit kalor yang keluar lewat tutup kowi sedangkan pada kowi berisi pasir, aliran kalor telah ditahan lebih dahulu oleh pasir. Sehingga efisiensi thermal tungku naik sedikit dari 97.9% menjadi 97.98%.

Berdasarkan hasil kajian aksperimen dan analitis di atas dapat ternyata bahwa:

1. Efisiensi termal untuk ruang bakar dan kowi dibuka:

- Kowi kosong,  $\eta_{thermal} = 12.2 \%$
- Kowi penuh,  $\eta_{thermal} = 18.7 \%$

2. Efisiensi termal pada ruang bakar yang ditutup:

- Kowi kosong dibuka:  $\eta_{thermal} = 77.5 \%$
- Kowi penuh dibuka:  $\eta_{thermal} = 79.3 \%$

3. Efisiensi termal untuk ruang bakar dan kowi ditutup:

- Kowi kosong ditutup:  $\eta_{thermal} = 97.9$
- Kowi penuh ditutup:  $\eta_{thermal} = 97.98 \%$

Pada saat proses peleburan dimana tungku ditutup dan kowi berisi penuh dan ditutup, maka kalor yang dipindahkan kedalam kowi dapat mencapai 97.98 % dari kalor yang dihasilkan oleh reaksi

pembakaran briket. Sedangkan pada saat kowi dibuka dan berisi penuh, misalnya pada saat proses penuangan, maka efisiensi termal tungku turun menjadi 77.5–79.3%

## 2.6 Manajemen Losses

Rugi-rugi kalor yang terjadi pada tungku pengecoran sebenarnya tidak diinginkan, oleh karena itu harus diusahakan sekecil mungkin. Usaha untuk mengurangi rugi-rugi kalor ini adalah dengan melakukan *manajemen losses* yaitu berdasarkan bagaimana kalor tersebut berpindah. Oleh karena itu *manajemen losses* untuk kehilangan kalor akibat radiasi akan berbeda dengan *manajemen losses* untuk kehilangan kalor akibat konveksi dan akan berbeda pula dengan *manajemen losses* akibat konduksi.

### SUMBER PUSTAKA:

- [1] PT. Bukit Asam (Persero), Tbk, 2009, WAWANCARA, Natar, Lampung
- [2] Altun, NE., Hicyilmaz, C., Bagci, AS. 2003, “Combustion Characteristics of Coal Briquette 1. Thermal Feature”, International Journal ACS, , p. 1266-1276

## **BAB 3 PERANCANGAN TUNGKU PENGECORAN LOGAM**

Melakukan desain untuk suatu produk dimulai dengan membuat konsep desain, dimana sebelum dilakukan kajian analitis terhadap ukuran masing-masing komponen terlebih dahulu dibuat konsep bentuk arsitektur alat yang akan didesain. Setelah dibuat konsep tentang arsitektur alat, kemudian dibuat kajian analitis yang berisi perhitungan terhadap ukuran masing-masing bentuk fisik komponen-komponen pembangun alat tersebut. Setelah ukuran dan dimensi masing-masing komponen alat ditemukan, maka dibuat detil desain yang dinyatakan dalam bentuk gambar teknik. Dalam melakukan desain dikelompokkan dalam 3 level tingkat desain yaitu :

1. *routine* desain
2. *innovative* desain
3. *creative* desain

*Routine* desain adalah membuat suatu desain dengan menggunakan metode dan langkah-langkah yang telah diketahui dan telah biasa dilakukan. *Innovative desain* adalah melakukan langkah-langkah desain tidak seperti yang biasa dilakukan, namun menggunakan dasar-dasar atau prinsip-prinsip ilmu pengetahuan yang telah dikenal dengan baik. *Creative* desain adalah melakukan desain dengan tidak menggunakan langkah-langkah atau metode-metode yang telah dikenal sebelumnya.

Arsitektur suatu produk desain disusun atas komponen-komponen fisik yang akan membentuk fungsi dari suatu system. Konsep arsitektur suatu produk desain terdiri atas *chunks*. Masing-masing *chunk* terdiri atas beberapa komponen fisik yang akan memberikan suatu fungsi didalam system. Terdapat 2 jenis *chunk* dalam arsitektur, yaitu :

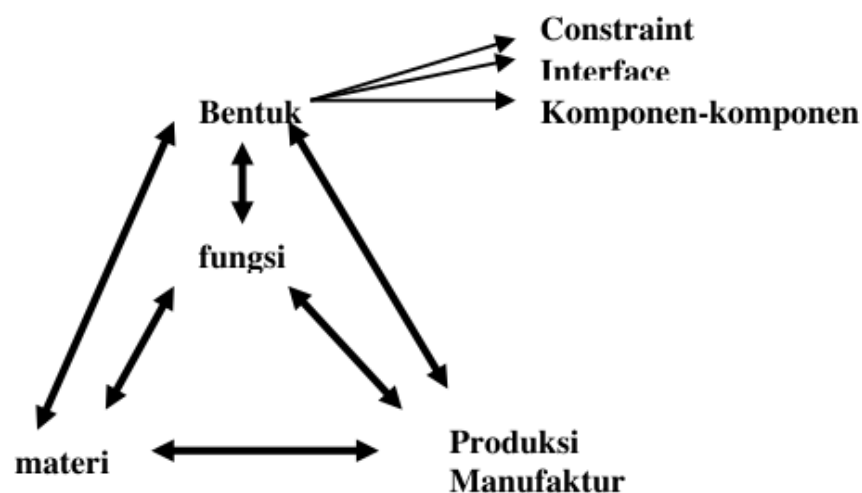
1. *Modular* arsitektur
2. *Integral* arsitektur

Pada *modular* arsitektur, gabungan dari semua *chunk* hanya memberikan satu fungsi didalam system yang mudah untuk didefinisikan. Sedangkan pada *integral* arsitektur, masing-masing *chunk* mempunyai fungsi sendiri-sendiri. Gabungan dari beberapa *chunk* sulit untuk didefinisikan. Terdapat 4 langkah dalam membuat arsitektur produk desain, yaitu :

1. Membuat skema produk
2. Menggambar komponen-komponen pendukung
3. Menggambar perkiraan geometri produk
4. Mengidentifikasi interaksi dari masing-masing komponen

Membuat skema produk adalah membuat konsep tentang bentuk fisik dari produk desain yang akan dibuat. Kemudian pada skema produk tersebut di tentukan fungsi dan digambarkan masing-masing komponen-komponen pendukung. Selanjutnya dibuat perkiraan geometri dari arsitektur produk. Sehingga interaksi dari masing-masing komponen pendukung dapat diketahui. Pada Gambar

3.1 dibawah ini ditampilkan hubungan bentuk konfigurasi alat dengan fungsinya serta pertimbangan-pertimbangan terhadap komponen-komponen pendukungnya. Selanjutnya berdasarkan skema yang telah dibuat, maka dapat di tentukan proses yang akan terjadi, proses ini menyangkut : arah aliran fluida, perpindahan kalor, dan perawatan yang dapat dilakukan. Kajian analitis untuk menentukan dimensi komponen-komponen pendukung dan konfigurasi dari produk desain disebut dengan *parametric design*. Pada *parametric design* ini dimasukkan pertimbangan terhadap sifat fisik dan sifat mekanik material serta fenomena proses dan perpindahan kalor yang akan berlangsung serta proses manufaktur yang dapat dilaksanakan. Sehingga pada fase ini akan didapat produk desain yang berada pada kondisi performance yang maksimum, biaya yang minimum pada suatu tingkat efisiensi alat. Kondisi ini disebut dengan *Robustness*, yaitu alat yang dibuat berdasarkan desain pada kondisi optimum.



Gambar 3.1 Skema hubungan antara bentuk, fungsi, dan ketergantungan antara material dan cara produksi

Sebelum meningkat ke fase detil desain, maka perlu dimasukkan nilai-nilai yang menyangkut interaksi antara alat dan manusia, yaitu :

1. *Aesthetics*
2. *Ergonomics*

Nilai-nilai *aesthetics* adalah menyangkut visualisasi, yaitu : bentuk produk, warna, dan keindahan untuk dilihat. Sedangkan *ergonomics* adalah kemudahan untuk mempergunakan produk, yaitu kemudahan untuk dioperasikan, kemudahan untuk perawatan, dan keamanan bagi operator dan dampak lingkungan. Selanjutnya untuk dibuat prototype produk desain, maka terlebih dahulu dibuat detil desain. Pada detil desain ini, bentuk arsitektur produk dan ukuran komponen-komponen pendukungnya di tampilkan dalam bentuk gambar teknik. Sehingga produk dapat dimanufaktur.

### 3.1 Arsitektur Tungku

Pada desain tungku pengecoran logam berbahan bakar briket batubara non karbonisasi ini digunakan 3 jenis kowi, yaitu kowi baja, kowi grafit, dan kowi silikon karbida. Skrap logam yang akan dilebur dimasukan kedalam kowi. Kemudian skrap logam tersebut dipanasi dari luar dengan menggunakan kalor hasil pembakaran briket batubara non karbonisasi sampai skrap logam mencair dan cukup encer untuk dituang kedalam cetakan.



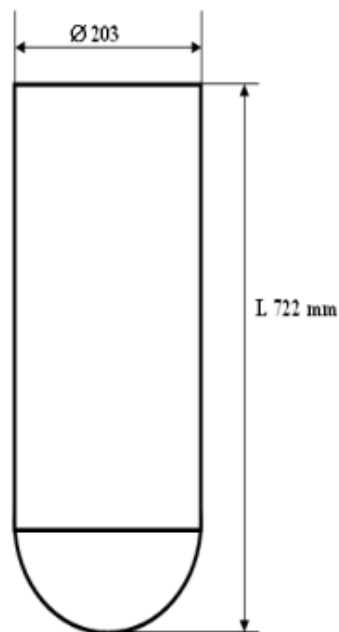
### 3.2 Kriteria Desain

Proses desain tungku pengecoran logam dimulai dengan menentukan kriteria desain. Pada bab ini diberikan contoh desain tungku pengecoran kuningan ini dilakukan dengan menggunakan empat jenis kowi, yaitu : kowi baja berdiameter 203 mm, kowi baja berdiameter 266 mm, kowi silikon karbida, dan kowi grafit. Gambar 3.2 s/d 3.5 dibawah ini menunjukkan perbedaan geometri dan dimensi untuk keempat jenis kowi tersebut pada kapasitas peleburan yang sama yaitu 150 kg kuningan. Karena desain ini bertujuan untuk membuat acuan yang dapat membantu industri kecil <sup>2</sup> pengecoran kuningan menggunakan bahan bakar briket batubara non karbonisasi, maka untuk itu terlebih dahulu ditentukan kriteria. desain untuk tungku yang menggunakan keempat jenis kowi diatas.

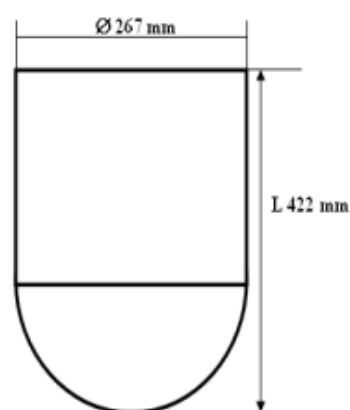
Tabel 3.1 Kriteria desain tungku pengecoran kuningan menggunakan kowi baja  $D_o = 203$  mm, kowi baja  $D_o$  <sup>1</sup> 267 mm, kowi silikon karbida, kowi grafit, menggunakan bahan bakar briket batubara non karbonisasi untuk kapasitas peleburan 150 kg

Kapasitas peleburan	: 150 kg
Konsumsi bahan bakar	: < 210 kg
Dimensi :	
• Ruang bakar $r_l$	: < 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

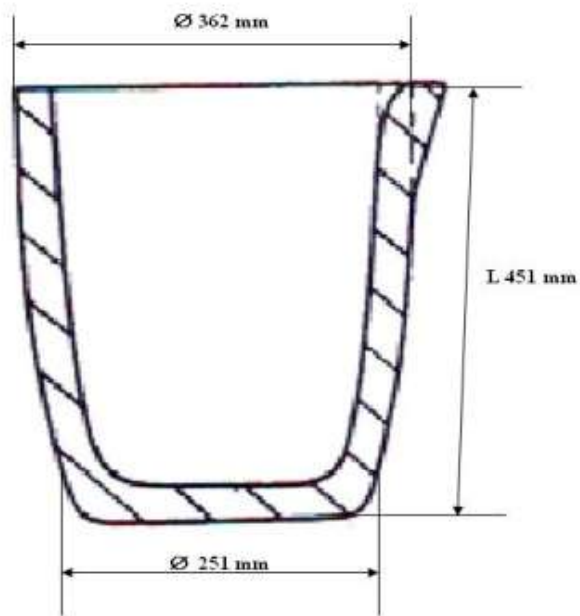
Kriteria desain ditampilkan pada Tabel 3.1 untuk kowi dengan kapasitas peleburan 150 kg. Pada kriteria desain ini ditampilkan batas maksimum penggunaan bahan bakar, dan dimensi jari-jari ruang bakar.



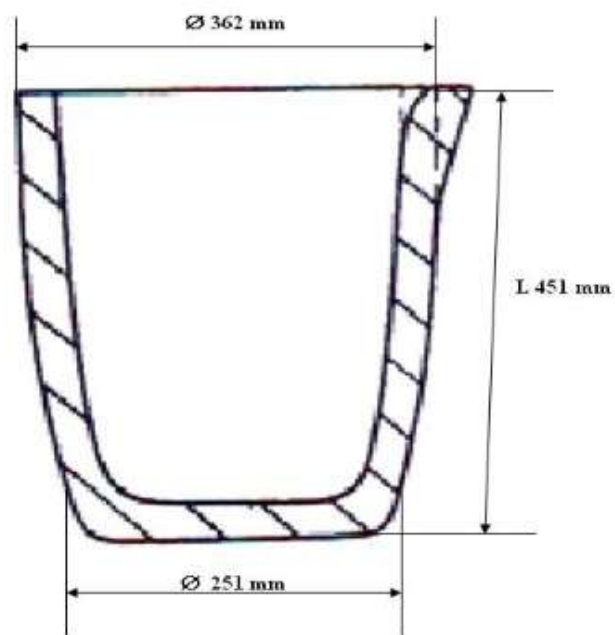
Gambar 3.2 Kowi Baja  $D_o = 203$  mm kapasitas peleburan 150 kg kuningan



Gambar 3.3 Kowi Baja  $D_o = 267$  mm kapasitas peleburan 150 kg kuningan



Gambar 3.4 Kowi Silicon Karbida kapasitas peleburan 150 kg kuningan



Gambar 3.5 kowi grafit kapasitas peleburan 150 kg kuningan.

diameter tungku, waktu peleburan, dan laju peleburan kuningan. Hal ini adalah sebagai acuan untuk penghematan konsumsi bahan bakar, penghematan ruang, dan waktu peleburan. Kriteria desain untuk tungku dengan menggunakan berbagai jenis kowi diatas adalah untuk menentukan jenis tungku yang diinginkan dengan membatasi:

1. Kapasitas peleburan
2. Konsumsi bahan bakar
3. Jari-jari ruang bakar dan diameter tungku
4. Waktu peleburan
5. Temperatur yang akan dicapai

Laju peleburan kriteria desain ini sangat penting dinyatakan pada saat awal desain untuk menyesuaikan besar ruang yang disediakan untuk meletakkan tungku dan membatasi biaya yang akan dikeluarkan dalam membuat tungku.

### 3.2.1 Tungku pengecoran logam menggunakan bahan bakar briket batubara

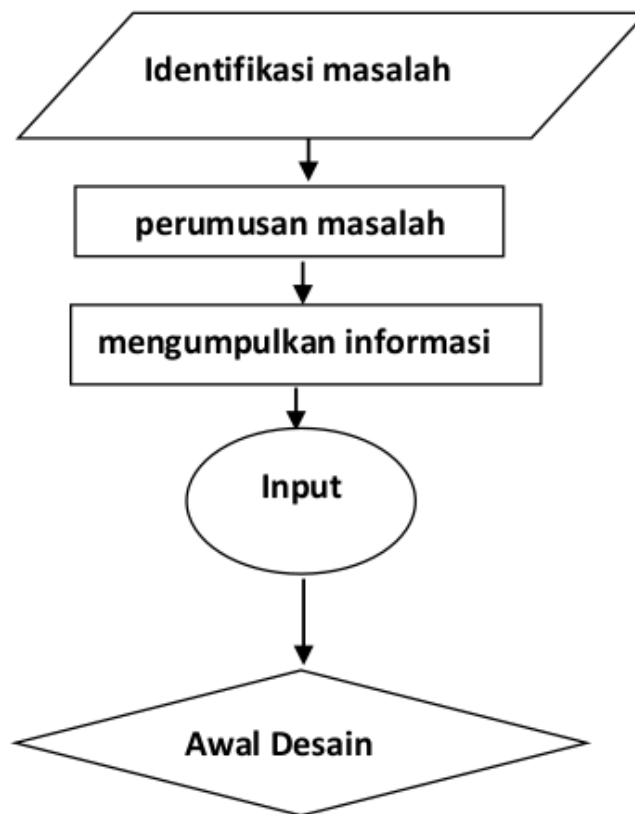
Proses pengecoran adalah proses pencairan logam dalam tungku peleburan. Kemudian logam cair dituang kedalam cetakan dan dibiarkan hingga membeku. Proses pengecoran adalah salah satu cara untuk membentuk logam. Melalui proses pengecoran dapat dibentuk komponen-komponen yang kompleks yang tidak dapat dibentuk melalui proses permesinan. Selain itu pada proses pengecoran juga dapat dilakukan perbaikan sifat logam melalui pamaduan beberapa

jenis unsur untuk mendapatkan sifat fisik dan mekanik sesuai dengan yang diinginkan.

Proses pengecoran sebenarnya telah dikenal dan dilakukan orang jauh sebelum Masehi. Di daerah timur jauh (sekitar daerah Thailand dan China) telah dilakukan pemaduan tembaga dengan arsen sejak tahun 3000 SM. Arsen ditambahkan sebanyak 4% - 12%, namun metode pengecoran yang dipergunakan saat itu belum diketahui. Selanjutnya pada zaman Mesopotamia dan Mesir kuno telah mulai dilakukan pencampuran dengan menggunakan timah putih, *Sn*, sebanyak 5 - 10%. Pencampuran ini ternyata menurunkan titik cair, memperbaiki kekuatan logam, dan menimbulkan permukaan coran yang halus dan berwarna indah. Kemudian, Cellini, pada zaman Renaissance mulai melakukan uji coba pencampuran tembaga dengan seng, *Zn*, dengan menggunakan cetakan lilin. Pengecoran ini kemudian dikenal dengan nama *investment casting* dan sering digunakan untuk menghasilkan produk-produk seni.

### **3.3 Konsep Desain**

Prosedur dalam mendesain sesuatu peralatan dilakukan berdasarkan masalah yang timbul dalam ***Problem Area***. Selanjutnya berdasarkan ***Problem Area*** tersebut maka dapat dirumuskan ***Problem statement*** untuk dicari jawabannya atau solusi dari masalah yang timbul. Pada Gambar 3.6 berikut ini ditampilkan prosedur untuk memulai langkah awal dalam mendesain suatu produk desain.



Gambar 3.6 Prosedur untuk memulai langkah untuk awal desain

Setelah *problem statement* menjadi jelas maka dapat dilakukan *gathering information* sebagai *input* untuk memulai *intial design*. Kemudian dilakukan langkah desain selanjutnya. Dalam melakukan desain dilakukan serangkaian pengambilan keputusan yang menggabungkan sub-sub system menjadi suatu system. Keputusan ini diambil dengan memilih dari beberapa pilihan. Dalam hal mendesain tungku peleburan logam, harus diperhatikan benar rugi-rugi kalor dan kontaminasi yang mungkin terjadi. Dalam hal ini rugi-rugi kalor dan kontaminasi akibat kontak dengan lingkungan harus sekecil mungkin. Pada system thermal hal yang utama adalah energi dan aliran fluida.

Selanjutnya dalam mendesain suatu produk, suatu yang memerlukan untuk di lakukan maximized atau minimized di sebut 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 objective function didasarkan pada konsumsi energi, transport energy dan losses, keterbatasan ruang dan material. Selain itu, pada system thermal experiment yang dilakukan pada suatu prototype biasanya terbatas. Oleh karena itu, optimal design biasanya dilakukan berdasarkan objective function yang akan di minimized atau miximized pada characteristic yang dipilih, seperti : biaya, effisiensi, output, atau kombinasi dari output/biaya, effisiensi/input, dll.

### **3.3.1 Langkah desain tungku pengecoran**

Pada desain tungku pengecoran kuningan ini, *Problem Area* timbul karena bahan bakar minyak mahal sehingga dibutuhkan bahan bakar pengganti yang lebih murah. Hasil evaluasi terhadap harga dari berbagai sumber energi yang tersedia, sebagaimana yang telah

dibahas pada Bab 1 terdahulu, ternyata bahan bakar yang paling murah adalah briket batubara non karbonisasi. Namun bahan bakar ini mempunyai temperatur puncak pembakaran yang rendah. Sehingga tidak mampu digunakan sebagai bahan bakar untuk tungku pengecoran kuningan. Oleh karena itu ***Problem statement*** yang timbul adalah : bagaimana caranya agar briket batubara non karbonisasi dapat dan layak digunakan sebagai bahan bakar tungku pengecoran kuningan. Maka ***gathering information*** sebagai ***input*** untuk memulai ***intial design*** adalah melakukan kajian literatur terhadap desain tungku pengecoran logam, pembakaran briket batubara, konsep efisiensi thermal yang menyangkut fenomena thermal yang terjadi didalam ruang bakar dan kowi, dan sedikit mengenai konsep tentang tungku pengecoran logam.

### **3.3.2 Perhitungan kalor peleburan logam**

Kalor yang dibutuhkan untuk melebur logam paduan dihitung berdasarkan berat molekul pada temperatur dan fasa yang terjadi. Dalam hal ini diberikan contoh untuk perhitungan kalor yang dibutuhkan untuk melebur kuningan *red-brass* (CuZn5) dihitung berdasarkan tahapan perubahan fasa yang terjadi. Tahapan perhitungan tersebut dijelaskan pada Gambar 3.7 berikut ini. Massa CuZn5 adalah  $m_{CuZn5} = 63.6315$ , sehingga perbandingan massa Cu dan Zn didalam CuZn5 adalah :

1. Perhitungan enthalpy standar untuk paduan CuZn5 pada temperatur 20 °C adalah sebagai berikut :



$$\Delta H_{produk} = \int_0^{T_0=293} \left[ \frac{0.95m_{Cu}}{m_{CuZn5}} 385 + \frac{0.05m_{Zn}}{m_{CuZn5}} 383 \right] dT$$

$$= -[0.948634 \times 385(293-0) + 0.051366 \times 383(293-0)]$$

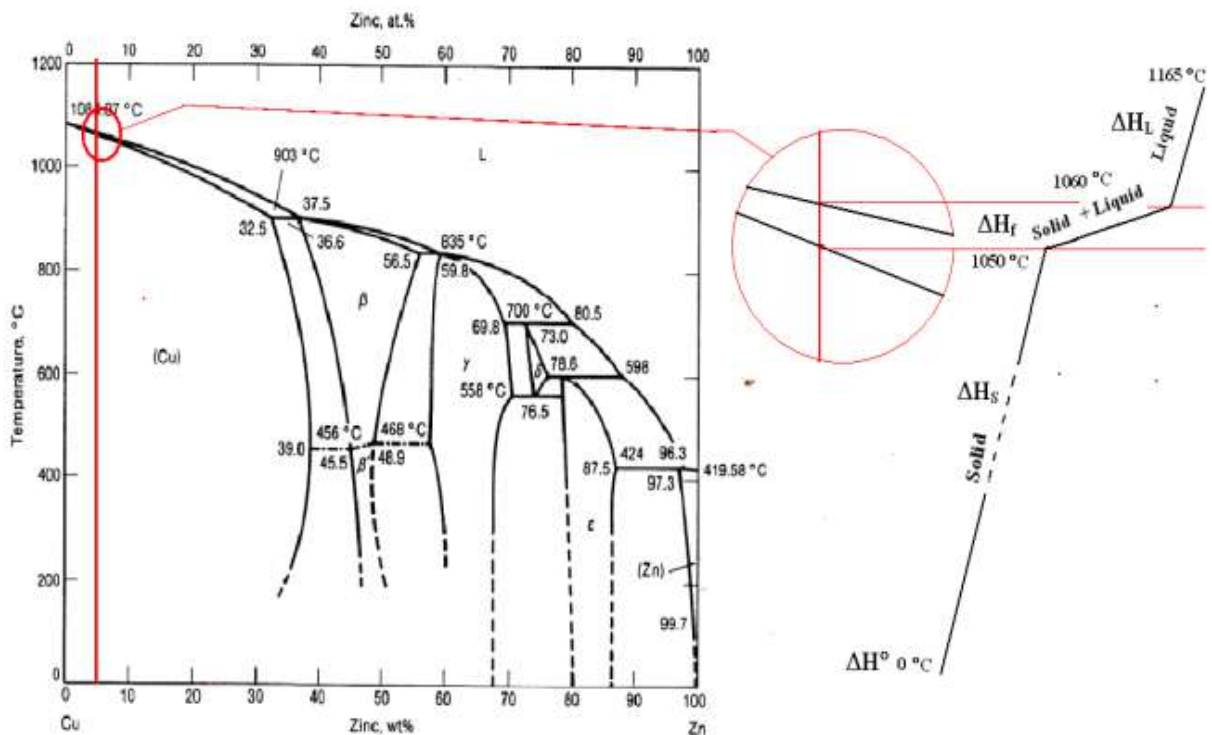
$$= -112.7574549 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H_{Cu} = \int_0^{T_0=293} 0.95Cp_{Cu} dT = 0.95 \times 385(293-0) = 107.1473 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H_{Zn} = \int_0^{T_0=293} 0.05Cp_{Zn} dT = 0.05 \times 383(293-0) = 0.5611 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta H^{\circ} = -112.7574549 - 107.1473 - 0.5611 \text{ (kJ/kg)} = -220.4658303$$

kJ/kg



Gambar 3.7. Tahapan perhitungan untuk kalor yang dibutuhkan untuk melebur kuningan *red-brass* (CuZn5) berdasarkan perubahan fasa nya

2. Perhitungan perubahan enthalpy dari temperatur 20 °C atau 293 K ke temperatur cair 1065 °C atau 1338 K adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\Delta H_{\text{padat}} &= \int_{T_o=293}^{T_o=1338} \left[ \frac{0.95m_{\text{Cu}}}{m_{\text{CuZn5}}} (22.6 + 6.28 \times 10^{-3} T) + \frac{0.05m_{\text{Zn}}}{m_{\text{CuZn5}}} (21.81 \right. \\ &\quad \left. + 11.613 \times 10^{-3} T) \right] dt \\ &= \left[ 0.948634 \{ 22.6(1298 - 293) + 6.28 \times 10^{-3} (1298^2 - 293^2) \} + \right. \\ &\quad \left. [ 0.051366 \{ 22.6(1298 - 293) + 11.613 \times 10^{-3} (1298^2 - 293^2) \} ] \right] \\ &= 33151.67 \text{ J/kg} \\ &= 33.15167 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

3. Perhitungan perubahan enthalpy pada saat perubahan fasa dari padat ke cair pada temperatur 1338 °C adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\Delta H_f &= \frac{0.95m_{\text{Cu}}}{m_{\text{CuZn5}}} \Delta h_{f,\text{Cu}} + \frac{0.05m_{\text{Zn}}}{m_{\text{CuZn5}}} \Delta h_{f,\text{Zn}} \\ &= 0.948634 \times 12970 + 0.051366 \times 6694.56 \text{ (J/kg)} \\ &= 12.64766 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

4. Perhitungan perubahan enthalpy pada saat menaikkan temperatur dari temperatur cair ketemperatur tuang adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\Delta H_{\text{cair}} &= \int_{T_c=1338}^{T_t=1438} \left[ \frac{0.95m_{\text{Cu}}}{m_{\text{CuZn5}}} 31380.8 + \frac{0.05m_{\text{Zn}}}{m_{\text{CuZn5}}} 31757.3 \right] dt \\ &= 0.948634 \times 31380.8 (1398 - 1298) + 0.051366 \times 31757.3 \\ &\quad (1398 - 1298) \text{ J/kg} \\ &= 2978.52 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

5. Kalor total yang dibutuhkan untuk melebur 1 kg CuZn5 adalah :

$$\Delta H_{tot} = \Delta H^{\circ} + \Delta H_{padat} + \Delta H_f + \Delta H_{cair}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{tot} &= -220.4658303 + 33.15167 + 12.64766 + 2978.51597 \text{ (kJ/kg)} \\ &= 3244.78 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka dapat dibuat Tabel 3.2 untuk kalor ideal yang dibutuhkan pada melebur kuningan *red-brass* (CuZn5) kowi baja  $D_o = 203$  mm,

Tabel 3.2 Kalor ideal untuk melebur kuningan *red-brass* (CuZn5)  $m_{lc}$  kg menggunakan kowi baja  $D_o = 203$  mm

$m_{lc}$ (kg)	$\Delta H$ (MJ)	$Q_{kw}, D_o = 203$ mm (MJ)	$Q_{ideal}, D_o = 203$ mm(MJ)
10	34.115	3.3165	<b>37.431</b>
<b>18</b>	<b>61.407</b>	<b>4.099</b>	<b>65.507</b>
20	68.230	4.416	<b>72.646</b>
40	136.46	7.575	<b>144.035</b>
<b>60</b>	<b>204.69</b>	<b>10.735</b>	<b>215.425</b>
80	272.92	13.894	<b>286.815</b>
<b>100</b>	<b>341.15</b>	<b>17.046</b>	<b>358.196</b>
120	409.380	20.214	<b>429.594</b>
140	477.610	23.373	<b>500.983</b>
<b>150</b>	<b>511.725</b>	<b>24.9416</b>	<b>536.667</b>

Pada Tabel 3.3 ditampilkan kalor ideal  $Q_{ideal}$  yang dibutuhkan untuk melebur kuningan *red-brass* (CuZn5) bila menggunakan kowi baja  $D_o = 266.7$  mm pada kapasitas peleburan yang bervariasi.

Tabel 3.3 Kalor ideal untuk melebur kuningan *red-brass* (CuZn5)  $m_{lc}$  kg menggunakan kowi baja  $D_0 = 267$  mm

$m_{lc}$ (kg)	$\Delta H$ (MJ)	$Q_{kw}, D_0 = 266.7$ mm (MJ)	$Q_{ideal}, D_0 =$ 266.7 mm(MJ)
10	34.115	5.889393	<b>40.0044</b>
<b>18</b>	<b>61.407</b>	<b>5.88939</b>	<b>67.2964</b>
20	68.230	5.889393	<b>74.1194</b>
40	136.46	6.735032	<b>143.195</b>
<b>60</b>	<b>204.69</b>	<b>9.02127</b>	<b>213.711</b>
80	272.92	11.30751	<b>284.228</b>
<b>100</b>	<b>341.15</b>	<b>13.5938</b>	<b>354.744</b>
120	409.380	15.88	<b>425.26</b>
140	477.610	18.16624	<b>495.776</b>
<b>150</b>	<b>511.725</b>	<b>19.3094</b>	<b>531.034</b>

Pada Tabel 3.4 ditampilkan kalor ideal  $Q_{ideal}$  yang dibutuhkan untuk melebur kuningan *red-brass* (CuZn5) bila menggunakan kowi silikon karbida pada kapasitas peleburan yang bervariasi.

Tabel 3.4 Kalor ideal untuk melebur kuningan *red-brass* (CuZn5)  $m_{lc}$  kg menggunakan kowi Silikon Karbida

$m_{lc}$ (kg)	$\Delta H$ (MJ)	$Q_{kw}, \text{Silikon}$ Karbida (MJ)	$Q_{ideal}, \text{Silikon}$ Karbida (MJ)
10	34.115	3.925	<b>38.0408</b>
<b>18</b>	<b>61.407</b>	<b>4.968</b>	<b>66.3758</b>
20	68.230	7.3389	<b>75.569</b>
40	136.46	10.390	<b>146.85</b>
<b>60</b>	<b>204.69</b>	<b>14.437</b>	<b>219.128</b>
80	272.92	17.0223	<b>289.943</b>
<b>100</b>	<b>341.15</b>	<b>19.226</b>	<b>360.376</b>
120	409.380	21.555	<b>430.935</b>
140	477.610	24.20458	<b>501.815</b>
<b>150</b>	<b>511.725</b>	<b>24.2046</b>	<b>535.93</b>

Pada Tabel 3.5 ditampilkan kalor ideal  $Q_{ideal}$  yang dibutuhkan untuk melebur kuningan *red-brass* (CuZn5) bila menggunakan kowi grafit pada kapasitas peleburan yang bervariasi.

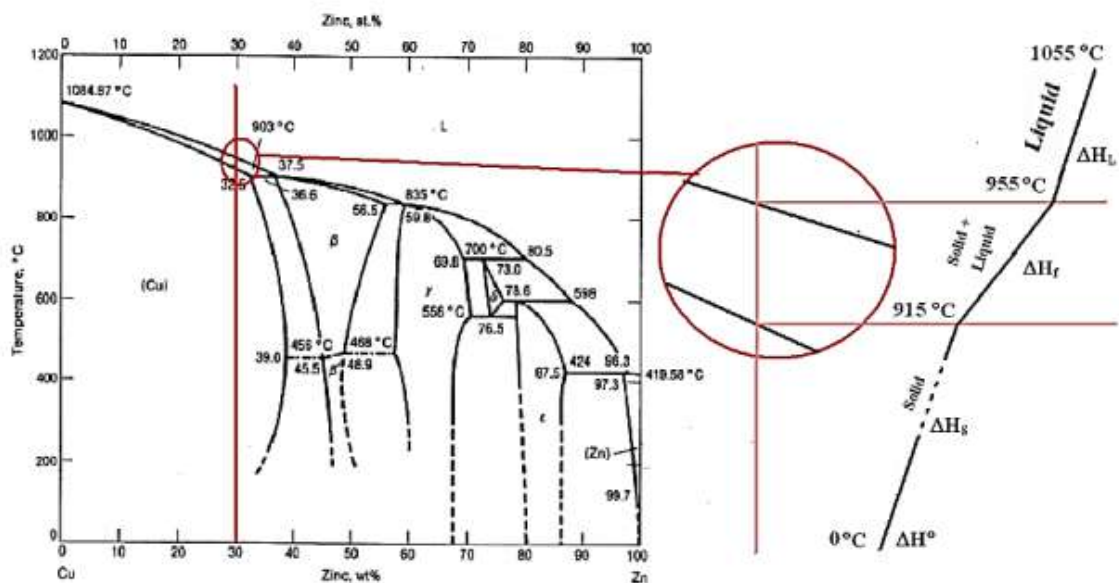
Tabel 3.5. Kalor ideal untuk melebur kuningan *red-brass* (CuZn5)  $m_{lc}$  kg menggunakan kowi grafit

$m_{lc}$ (kg)	$\Delta H$ (MJ)	$Q_{kw, \text{ grafit}}$ (MJ)	$Q_{ideal, \text{ grafit}}$ (MJ)
10	34.115	2.959953	<b>37.075</b>
<b>18</b>	<b>61.407</b>	<b>3.7823</b>	<b>65.1893</b>
20	68.230	5.511351	<b>73.7414</b>
40	136.46	7.789552	<b>144.25</b>
<b>60</b>	<b>204.69</b>	<b>10.9973</b>	<b>215.687</b>
80	272.92	12.93591	<b>285.856</b>
<b>100</b>	<b>341.15</b>	<b>15.9662</b>	<b>357.116</b>
120	409.380	17.90031	<b>427.28</b>
140	477.610	20.10077	<b>497.711</b>
<b>150</b>	<b>511.725</b>	<b>20.1008</b>	<b>531.826</b>

Pada keempat tabel diatas ditunjukkan ternyata peleburan dengan menggunakan kowi baja  $Do = 203 \text{ mm}$  akan membutuhkan lebih banyak kalor untuk memanasi kowi bila dibandingkan dengan ketiga kowi yang lain. Akibatnya untuk melebur kuningan pada kapasitas peleburan yang sama, maka menggunakan kowi ini dibutuhkan lebih banyak kalor. Kalor yang paling sedikit dibutuhkan adalah bila menggunakan kowi baja  $Do = 267 \text{ mm}$  dan kowi grafit. Sedangkan kalor yang dibutuhkan bila menggunakan kowi silikon karbida berada diantara kowi baja  $Do = 203 \text{ mm}$  dan kowi baja  $Do = 267 \text{ mm}$  dan kowi grafit.

### 3.3.3 Perhitungan kalor peleburan untuk kuningan yellow-brass (CuZn30)

Kalor yang dibutuhkan untuk melebur kuningan *yellow-brass* (CuZn30) dihitung berdasarkan perubahan fasa yang terjadi. Tahapan perhitungan tersebut dijelaskan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8. Tahapan perhitungan untuk kalor yang dibutuhkan untuk melebur kuningan *yellow-brass* (CuZn30) berdasarkan perubahan fasanya

Massa *CuZn30* adalah  $m_{CuZn30} = 64.089$ , sehingga perbandingan massa *Cu* dan *Zn* didalam *CuZn30* adalah :

$$m_{Cu} = 63.54 \rightarrow 0.7m_{Cu} = 44.478 \rightarrow \frac{0.7m_{Cu}}{m_{CuZn30}} = \frac{44.478}{64.089} = 0.694004$$

$$m_{Zn} = 65.37 \rightarrow 0.3m_{Zn} = 19.611 \rightarrow \frac{0.3m_{Zn}}{m_{CuZn30}} = \frac{19.611}{64.089} = 0.305996$$

Selanjutnya perhitungan kalor untuk melebur  $CuZn30$  dan kalor untuk menaikkan temperatur dari temperatur cair ketemperatur tuangnya adalah sebagai berikut :

1. Perhitungan enthalpy standar untuk paduan  $CuZn30$  pada temperatur  $20\text{ }^{\circ}C$  adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\Delta H_{produk} &= \int_0^{T_0=293} \left[ \frac{0.7m_{Cu}}{m_{CuZn30}} 385 + \frac{0.30m_{Zn}}{m_{CuZn30}} 383 \right] dT \\ &= 0.694004 \times 385 (293 - 0) + 0.305996 \times 383 (293 - 0) \\ &= -109.88 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H_{Cu} &= \int_0^{T_0=293} 0.694004 C_{p_{Cu}} dT = 0.694004 \times 385 (293 - 0) = 78.95062762 \\ &\text{kJ/kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H_{Zn} &= \int_0^{T_0=293} 0.305996 C_{p_{Zn}} dT = 0.305996 \times 383 (293 - 0) = 33.6657 \\ &\text{kJ/kg}\end{aligned}$$

$$\Delta H^{\circ} = -109.875 - 78.95062762 - 33.6657 \text{ (kJ/kg)} = -222.49 \text{ kJ/kg}$$

2. Perhitungan perubahan enthalpy  $CuZn30$  dari temperatur  $20\text{ }^{\circ}C$  atau  $293\text{ K}$  ke temperatur cair  $1055\text{ }^{\circ}C$  atau  $1328\text{ K}$  adalah sebagai berikut :

$$\Delta H_{padat} = \int_{T_0=293}^{T_0=1328} \left[ \frac{0.7m_{Cu}}{m_{CuZn30}} (22.6 + 6.28 \times 10^{-3} T) + \frac{0.3m_{Zn}}{m_{CuZn30}} (21.81 + 11.613 \times 10^{-3} T) \right] dT$$

$$\begin{aligned}\Delta H_{\text{padat}} &= \left[ 0.694004 \left\{ 22.6(1328 - 293) + 6.28 \times 10^{-3} (1328^2 - 293^2) \right\} + \right. \\ &\quad \left. \left[ 0.305996 \left\{ 21.81(1328 - 293) + 11.613 \times 10^{-3} (1328^2 - 293^2) \right\} \right] \right] \\ &= 19.81457 + 10.683227 \quad (\text{kJ/kg}) \\ &= 30.498 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

3. Perhitungan perubahan enthalpy  $\text{CuZn30}$  pada saat perubahan fasa dari padat ke cair pada temperatur 1328 K adalah :

$$\begin{aligned}\Delta H_f &= \frac{0.7m_{\text{Cu}}}{m_{\text{CuZn30}}} \Delta h_{f,\text{Cu}} + \frac{0.3m_{\text{Zn}}}{m_{\text{CuZn30}}} \Delta h_{f,\text{Zn}} = 0.694004 \times 12970 + \\ & 0.305996 \times 6694.56 \\ & (\text{J/kg}) = 11.05 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

4. Perhitungan perubahan enthalpy pada saat menaikkan temperatur dari temperatur cair ke temperatur tuang 1428 K

$$\begin{aligned}\Delta H_{\text{cair}} &= \int_{T_c=1118}^{T_t=1428} \left[ \frac{0.7m_{\text{Cu}}}{m_{\text{CuZn30}}} 31380.8 + \frac{0.3m_{\text{Zn}}}{m_{\text{CuZn30}}} 31757.3 \right] dt \\ \Delta H_{\text{cair}} &= 0.694004 \times 31380.8(1428 - 1328) + \\ & 0.305996 \times 31757.3(1428 - 1328) \text{ J / kg} \\ &= 4409.44 \text{ kJ/kg}\end{aligned}$$

5. Kalor total yang dibutuhkan untuk melebur 1 kg  $\text{CuZn30}$  adalah sebagai berikut :

$$\Delta H_{\text{tot}} = \Delta H^\circ + \Delta H_{\text{padat}} + \Delta H_f + \Delta H_{\text{cair}}$$



$$\Delta H_{tot} = -222.4913276 + 30.497801 + 11.04974 + 4409.437464$$

(kJ/kg)

$$= 4228.493676 \text{ kJ/kg} = 4.228 \text{ MJg}$$

Sehingga dari perhitungan diatas dapat dibuat Tabel 3.6 untuk kalor ideal yang dibutuhkan pada melebur kuningan *yellow-brass* (*CuZn30*) kowi baja  $D_o = 203$  mm,

Tabel 3.6 Kalor ideal untuk melebur kuningan *yellow-brass* (*CuZn30*)  $m_{lc}$  kg menggunakan kowi baja  $D_o = 203$  mm

$m_{lc}$ (kg)	$\Delta H$ (MJ)	$Q_{kw}, D_o = 203$ mm (MJ)	$Q_{ideal}, D_o = 203$ mm(MJ)
10	42.28494	3.316470807	<b>45.60141</b>
<b>18</b>	<b>76.1129</b>	<b>4.09960961</b>	<b>80.2125</b>
20	84.56987	4.415572726	<b>88.98545</b>
40	169.1397	7.575203844	<b>176.715</b>
<b>60</b>	<b>253.71</b>	<b>10.734835</b>	<b>264.4445</b>
80	338.2795	13.89446608	<b>352.174</b>
<b>100</b>	<b>422.849</b>	<b>17.0461687</b>	<b>439.8955</b>
120	507.4192	20.21372832	<b>527.633</b>
140	591.9891	23.37335944	<b>615.3625</b>
<b>150</b>	<b>634.274</b>	<b>24.9415743</b>	<b>659.2156</b>

Pada Tabel 3.7 ditampilkan kalor ideal  $Q_{ideal}$  yang dibutuhkan untuk melebur kuningan *yellow-brass* (*CuZn30*) bila menggunakan kowi baja  $D_o = 267$  mm pada kapasitas peleburan yang bervariasi. Sedangkan pada Tabel 3.8 ditampilkan kalor ideal  $Q_{ideal}$  yang dibutuhkan untuk melebur kuningan *red-brass* (*CuZn5*) bila menggunakan kowi silikon karbida pada kapasitas peleburan yang bervariasi.

Tabel 3.7 Kalor ideal untuk melebur kuningan *yellow-brass* (CuZn30)  $m_{lc}$  kg menggunakan kowi baja  $D_0 = 267$  mm

$m_{lc}$ (kg)	$\Delta H$ (MJ)	$Q_{kw}, D_0 = 266.7$ mm (MJ)	$Q_{ideal}, D_0 = 266.7$ mm (MJ)
10	42.28494	5.889393	<b>48.1743</b>
<b>18</b>	<b>76.1129</b>	<b>5.88939</b>	<b>82.0023</b>
20	84.56987	5.889393	<b>90.4593</b>
40	169.1397	6.735032	<b>175.875</b>
<b>60</b>	<b>253.71</b>	<b>9.02127</b>	<b>262.731</b>
80	338.2795	11.30751	<b>349.587</b>
<b>100</b>	<b>422.849</b>	<b>13.5938</b>	<b>436.443</b>
120	507.4192	15.88	<b>523.299</b>
140	591.9891	18.16624	<b>610.155</b>
<b>150</b>	<b>634.274</b>	<b>19.3094</b>	<b>653.583</b>

Tabel 3.8 Kalor ideal untuk melebur kuningan *red-brass* (CuZn5)  $m_{lc}$  kg menggunakan kowi Silikon Karbida

$m_{lc}$ (kg)	$\Delta H$ (MJ)	$Q_{kw},$ Silikon Karbida (MJ)	$Q_{ideal},$ Silikon Karbida (MJ)
10	42.28494	3.925767	<b>46.2107</b>
<b>18</b>	<b>76.1129</b>	<b>4.96879</b>	<b>81.0817</b>
20	84.56987	7.338986	<b>91.9089</b>
40	169.1397	10.39037	<b>179.53</b>
<b>60</b>	<b>253.71</b>	<b>14.4376</b>	<b>268.147</b>
80	338.2795	17.02294	<b>355.302</b>
<b>100</b>	<b>422.849</b>	<b>19.2258</b>	<b>442.075</b>
120	507.4192	21.55487	<b>528.974</b>
140	591.9891	24.20458	<b>616.194</b>
<b>150</b>	<b>634.274</b>	<b>24.2046</b>	<b>658.479</b>

Pada Tabel 3.9 ditampilkan kalor ideal  $Q_{ideal}$  yang dibutuhkan untuk melebur kuningan *yellow-brass* (CuZn30) bila menggunakan kowi grafit pada kapasitas peleburan yang bervariasi.

Tabel 3.9 Kalor ideal untuk melebur kuningan *yellow-brass* (CuZn30)  $m_{lc}$  kg menggunakan kowi grafit

$m_{lc}$ (kg)	$\square H$ (MJ)	$Q_{kw, \text{ grafit}}$ (MJ)	$Q_{ideal, \text{ grafit}}$ (MJ)
10	42.28494	2.959953	<b>45.2449</b>
<b>18</b>	<b>76.1129</b>	<b>3.7823</b>	<b>79.8952</b>
20	84.56987	5.511351	<b>90.0812</b>
40	169.1397	7.789552	<b>176.929</b>
<b>60</b>	<b>253.71</b>	<b>10.9973</b>	<b>264.707</b>
80	338.2795	12.93591	<b>351.215</b>
<b>100</b>	<b>422.849</b>	<b>15.9662</b>	<b>438.816</b>
120	507.4192	17.90031	<b>525.32</b>
140	591.9891	20.10077	<b>612.09</b>
<b>150</b>	<b>634.274</b>	<b>20.1008</b>	<b>654.375</b>

Berdasarkan perhitungan terhadap kedua jenis logam kuningan diatas, maka selanjutnya dapat dilakukan perhitungan terhadap parameter desain.

### 3.4 Parameter Desain

Pada desain tungku peleburan kuningan menggunakan bahan bakar briket batubara non karbonisasi ini, parameter desain adalah:

1. Kapasitas peleburan

2. Kalor yang disediakan oleh tungku untuk mengatasi *losses* dan untuk melebur logam
3. Berat briket yang dibutuhkan untuk menghasilkan kalor yang harus disediakan oleh tungku
4. Biaya pembuatan bagian ruang bakar tungku

Berdasarkan rumus-rumus yang telah ditampilkan pada Bab 2, maka dapat dihitung parameter desain untuk berbagai kapasitas. Namun parameter desain ini hanya dibatasi untuk tungku dengan efisiensi 20% dan 40% sebagaimana yang telah dijelaskan pada Bab 2. Sehingga dapat di plot titik-titik yang merupakan hubungan antara kapasitas peleburan  $m_{lc}$  (kg) terhadap kalor yang disediakan oleh tungku  $Q_{tungku}$  (MJ), berat briket yang harus dimasukkan kedalam ruang bakar  $m_{BBNK}$  (kg), dan Biaya pembuatan bagian ruang bakar tungku  $Biaya$  (Rp).

### 3.4.1 Dinding tungku dengan 2 lapis refraktori

Guna mendapatkan harga refraktori yang lebih murah, maka tebal lapisan refraktori A yang merupakan  $\Delta r = r_2 - r_1$  diganti dengan 2 lapis refraktori A dan B. Sehingga sebagian kalor yang menembus dinding tungku akan ditahan oleh lapisan refraktori A dan sebagian lagi akan ditahan oleh lapisan refraktori B.

Jika besar kalor yang ditahan oleh lapisan refraktori jenis A adalah  $x_A$  % dan kalor yang ditahan oleh refraktori B adalah  $x_B$  %, Jadi jumlah kalor yang menembus dinding tungku adalah :

$$Q_L = x_A \cdot Q_L + x_B \cdot Q_L \quad (3.1)$$

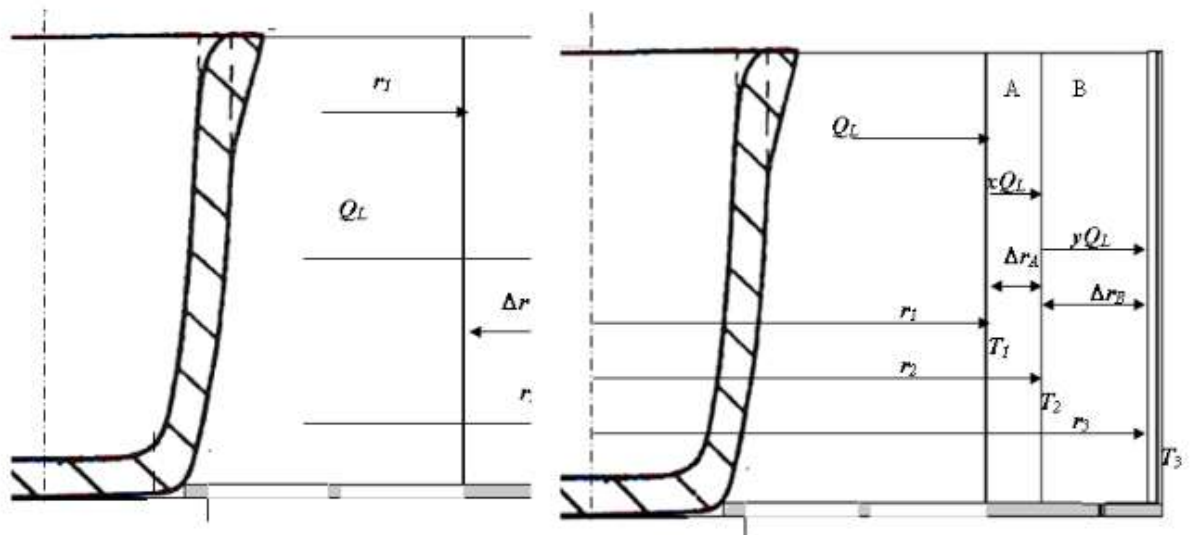
Dimana :

$x_A \cdot Q_L$  akan menembus lapisan refraktori A dengan tebal  $\Delta r_A = r_2 - r_1$

$x_B \cdot Q_L$  akan menembus lapisan refraktori B dengan tebal  $\Delta r_B = r_3 - r_2$

Perbedaan temperatur di kedua permukaan  $\Delta r_A$  adalah  $\Delta T_A = T_1 - T_2$

Perbedaan temperatur di kedua permukaan  $\Delta r_B$  adalah  $\Delta T_B = T_3 - T_2$



(a)

(b)

Gambar 3.10 (a) dinding tungku dengan satu lapis refraktori (b) dinding tungku dengan dua lapis refraktori

Sehingga besar kalor yang ditahan oleh lapisan refraktori A adalah :

$$x_A \cdot Q_L = f_k m_A \cdot c_{pA} \Delta T_A \quad (3.2)$$

Dimana  $m_A$  adalah berat refraktori A (kg) dan  $c_{pA}$  kapasitas kalor refraktori A (J/kg.K). Sehingga dengan memasukan hubungan dengan volume refraktori A,  $V_A$ , maka persamaan diatas dapat di ubah menjadi :

$$x_A \cdot Q_L = f_k \cdot \rho_A \cdot V_A \cdot c_{pA} \cdot \Delta T_A \quad (\text{kJ}) \quad (3.3)$$

Atau :

$$V_A = \frac{f_k \cdot \rho_A \cdot c_{pA} \cdot \Delta T_A}{x_A \cdot Q_L} \quad (\text{m}^3) \quad (3.4)$$

$$\pi \cdot L_{RB} \cdot (r_2^2 - r_1^2) = \frac{f_k \cdot \rho_A \cdot c_{pA} \cdot \Delta T_A}{x_A \cdot Q_L} \quad (3.5)$$

Jadi panjang jari-jari lapisan refraktori pertama dari pusat kowi adalah :

$$r_2 = \left[ \frac{1}{\pi \cdot L_{RB}} \left( \frac{f_k \cdot \rho_A \cdot c_{pA} \cdot \Delta T_A}{x_A \cdot Q_L} + r_1^2 \right) \right]^{1/2} \quad (\text{m}) \quad (3.6)$$

Selanjutnya besar kalor yang ditahan oleh lapisan re fraktori B adalah :

$$x_B \cdot Q_L = f_k \cdot m_B \cdot c_{pB} \cdot \Delta T_B \quad (\text{kJ}) \quad (3.7)$$

Dimana  $m_B$  adalah berat refraktori B (kg) dan  $c_{pB}$  kapasitas kalor refraktori B (J/kg.K). Sehingga dengan memasukan hubungan dengan volume refraktori B,  $V_B$ , maka persamaan diatas dapat di ubah menjadi :

$$x_B \cdot Q_L = f_k \cdot \rho_B \cdot V_B \cdot c_{pB} \cdot \Delta T_B \quad (\text{kJ})$$

Atau :

$$V_B = \frac{f_k \cdot \rho_B \cdot c_{pB} \cdot \Delta T_B}{x_B \cdot Q_L} \quad (\text{m}^3)$$

$$\pi \cdot L_{RB} \cdot (r_3^2 - r_2^2) = \frac{f_k \cdot \rho_B \cdot c_{pB} \cdot \Delta T_B}{x_B \cdot Q_L}$$

Jadi panjang jari-jari lapisan refraktori kedua dari pusat kowi adalah :

$$r_3 = \left[ \frac{1}{\pi \cdot L_{RB}} \left( \frac{f_k \cdot \rho_B \cdot c_{pB} \cdot \Delta T_B}{x_B \cdot Q_L} + r_2^2 \right) \right]^{1/2} \quad (\text{m}) \quad (3.8)$$

Bila ingin menaikkan efisiensi tungku ke 90 %, maka untuk efisiensi tungku yang lebih kecil dari 90 % akan diusahakan dinaikkan dengan mengurangi rugi-rugi kalor yang menembus dinding tungku dengan cara menggunakan 2 lapis material refraktori.

Tabel 3.10 Hubungan  $\eta$  (%) dan  $\Delta Q_L$  (MJ) untuk 2 lapis refraktori

$\eta$ (%)	$\Delta Q_L$ (MJ)
90	0
80	$Q_{L,80\%} - Q_{L,90\%}$
70	$Q_{L,70\%} - Q_{L,90\%}$
60	$Q_{L,60\%} - Q_{L,90\%}$
50	$Q_{L,50\%} - Q_{L,90\%}$
40	$Q_{L,40\%} - Q_{L,90\%}$
30	$Q_{L,30\%} - Q_{L,90\%}$
20	$Q_{L,20\%} - Q_{L,90\%}$

Selanjutnya, perhitungan dihitung perubahan diameter tungku dan harga total untuk : 2 lapis refraktori bila :

1.  $x_A \cdot Q_L = Q_L(\square\square\square Q_L(90))$
2.  $x_A \cdot Q_L = 0.75Q_L, x_B \cdot Q_L = Q_L - x_A \cdot Q_L = 0.25Q_L$
3.  $x_A \cdot Q_L = 0.5Q_L, x_B \cdot Q_L = x_A \cdot Q_L = 0.5Q_L$

$$4. x_A \cdot QL = 0.25QL, x_B \cdot QL = 0.75QL$$

$$5. x_A \cdot QL = 0.1 QL, x_B \cdot QL = 0.9QL$$

Perhitungan diatas adalah untuk menghitung total biaya untuk refraktori yang dibutuhkan dan besar diameter tungku total bila menaikkan efisiensi tungku menjadi 80 % dengan cara mengurangi rugi-rugi <sup>1</sup> kalor yang akan keluar menembus 2 lapisan refraktori pada dinding tungku. Pada perhitungan ini lapisan refraktori pertama menggunakan semen tahan api jenis midcast dan lapisan kedua menggunakan semen mettalite-1000. Pada persamaan yang pertama, semua rugi-rugi kalor hanya ditahan oleh satu lapisan refraktori, yaitu midcast. Pada persamaan yang kedua, 75% rugi-rugi kalor ditahan oleh lapisan midcast dan 25% sisanya ditahan oleh lapisan mettalite-1000. Pada persamaan ketiga, masing-masing lapisan menahan 50% rugi-rugi kalor. Sedangkan pada persamaan keempat, lapisan midcast hanya menahan 25% rugi-rugi kalor sedang 75% lagi ditahan oleh lapisan mettalite-1000, dan persamaan terakhir akan menghitung bila nya 10% rugi-rugi kalor yang ditahan oleh midcast. Sedangkan 90% ditahan oleh lapisan mettalite-1000. Hal ini menunjukkan bahwa untuk menaikkan efisiensi tungku dimana dengan tidak merubah dimaensi ruang bakar menunjukkan bahwa:

1. Diameter tungku semakin besar dengan semakin kecilnya efisiensi



2. Diameter tungku akan semakin besar mendengan semakin banyaknya rugi-rugi kalor yang harus dihambat untuk keluar melalui lapisan refraktori pada dinding tungku
3. Biaya yang harus dikeluarkan untuk menaikkan efisiensi tungku akan semakin mahal dengan semakin kecilnya efisiensi tungku
4. Biaya untuk mengurangi rugi-rugi kalor akan semakin mahal dengan semakin banyaknya rugi-rugi yang terjadi.
5. Diameter tungku yang paling besar bila hanya 10% dari total rugi-rugi kalor yang ditahan oleh lapisan midcast dan akan semakin kecil bila semakin banyak rugi-rugi kalor yang ditahan oleh lapisan midcast.
6. Biaya yang paling mahal dicapai bila 75% rugi-rugi kalor ditahan oleh lapisan midcast dan hanya 25% yang ditahan oleh lapisan metallite-1000, dan semakin sedikit kalor yang harus ditahan oleh lapidcast maka biaya akan semakin murah.

## 4 BAB 4

### ANALISA KEEKONOMIAN

Guna mencari bahan bakar yang lebih murah, maka dilakukan analisa terhadap perbandingan harga jual beberapa sumber energi, yaitu : listrik, minyak tanah, solar, briket batubara karbonisasi atau briket super, dan briket batubara non karbonisasi yang ditampilkan pada Tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4.1 Perbandingan harga jual beberapa sumber energi

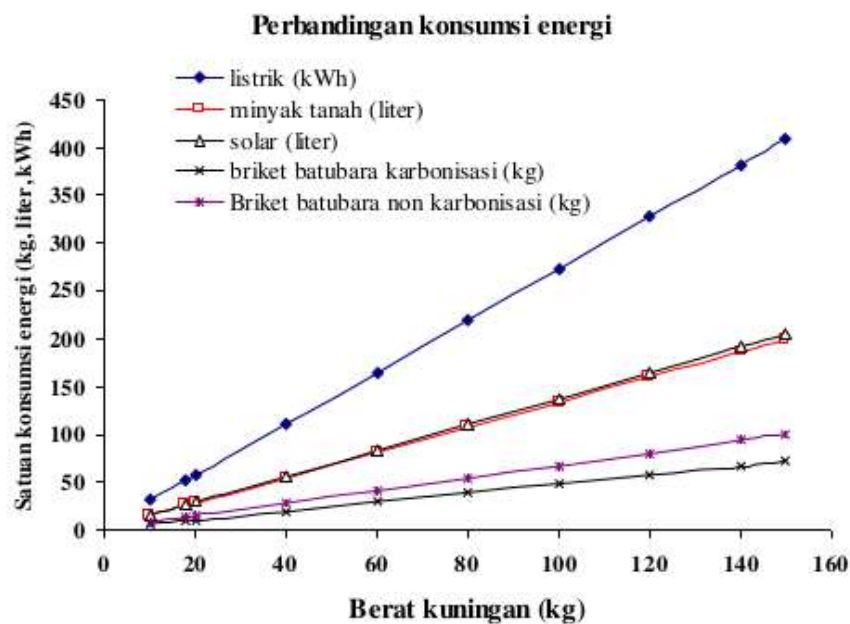
No	Jenis sumber energi	Kandungan kalor	Harga Jual (Rp)
1.	Listrik	860 kcal/kWh	1011,-/kWh
2.	Minyak tanah	11100 kcal/liter	8500,-/liter
3.	Minyak diesel (Solar)	10800 kcal/liter	8500,-/liter
4.	Briket Batubara karbonisasi	7000 kcal/kg	4000,-/kg
5.	Briket Batubara Non Karbonisasi (BBNK)	5000 kcal/kg	2500,-/kg

Berdasarkan harga bahan bakar tersebut, maka dapat dihitung harga energi yang dibutuhkan untuk peleburan. Dalam bab ini diberikan contoh perhitungan untuk melebur kuningan sampai dengan 150 kg.

#### 4.1 Perhitungan harga energi

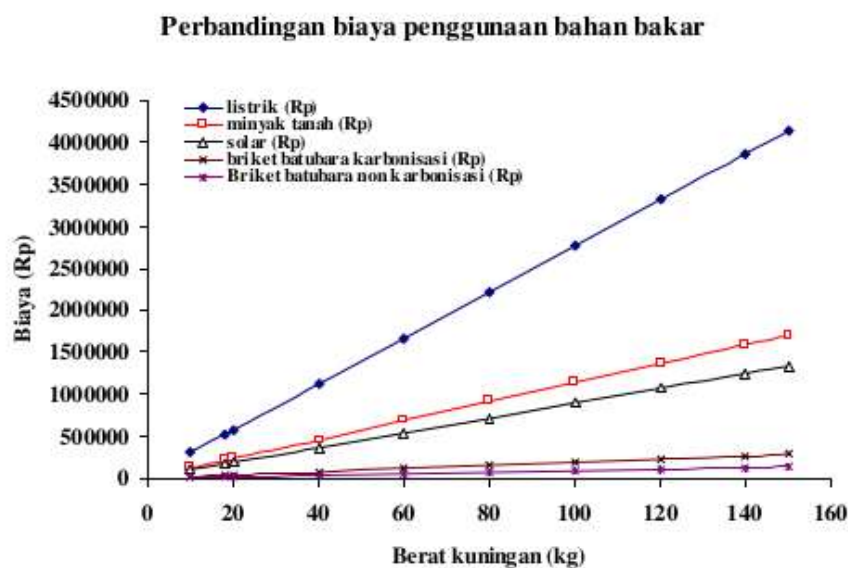
Sebelum menghitung harga energi, maka terlebih dahulu dilakukan perhitungan terhadap jumlah energi yang dibutuhkan untuk melebur kuningan 150 kg sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4.1.

Pada Gambar 4.1 ditampilkan bahwa untuk melebur kuningan pada berat yang bervariasi ternyata penggunaan listrik (kWh) yang paling banyak. Sedangkan penggunaan minyak tanah (liter) hampir berhimpit dengan menggunakan bahan bakar solar (liter). Diikuti dengan penggunaan briket batubara non karbonisasi (kg) dan briket batubara karbonisasi (kg). Selanjutnya berdasarkan jumlah energi yang dibutuhkan maka dapat dibuat gambar harga energi seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Hubungan antara berat kuningan yang dilebur dengan jumlah listrik (kWh), minyak tanah (liter), solar (liter), briket batubara karbonisasi (kg), dan briket batubara non karbonisasi (kg).

Pada Gambar 4.1 diatas tampak bahwa ternyata pemakaian listrik sebagai sumber energi untuk proses peleburan logam adalah yang paling mahal. Sedangkan harga pemakaian bahan bakar briket batubara non karbonisasi adalah paling murah. Perlu ditekankan disini bahwa biaya energi diatas hanya untuk proses peleburan kuningan saja, sedangkan biaya investasi alat, biaya perawatan, pembelian bahan baku, dan lain-lain, belum diperhitungkan.



Gambar 4.2 Hubungan antara berat kuningan yang dilebur (kg) dengan harga (Rp) listrik, minyak tanah, solar, briket batubara karbonisasi dan briket batubara non karbonisasi

2 Berdasarkan informasi dari Gambar 4.1 diatas, berarti penggunaan briket batubara non karbonisasi potensial untuk dijadikan sumber energi pada peleburan kuningan serta logam-logam non ferro lainnya. Sebenarnya penggunaan briket batubara non karbonisasi dalam industri sudah banyak dilakukan, misalnya : untuk kompor

memasak pada industri makanan, untuk pemanas ruangan pada peternakan ayam, untuk pengering gabah, kopi, tembakau, dan lain-lain. Hal ini dilakukan karena biaya yang jauh lebih murah bila dibandingkan dengan minyak dan gas bumi. Namun karena **briket batubara non karbonisasi adalah bahan bakar** padat dengan ukuran yang relatif besar, maka selama ini jenis tungku yang digunakan adalah *fixed bed*.

Pada saat ini terdapat dua macam jenis briket batubara non karbonisasi yang umum dijual, yaitu : jenis telur dan sarang tawon. Kedua jenis ini berasal dari bahan yang sama namun bentuk cetakannya berbeda. Pada penggunaan untuk temperatur pembakaran yang relatif rendah, misalnya untuk pengering dan pemanas ruangan untuk peternakan ayam, biasanya digunakan jenis sarang tawon. Sedangkan untuk temperatur yang lebih tinggi digunakan jenis telur. Hal ini karena bentuk kedua jenis briket ini mempengaruhi sirkulasi udara yang dapat terjadi didalam ruang bakar. Pada jenis telur, lebih banyak udara yang dapat masuk disela-sela briket dan dapat menyentuh permukaan briket bila dibandingkan menggunakan jenis sarang tawon, sehingga temperatur pembakaran yang dapat dicapai bisa lebih tinggi.

Hingga saat ini, penggunaan bahan bakar padat untuk tungku pengecoran logam adalah dengan menggunakan batubara dan kokas. Dalam hal ini batubara digunakan dalam bentuk serbuk dengan menggunakan system *fluidized bed*, sedangkan kokas digunakan pada

tungku kupola untuk peleburan bijih besi menjadi besi tuang dalam system *fixed bed*. Sejauh ini, penelitian tentang penggunaan briket batubara sebagai bahan bakar adalah tentang pengaruh komposisinya terhadap temperatur pembakaran.

Analisa teknis dilakukan terhadap tungku yang menggunakan bahan bakar solar dan briket batubara non karbonisasi. Terdapat perbedaan material pembangun kedua tungku ini. Demikian juga dengan desain dan konstruksinya. Tabel 4.1 dibawah ini menunjukkan perbedaan kedua tungku tersebut.

Tabel 4.2 Perbedaan peralatan Tungku

No	Komponen	Tungku yang menggunakan bahan bakar solar	Tungku yang menggunakan bahan bakar briket batubara non karbonisasi
1.	Jenis kowi	baja	Silikon karbida
2.	Bahan isolator	Bata tahan api dan tanah liat	Bata tahan api, triset cement, kao wool
3.	Alat untuk suplai udara masuk	kompresor	Blower/kompresor

Perbedaan tersebut diatas amat berpengaruh terhadap usia operasi tungku.

#### 1. Jenis kowi

- Konduktifitas panas
- Pengaruh logam cair terhadap material kowi
- Jumlah operasi peleburan yang dapat dilaksanakan

## 2. Bahan isolator

- Konduktifitas panas
- Umur konstruksi

## 3. Alat untuk suplai udara masuk

- Pengaruh terhadap proses pembakaran
- Pengaruh terhadap penggunaan energi listrik

Oleh karena itu, kajian teknis ini akan memberi ulasan singkat tentang perbedaan dari sisi teknis untuk kedua tungku tersebut menyangkut jam operasi alat pembangun tungku yang kemudian akan berdampak kepada nilai keekonomiannya.

### 4.2 Analisa Keekonomian

Pertimbangan mengaplikasikan penggunaan <sup>1</sup> tungku pengecoran logam menggunakan bahan bakar briket batubara non karbonisasi dilakukan berdasarkan pertimbangan keekonomian. Pertimbangan ini dilakukan berdasarkan kebiasaan industri kecil pengecoran logam yang selama ini menggunakan bahan bakar minyak tanah. Namun setelah minyak tanah mahal maka mereka beralih menggunakan bahan bakar solar. Penggunaan kedua jenis bahan bakar ini harus dibantu dengan menggunakan kompressor yang beroperasi terus menerus selama proses peleburan dan pengecoran berlangsung. Hal ini berarti biaya energi yang digunakan adalah jumlah biaya bahan bakar dan biaya pemakaian energi listrik.

Berbeda dengan kedua jenis bahan bakar diatas, kompressor hanya digunakan pada 20 menit pertama bila menggunakan bahan bakar briket batubara non karbonisasi. Selanjutnya kompressor akan dihidupkan kembali selama 15 menit setelah proses peleburan berlangsung selama 3 jam untuk menaikkan temperatur logam cair ketemperatur tuangnya. Selain itu harga briket perkilogram juga jauh lebih murah daripada harga minyak tanah dan solar tanpa subsidi.

Menurut teori untuk menghitung biaya (cost) dikelompokkan menjadi 2 katagori, yaitu :

1. *Nonrecurring costs*, yaitu disebut juga biaya sesaat atau biaya kapital tetap, contohnya adalah : biaya untuk investasi peralatan, gedung, bengkel, tanah, dll.
2. *Recurring costs*, yaitu : biaya langsung yang digunakan untuk biaya operasi dan biaya manufaktur.

Selanjutnya biaya dapat dikelompokkan lagi menjadi *Fixed Costs* dan *Variable Costs*. *Fixed Costs* tidak tergantung pada laju produksi, namun *Variable Costs* akan berubah menurut laju produksi. Oleh karena itu, *Fixed Costs* disebut dengan *indirect costs*, karena tidak dipengaruhi oleh produksi dan *Variable Costs* disebut dengan *direct costs*. Secara umum kedua jenis *costs* ini dapat dikelompokkan sebagai berikut :

1. *Fixed Costs*
2. *Variabel Costs*



#### 4.2.1 Fixed Costs

##### 1. Biaya Pabrik Tak Langsung

###### a. Biaya Investasi

- Depresiasi pada investasi kapiltal
- Suku bunga pada investasi kapital dan aset-aset
- Pajak keuntungan
- Asuransi

###### b. Biaya *Overhead*

- Servis-servis yang menyangkut keteknikan (*engineering services*)
- Servis-servis non teknik (administrasi, personalia, pegawai kantor, penjaga keamanan/satpam)
- Suplai umum (konsumsi, alat-alat kantor, dan lain-lain)
- Sewa peralatan

##### 2 Biaya Manajemen

- Biaya untuk kerjasama staff eksekutif
- Biaya untuk staff tetap
- Biaya untuk staff riset dan pengembangan (R & D)

##### 3. Biaya Penjualan

- Biaya promosi (brosur, spanduk, iklan di media cetak dan elektronik)
- Biaya pengantaran, pemasangan dan perawatan (selama masa garansi)

- Biaya staff teknisi

#### 4.2.2 Variable Costs

Variabel costs terdiri atas:

1. Biaya langsung supervisi produksi
2. Biaya perawatan peralatan dan infrastruktur
3. Biaya untuk energi dan daya
4. Biaya untuk kontrol kualitas
5. Biaya untuk royalty dan bonus-bonus
6. Biaya untuk pengepakan dan penyimpanan
7. Biaya losses pada skrap dan barang-barang bekas

Pada Bab 3 ini, analisa keekonomian dilakukan berdasarkan analisa terhadap *Variable Costs* tentang biaya energi dan daya saja, karena hal-hal lain amat tergantung kepada kebijakan dan pilihan-pilihan dari investor dan pimpinan perusahaan yang dipengaruhi pula oleh kebijakan pemerintah dan Peraturan Pemerintah Daerah setempat, misalnya : ketetapan tentang upah minim rata-rata (UMR) karyawan dan buruh pabrik, upah proses fabrikasi, dan hal-hal lain yang menyangkut kondisi geografis daerah setempat.

### 4.3 Pembahasan Keteknisan

#### 4.3.1 Pengaruh Jenis Kowi

Penggunaan jenis kowi yang dibuat dari baja mempunyai konduktifitas panas yang lebih rendah daripada kowi dari silikon karbida. Konduktifitas panas kowi baja adalah 54 W/m.K dan

konduktifitas panas silikon karbida adalah  $120 \text{ W/m.K}$  hal ini berarti kowi silikon karbida akan menghantarkan panas lebih banyak ke skrap kuningan yang berada didalamnya bila dibandingkan dengan kowi dari baja. Selain itu kapasitas panas silikon karbida adalah  $0.75 \text{ kJ/kg.K}$  menyebabkan performance thermal silikon karbida lebih baik dari pada baja yang kapasitas panasnya hanya  $0.511 \text{ kJ/kg.K}$ .

Pengaruh logam cair terhadap material kowi terjadi karena sebagian logam baja pada kowi akan larut kedalam logam cair yang sedang dilebur didalamnya. Sehingga akan terjadi penipisan pada dinding kowi dan selajutnya akan membentuk lubang-lubang yang menyebabkan kebocoran. Hal ini menyebabkan kowi baja hanya mampu beroperasi untuk tiga kali proses pengecoran saja. Sedangkan kowi silikon karbida adalah keramik dan bukan dari material logam, sehingga tidak akan larut dalam logam cair, sehingga silikon karbida akan mampu beroperasi hingga 50 kali proses pengecoran.

Konstruksi tungku yang menggunakan kowi baja akan lebih berat dari pada kowi silikon karbida. Hal ini disebabkan karena berat jenis baja sebesar  $7880 \text{ kg/m}^3$  jauh lebih berat dari pada berat jenis silikon karbida yang hanya  $3100 \text{ kg/m}^3$ . Sehingga tungku yang menggunakan kowi baja lebih berat dan lebih sulit dipindahkan dari pada tungku yang menggunakan silikon karbida.

#### 4.3.2 Pengaruh Bahan isolator

Konduktifitas panas dan tebal isolator sangat berpengaruh terhadap kehilangan kalor yang terjadi melalui dinding tungku. Kedua jenis tungku ini telah menggunakan bata tahan api jenis yang sama,

namun pemasangan kao wool pada tungku yang menggunakan bahan bakar briket batubara non karbonisasi akan lebih sangat mengurangi laju perpindahan kalor yang mengalir kearah dinding tungku dan menambah tebal lapisan isolator pada dinding tungku. Oleh karena itu, casing bagian luar tungku yang dibuat dari baja lembaran akan menunjukkan temperatur yang berbeda. Temperatur dinding tungku yang menggunakan kao wool jauh lebih rendah sehingga mengalami tegangan thermal yang lebih sedikit bila dibandingkan dengan tungku tanpa kao wool. Akibatnya umur konstruksi tungku ini akan lebih panjang.

#### 4.3.3 Alat untuk suplai udara masuk

Alat yang digunakan untuk mendorong udara masuk kedalam ruang bakar amat berpengaruh terhadap proses pembakaran dan jumlah energi listrik yang digunakan selama proses pengecoran berlangsung. Hal ini disebabkan karena udara yang mengandung oksigen dan nitrogen, dimana oksigen akan menyebabkan berlangsungnya proses pembakaran, namun nitrogen akan menurunkan temperatur ruang bakar. Oleh karena itu, pada pembakaran briket batubara non karbonisasi, kompressor dapat diganti dengan blower dan lama operasi tidak selama kompressor untuk tungku yang menggunakan bahan bakar solar. Karena blower hanya digunakan untuk membantu mendorong udara pada 20 menit pertama dan 20 menit terakhir, tidak selama 3.5 jam terus-menerus seperti pada saat menggunakan bahan bakar solar.

#### 4.4 Perhitungan Biaya Produksi dan Harga

Guna melakukan analisa keekonomian, maka biaya produksi dan harga dilakukan berdasarkan data yang didapat untuk saat ini. Tabel 4.3 berikut ini akan memperlihatkan komponen-komponen yang menjadi parameter nilai keekonomian.

Tabel 4.3. Parameter keekonomian

No	Parameter	Komponen
1.	Biaya Operasional (OC) = Biaya produksi x Produksi	1. Harga skrap kuningan 2. Biaya listrik 3. Biaya bahan bakar 4. Upah tenaga kerja 5. Jumlah produksi
2.	Depresiasi $= \frac{\text{investasi}}{T_{\text{depresiasi}}} = \frac{1}{T} \left( \text{investasi} - \text{Depresiasi}_{t-1} \right)$	1. Biaya investasi 2. Waktu 3. Penurunan nilai alat
3.	Revenue (R) = Produksi x harga	1. Jumlah produksi 2. Harga penjualan produk
4.	Jumlah penyisihan (JP) = %R per tahun	1. Jumlah penyisihan yang ditentukan untuk investor (20%) 2. Pajak (Sesuai UU)
5.	Hasil bersih = R – OC – Dep – JP	

Berdasarkan hasil survey di lapangan, maka diketahui komponen-komponen yang diurai kan pada Tabel 4.3 dapat di jelaskan pada Tabel 4.4 tentang daftar harga dan nilai dari hal-hal yang berpengaruh berikut ini.

Tabel 4.4 Daftar nilai komponen produksi dan harga

No	Komponen	Nilai dan Harga		
		Minyak tanah/liter	Solar/liter	Briket/kg
1.	Bahan bakar	Rp. 8500,-	Rp. 8.000,-	Rp. 2500,-
2.	Quantitas bahan bakar	200 liter	200 liter	100 kg
3.	Kompresor		300 W	
4.	Waktu Operasi kompresor	3 jam	3 jam	35 menit
5.	Arang	-	-	5 kg
6.	Tambahan minyak tanah	-	-	2 liter
7.	Harga Skrap kuningan		Rp. 45.000,-/kg	
8.	Berat skrap/operasi		150 kg	
9.	Jumlah operasi per hari		2	
10.	Jumlah operasi per minggu		6 hari	
11.	Harga jual produk cor/produksi		Rp. 10.500.000,-	

#### 4.5 Pembahasan Keekonomian

##### 4.5.1 Menggunakan bahan bakar minyak tanah

Biaya energi untuk satu kali proses pengecoran menggunakan bahan bakar minyak tanah diuraikan pada Tabel 4.5 berikut ini

Tabel 4.5 Biaya Energi Menggunakan Bahan Bakar Minyak Tanah

No	Komponen	Harga satuan	Volume	Biaya
1.	Minyak tanah	Rp. 9.000,-/liter	200 liter	Rp. 1.800.000,-
2.	Kompresor	Rp. 1.100,-/kWh	3 jam x 300 W	Rp. 990,-

3.	Skrap kuningan	Rp. 45000,-/kg	150 kg	Rp. 6.750.000,-
Total				Rp. 8.550.990,-

Satu kali proses pengecoran akan menghasilkan 7000 keping uang keping yang setiap keping dijual dengan harga Rp. 1.500,-/keping. Maka hasil penjualan dari satu kali proses ngecor adalah Rp.10.500.000,- Proses produksi dapat dilakukan sebanyak dua kali setiap hari dari hari senin hingga sabtu, atau 6 hari dalam seminggu, maka selisih bruto dari hasil penjualan produk cor dengan biaya proses pengecoran sebelum dikurangi dengan *Fixed Costs* dan *Variable Costs* yang lain adalah : Rp. 23.388.120,- Bila dihitung persentasi harga proses terhadap harga jual, maka ternyata sebanyak 81% dari harga jual adalah untuk membiayai proses pengecoran

#### 4.5.2 Biaya Proses Menggunakan bahan bakar solar

Biaya energi untuk satu kali proses pengecoran menggunakan bahan bakar minyak tanah diuraikan pada Tabel 4.6 berikut ini

Tabel 4.6 Biaya Energi Menggunakan Bahan Bakar Solar

No	Komponen	Harga satuan	Volume	Biaya
1.	Minyak tanah	Rp. 8.500,-/liter	200 liter	Rp. 1.700.000,-
2.	Kompresor	Rp. 1.100,-/kWh	3 jam x 300 W	Rp. 990,-
3.	Skrap kuningan	Rp. 45000,-/kg	150 kg	Rp. 6.750.000,-
Total				Rp. 8.450.990,-

Selanjutnya bila dihitung persentasi harga proses pengecoran menggunakan bahan bakar solar terhadap harga jual, maka ternyata sebanyak 80% dari harga jual adalah untuk membiayai proses pengecoran

#### 4.5.3 Biaya Proses Menggunakan bahan bakar briket batubara non karbonisasi

Biaya energi untuk satu kali proses pengecoran menggunakan bahan bakar briket batubara non karbonisasi diuraikan pada Tabel 4.7. Bila dihitung persentasi harga proses pengecoran menggunakan bahan bakar solar terhadap harga jual, maka ternyata sebanyak 67% dari harga jual adalah untuk membiayai proses pengecoran. Hal ini berarti bahwa bila parameter keekonomian dianggap konstan dengan menggunakan ketiga jenis bahan bakar, maka dengan menggunakan bahan bakar briket batubara non karbonisasi akan menaikkan selisih antara penjualan dengan biaya proses pengecoran atau akan menambah keuntungan bruto sebesar 13% – 14% bila dibandingkan dengan menggunakan minyak tanah atau solar. Hal ini ditampilkan pada Gambar 4.

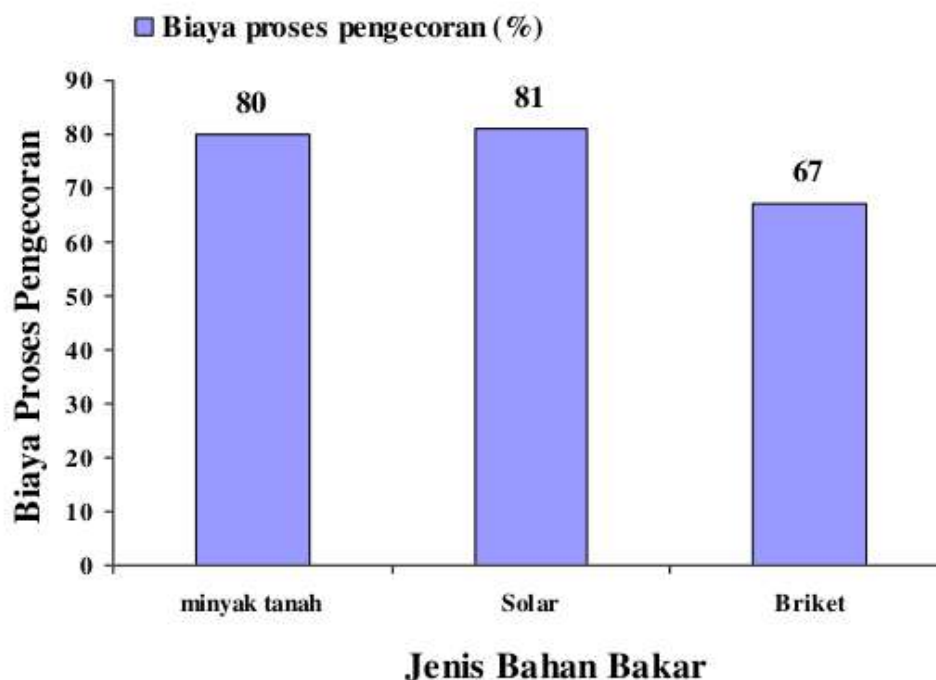
Tabel 4.7 Biaya Energi Menggunakan Bahan Bakar briket batubara non karbonisasi

No	Komponen	Harga satuan	Volume	Biaya
1.	Briket batubara	Rp. 2500,-/kg	100 kg	Rp. 250.000,-



2.	Kompressor	Rp. 1.100,- /kWh	35 menit x 300 W	Rp. 192.5,-
3.	Skrap kuningan	Rp. 45000,-/kg	150 kg	Rp. 6.750.000,-
4.	Minyak tanah	Rp. 9.000,- /liter	2	Rp. 18.000,-
5.	Arang kayu	Rp. 4.000,-/kg	5	Rp. 20.000,-
Total				Rp.7.038.192.5 ,-

Berdasarkan Gambar 4.1 diatas maka dapat disimpulkan bahwa bahan bakar yang paling ekonomis adalah briket batubara non karbonisasi.



Gambar 4.3 Perbandingan biaya proses pengecoran (%) bila menggunakan bahan bakar minyak tanah, solar, dan briket dibandingkan dengan harga hasil penjualan produk coran total.

#### 4.6 Netback value Briket

Pada kajian ini NBV menjadi tolak ukur daya saing briket batubara terhadap energi lain. Net Back Value akan menjadi batas atas atau ceiling price dari harga jual briket batubara yang dapat diterima konsumen. Net Back Value dihitung berdasarkan persamaan berikut ini :

$$NB = \frac{\sum [(Pa_t * Qa_t) + (Oa_t - Obb_t) + (Ia_t - Ibb_t)] * (1 + i)^{-t}}{\sum [Qbb_t * (1 + i)^{-t}]}$$

Dimana:

a	= bahan bakar alternatif	O	= biaya operasi
bb	= briket batubara	I	= biaya investasi
P	= harga bahan bakar	T	= perioda waktu
Q	= jumlah bahan bakar		

Briket batubara dapat bersaing adalah jika briket batubara dijual dengan harga lebih rendah dari NBV. Namun hal tersebut bukan berarti harga jual briket batubara dapat ditekan sekecil mungkin. Harga briket batubara yang dipilih sebaiknya lebih tinggi dari harga finansial sehingga produsen menerima cukup keuntungan dan sebaiknya lebih rendah dari netback value, sehingga briket batubara dapat kompetitif terhadap energi alternatif. Konsep dasar di atas, merupakan metodologi yang digunakan untuk mengevaluasi daya

saing briket batubara terhadap energi alternatif lain pada sektor rumah tangga, industri rumahan dan industri menengah- kecil. Perhitungan netback value briket batubara untuk beberapa sektor yang telah disebutkan di atas menggunakan pendekatan peralatan yang digunakan baru dan konversi. Sedangkan penghitungan harga jual bahan bakar yang digunakan dalam penghitungan netback value briket batubara disesuaikan dengan

## BAB 5 TANGGAPAN MASYARAKAT

2

Cadangan minyak yang terkandung di dalam bumi Indonesia semakin menipis dan ini berpengaruh terhadap harga minyak saat ini. Akibatnya harga bahan bakar minyak dan gas semakin mahal. Hal ini berdampak negative terhadap berbagai sektor, termasuk juga sector industri manufaktur dan industri kecil pengecoran logam.

Selama ini industri kecil pengecoran logam menggunakan minyak tanah dan solar sebagai bahan bakar. Kenaikan harga bahan bakar minyak menyebabkan biaya operasi dan produksi semakin tinggi. Proses produksi pengecoran hanya dapat dilaksanakan bila ada pesanan dan tidak dapat dilakukan secara kontinyu. Akibatnya jumlah pegawai terpaksa dikurangi. Hal ini menyebabkan kenaikan angka pengangguran. Secara makro, kenaikan angka pengangguran ini akan menyebabkan kenaikan angka kriminalitas yang akan berpengaruh terhadap kestabilan keamanan dan sosial masyarakat. Oleh karena itu diperlukan jenis bahan bakar lain yang lebih murah yang dapat menggantikan minyak tanah dan solar sebagai sumber energi untuk pengecoran logam.

### 5.1 Potensi Permintaan Briket Batubara

#### 5.1.1 Data

Studi ini akan menggunakan data sekunder, dalam bentuk *time series* (runtut waktu). Rentang periode amatan yang digunakan dalam

estimasi akan disesuaikan dengan ketersediaan data. Sumber data berasal dari instansi-instansi penyedia data resmi, seperti Badan Pusat Statistik (BPS), Kementerian ESDM, dan organisasi yang menyediakan data terkait dengan tema studi ini.



Gambar 5.1. Potensi Pemanfaatan Briket Batubara Indonesia

Selain rumah tangga, jenis konsumen lain yang memanfaatkan briket batubara sebagai salah satu sumber energi adalah industri rumahan dan industri menengah kecil. Berbagai sektor dalam kegiatan ekonomi yang diidentifikasi dapat dianggap sebagai pengguna briket sebagai sumber energi dapat dipetakan seperti dalam Gambar 5.2 berikut.

Banyaknya kegiatan yang dikelola oleh UKM, yang mempunyai potensi memanfaatkan briket batubara dalam kegiatan ekonominya, sehingga semestinya pemanfaatan briket batubara sekurangnya sesuai

dengan jumlah bahan bakar yang digunakan oleh UKM yang berpotensi menggunakan briket batubara. Dengan demikian perkembangan pertumbuhan pemanfaatan briket seharusnya sesuai dengan pertumbuhan UKM itu sendiri.



Gambar 5.2. Pemetaan Jenis Konsumen Briket

Peluang pemanfaatan briket batubara seharusnya semakin besar dengan menggantikan bahan bakar minyak tanah maupun solar, karena adanya keuntungan secara ekonomi bila menggunakan briket batubara dibandingkan menggunakan minyak tanah maupun solar.

Identifikasi dan Pemetaan jenis konsumen yang memanfaatkan briket batubara sebagai sumber energi dapat digunakan dalam perhitungan potensi pasar pengguna briket di masa depan. Berdasarkan konsumen di atas menunjukkan bahwa briket dapat diandalkan dalam memenuhi kebutuhan energi pada sebagian besar aktivitas ekonomi yang dilakukan oleh rumah tangga maupun industri menengah kecil. Keberadaan briket sebagai sumber energi alternatif tampak semakin penting dengan peningkatan penjualan briket dari tahun ke tahun.

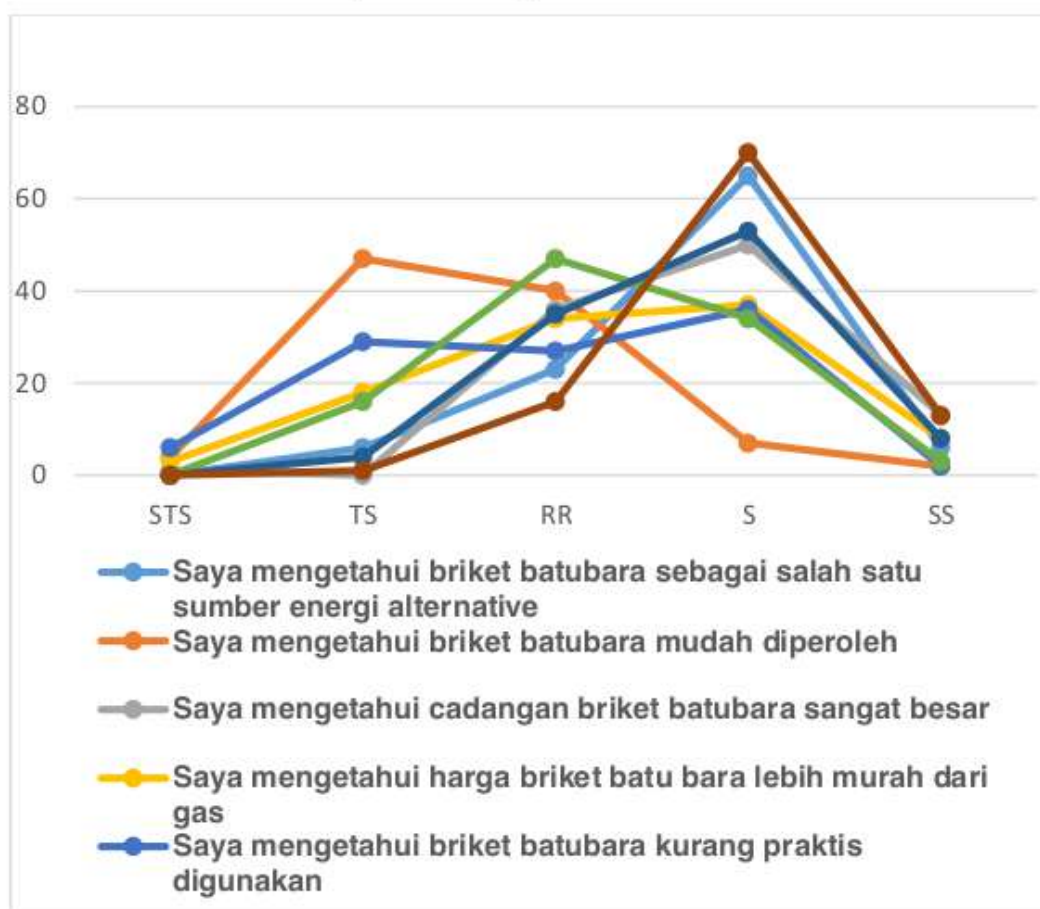
Pertimbangan secara ekonomi menunjukkan bahwa harga briket batubara lebih murah dari pada harga bahan bakar minyak bumi dan listrik. Teknik pembakarannya pun cukup sederhana dan mudah untuk dilakukan. Selain itu dampak lingkungan yang dapat ditimbulkan oleh pembakaran batubara dapat diatasi dengan mudah dengan menggunakan metode pembakaran yang tepat.

Tanggapan masyarakat yang di sajikan pada bab ini adalah hasil survey terhadap 100 responden yang kemudian diolah dan diplot untuk di analisa

## **5.2 Pengetahuan Responden Tentang Briket Batubara**

Pengetahuan responden tentang briket batubara sebagai sumber energi alternatif sebanyak 6 % menyatakan sangat setuju, dan 65 % responden menyatakan setuju, sedangkan yang ragu-ragu dan tidak setuju sebanyak 29 %. Hal ini berarti sebagian besar responden telah mengetahui bahwa briket batubara merupakan energi pilihan selain

sumber energi yang biasa digunakan seperti minyak dan gas. Pilihan alternatif sebagai sumber energi ini, berkaitan dengan kekhawatiran tentang naiknya harga minyak dan gas yang selalu muncul dalam pemberitaan media, sehingga pengguna energi ini mencari alternatif energi lain yang dapat digunakan seandainya energi minyak dan gas mengalami kenaikan harga. Data tentang sumber energi alternatif briket batubara ini dapat dilihat pada Grafik 5.1 berikut ini.



Gambar 5.3 Grafik tentang pengetahuan responden



Hampir separuh jumlah responden mengetahui tentang cadangan batubara yang sangat besar yaitu sebesar 63%. Walaupun responden yang mengetahui cadangan batubara cukup banyak, akan tetapi responden yang menjawab ragu-ragu cukup signifikan yaitu sebesar 36 %. Jumlah ini mengisyaratkan bahwa sebagian responden masih belum yakin terhadap cadangan batubara sebagai bahan baku briket. Masih ragunya responden ini berkaitan tentang informasi yang belum diketahui oleh responden tentang ketersediaan batubara dalam jangka panjang secara berkelanjutan (*sustainable*), karena batubara bersifat energi yang tak terbarukan.

Pengetahuan tentang harga briket batubara para responden menjawab cukup beragam, yakni sebanyak 21 % tidak setuju jika harga briket batubara lebih murah dari bahan bakar gas. Sebanyak 34 % menjawab ragu ragu dan 45 % menjawab setuju dan sangat setuju harga briket batubara lebih murah dari gas. Dari data ini dapat dianalisis bahwa pengetahuan responden tentang harga ini masih belum jelas, sehingga sampai pada responden dengan jawaban yang berbeda. Namun demikian patut dilihat bahwa informasi tentang harga ini menggambarkan bahwa masih seimbang bila dikatakan briket batubara harganya lebih murah, bahkan posisi responden yang masih ragu-ragu juga cukup besar. Hal ini berarti pengetahuan responden tentang nilai ekonomi batubara ini masih menyamakan dengan harga gas, padahal secara real, harga briket batubara jelas di bawah harga gas.

Data yang cukup menarik tersaji pada pengetahuan responden tentang penggunaan briket batubara, sebanyak 70 % ternyata menganggap masyarakat belum menggunakan briket batubara untuk keperluan rumah tangga dan hanya 16 % yang masih ragu-ragu. Dari jawaban responden ini dapat diketahui bahwa pengetahuan responden tentang penggunaan briket batu-bara untuk rumah tangga masih sangat terbatas, sehingga mereka menganggap belum begitu banyak masyarakat menggunakan briket batubara untuk kegiatan memasak atau aktivitas lain dalam kehidupan sehari-hari. Kondisi ini mengisyaratkan bahwa briket batubara belum banyak digunakan oleh masyarakat.

Data berikut menyajikan tentang kemudahan memperoleh briket batubara. Ternyata sebagian besar responden menyatakan 47 % tidak setuju dan 40 % masih ragu-ragu apabila dikatakan briket batubara mudah diperoleh. Pengetahuan responden mengatakan bahwa briket batubara masih sulit untuk diperoleh, karena berkaitan dengan keberadaan tempat penjualan briket masih sulit dijumpai. Jadi sangat wajar bila responden belum mengetahui bagaimana briket batubara diperoleh. Kesulitan menemui tempat keberadaan briket batu baru membawa implikasi terhadap responden yang menyatakan ketidaksetujuannya dengan pernyataan briket batubara mudah diperoleh, karena kenyataannya keberadaan briket jarang dilihat dan ditemu oleh responden. Kesulitan inilah yang menyebabkan

responden masih enggan mencoba penggunaan briket batubara untuk berbagai keperluannya, termasuk pada industri pengecoran logam.

Data menyatakan bawah sebanyak 36 % responden setuju jika dikatakan bahwa penggunaan briket batubara kurang praktis. Hal ini berkaitan dengan waktu tunggu yang lama dalam memperoleh energi panas, dan untuk mematikan briket yang sudah digunakan juga membutuhkan waktu atau tidak langsung mati. Sebanyak 27 % responden masih ragu-ragu dalam menyatakan briket batubara kurang praktis, sedangkan sebanyak 29 % tidak setuju dan 6 % sangat tidak setuju menyatakan bahwa briket batubara kurang praktis digunakan. Grafik 1.7 menggambarkan bahwa sebanyak 47 % responden masih ragu-ragu menjawab, 34 % menyatakan setuju berbanding 16 % menyatakan tidak setuju bahwa briket batubara membutuhkan waktu lama untuk mendapatkan energi. Hal ini berarti, responden yang setuju lebih banyak, oleh karena itu diperoleh gambaran bahwa pengetahuan responden cukup signifikan dalam menyatakan penggunaan briket batubara membutuhkan waktu lama, sehingga cukup beralasan jika pernyataan ini berkaitan dengan penggunaan briket batubara yang kurang praktis.

Pengetahuan responden tentang penggunaan briket batubara yang menghasilkan debu dinyatakan setuju sebesar 53 % dan 35 % menyatakan ragu-ragu, bahkan ada 8 % yang menyatakan sangat setuju. Data ini mengisyaratkan bahwa memang benar jika responden mengakui bahwa penggunaan briket batubara menyebabkan debu yang

dapat merusak kesehatan pengguna. Faktor debu bisa saja menjadi sebab mengapa responden enggan beralih ke bahan bakar briket batubara, karena selain dapat mengganggu kesehatan debu briket batubara juga menyebabkan kondisi di lokasi kegiatan menjadi kotor.

Data menunjukkan bahwa sebagian besar masyarakat telah mengetahui bahwa briket batubara sebagai salah satu sumber energi alternatif. Sebagai sumber energi alternatif, briket batubara dianggap sebagai energi yang dapat menggantikan peran minyak bumi dan gas, karena memiliki cadangan yang cukup besar. Namun hanya sebagian kecil masyarakat hanya mengetahui bahwa cadangan batubara sangat besar, padahal cadangan batubara memiliki cadangan yang cukup besar di Indonesia. Kurangnya pengetahuan tentang cadangan batubara di Indonesia ini menjadikan masyarakat masih ragu dalam menggunakan briket batubara sebagai salah satu sumber energi alternatif. Akan tetapi dari sisi pengetahuan tentang harga briket batubara lebih murah dari gas, sebagian besar masyarakat juga masih belum mengetahui. Hal ini disebabkan karena sebagian besar masyarakat masih belum menggunakan briket batubara untuk keperluan rumah tangga, sehingga sangat wajar bila pengetahuan masyarakat tentang keberadaan briket batubara masing sangat minim. Ini terlihat dari pendapat masyarakat yang mengatakan bahwa briket batubara sulit diperoleh dan penggunaannya tidak praktis, terutama untuk kebutuhan pada tingkat rumah tangga. Alasannya, penggunaan briket batubara harus membutuhkan waktu lama agar dapat

menghasilkan energi. Selain itu penggunaan briket batubara dianggap dapat mengancam kesehatan pengguna dan tidak adaptif terhadap lingkungan, karena banyak menghasilkan debu bila dipergunakan untuk kegiatan rumah tangga. Debu dianggap sebagai alasan masyarakat kurang menggunakan briket batubara dalam kebutuhan hidup sehari-hari.

### **5.3 Inovasi Teknologi tentang Briket Batubara**

Inovasi teknologi diharapkan dapat menjadi pemecahan problem dalam penggunaan briket batubara. Prilaku responden terlihat dari kebutuhan teknologi briket batubara yang praktik. Sebanyak 53 % responden setuju dan 28 % responden sangat setuju dengan inovasi teknologi yang lebih praktis untuk kebutuhan memasak. Hal ini menggambarkan bahwa hambatan inovasi selama menjadi aspek penghambat bagi masyarakat untuk menggunakan briket batubara, terutama dalam aspek pemakaian briket batubara dan aspek ketersediaannya.

Problem debu yang dihasilkan dalam setiap penggunaan briket batubara menjadi sangat krusial bagi pengguna. Untuk itu inovasi teknologi pemakaian briket batubara menjadi suatu hal yang urgen, karena sebagian besar responden yaitu 28 % menyatakan setuju, dan 20 % menyatakan sangat setuju apabila teknologi penggunaan briket batubara dapat mengantisipasi debu sebagai bentuk perlindungan bagi pengguna. Sebanyak 12 % responden menyatakan ragu-ragu, dan

hanya 4 % menyatakan tidak setuju. Hal ini berarti responden sangat berharap munculnya inovasi teknologi baru yang dapat melindungi debu yang dihasilkan oleh penggunaan briket batubara.

Jawaban responden terhadap biaya murah briket batubara merupakan tuntutan bagi adanya inovasi harga keekonomian. Hal ini terlihat dari 46 % responden setuju, dan 33 % responden sangat setuju terhadap harga jual briket batubara yang murah dan terjangkau oleh masyarakat. Hanya sebesar 12 % responden yang masih ragu dan 4 % responden yang tidak setuju. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar responden mengharapkan keterjangkauan harga yang dapat mendorong untuk menggunakan briket batubara sebagai sumber energi alternatif.

Mengenai kebutuhan peralatan praktis, sebanyak 50 % menjawab setuju, 35 % menjawab sangat setuju, 13 % ragu-ragu, dan hanya 2 % yang tidak setuju. Data ini menggambarkan bahwa hampir sebagian besar responden menginginkan inovasi peralatan yang lebih praktis guna mendukung kenyamanan dan efektivitas dalam memakai briket batubara sebagai sumber energi. Ini berarti responden memandang penting dukungan peralatan yang dapat memudahkan penggunaan bahan bakar yang tidak hanya efektif dan efisien, tetapi juga lebih cepat dalam pemakaiannya. Aspek kecepatan waktu dalam penggunaan peralatan juga menjadi faktor sangat penting. Hal ini terlihat dari data responden yang menjawab setuju sebanyak 51 %, dan

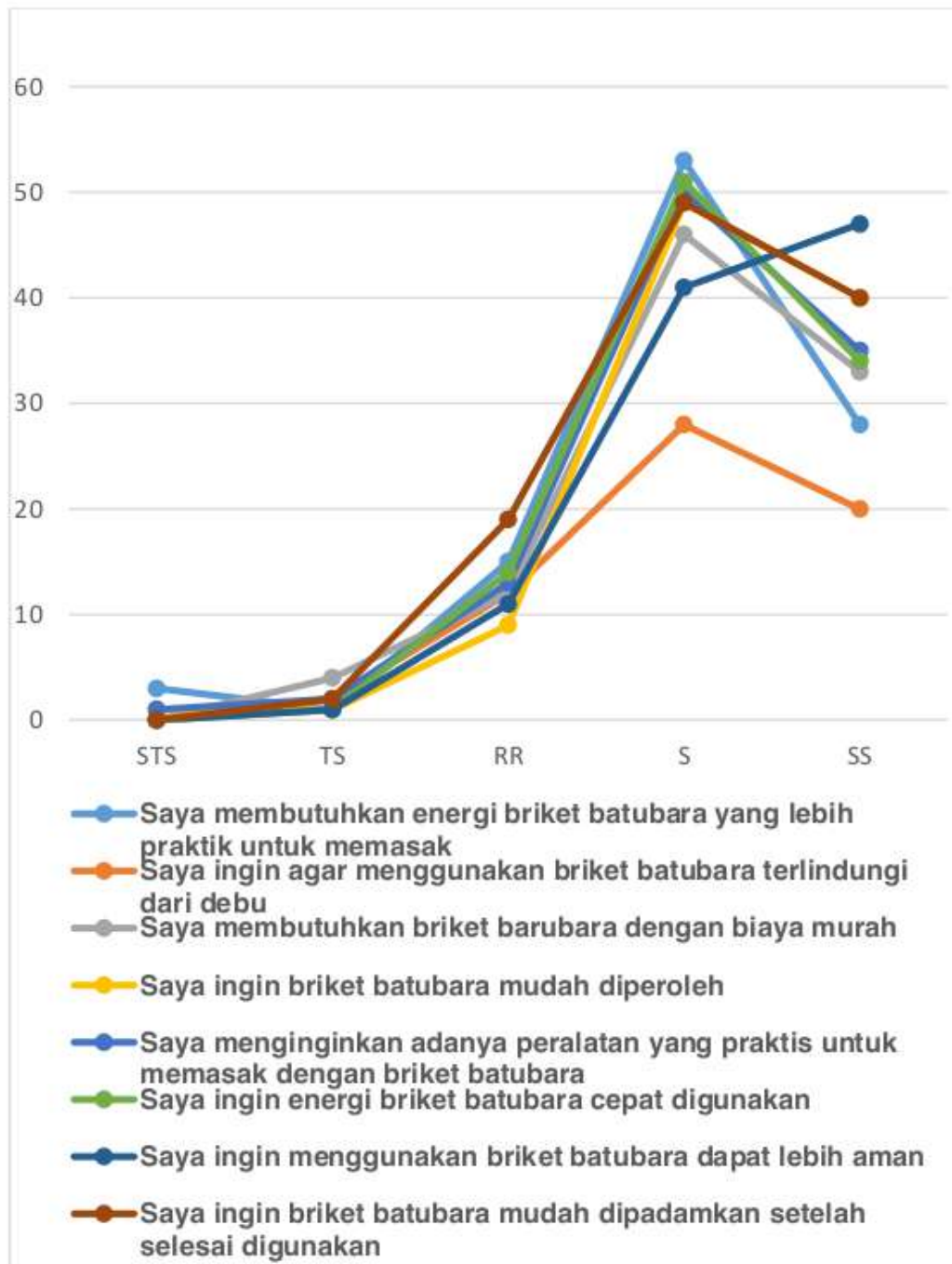
34 % menyatakan sangat setuju. Hanya 14 % menjawab ragu-ragu dan 1 % tidak setuju.

Selain itu, responden juga menginginkan adanya inovasi peralatan briket batubara yang lebih menjamin rasa aman pengguna. Ternyata responden sangat mengutamakan keselamatan dan keamanan dalam menggunakan briket batubara. Hal ini tercermin dalam pernyataan responden yang sebagian besar menjawab setuju sebanyak 41 %, dan 47 % menjawab sangat setuju, sedangkan yang ragu-ragu sebesar 11 %, dan hanya 1 % yang tidak setuju.

Faktor inovasi peralatan juga harus merekayasa bagaimana briket batubara cepat untuk dipadamkan. Selama ini pengguna beranggapan bahwa memakai briket batubara agak kesulitan dalam memadamkan bara apanya, sehingga muncul kekhawatiran bahwa penggunaan briket batubara akan lambat dalam mematikannya dan dianggap menyita waktu. Ini dapat dilihat dari jawaban responden yang mengatakan setuju sebanyak 49 %, menyatakan sangat setuju 40 %, menjawab ragu-ragu sebesar 19 % dan 2 % tidak setuju. Tampak bahwa aspek waktu pemanfaatan energi briket batubara menjadi hal yang sangat penting.

Berdasarkan data pada Gambar 5.4 dapat dijelaskan bahwa inovasi peralatan briket batubara sangat ditunggu oleh masyarakat, karena lebih menjamin penggunaan secara praktis dari segi pemakaian, efisien dalam waktu pemanfaatan, dan aman dalam melindungi

pemakainya. Hal ini terlihat dari keinginan sebagian besar masyarakat yang memerlukan briket batubara sebagai sumber energi praktis.



Grafik 5.4 Hasil survey Inovasi teknologi



Masyarakat juga memerlukan inovasi peralatan briket batubara yang tidak hanya dapat praktis dan cepat digunakan dari sisi efisiensi waktu, tetapi juga dapat menjamin keramahan lingkungan, terutama dari tebaran debu hasil pembakaran briket batubara. Perlindungan akan debu ini juga merupakan sisi praktis yang harus diperhatikan dalam inovasi teknologi peralatan briket batubara. Hal yang sangat penting untuk direkayasa peralatan briket batubara adalah bentuk peralatan yang mengakomodir kecepatan waktu pemadaman. Artinya masyarakat berharap bahwa waktu pemadaman setelah menggunakan briket batubara akan lebih cepat, seperti pemadaman penggunaan gas atau minyak tanah. Hal ini terkait dengan ketersediaan peralatan yang lebih mendukung penggunaan secara praktis sehingga dapat menghemat waktu dan melindungi secara aman dari debu, serta ramah lingkungan. Jika inovasi peralatan briket batubara memperhatikan faktor tersebut maka, dapat diprediksikan bahwa masyarakat akan segera mengadopsi teknologi briket batubara.

#### **5.4 Adopsi Teknologi Briket Batubara**

Adopsi teknologi Briket batubara berkaitan dengan perilaku masyarakat dalam mencontoh dan menerapkan suatu teknologi guna menunjang dan memperbaiki keadaan yang selama ini dijalani. Perilaku masyarakat ini dapat dilihat dari jawaban responden mengenai pertimbangan mengadopsi teknologi jika sudah melalui percobaan

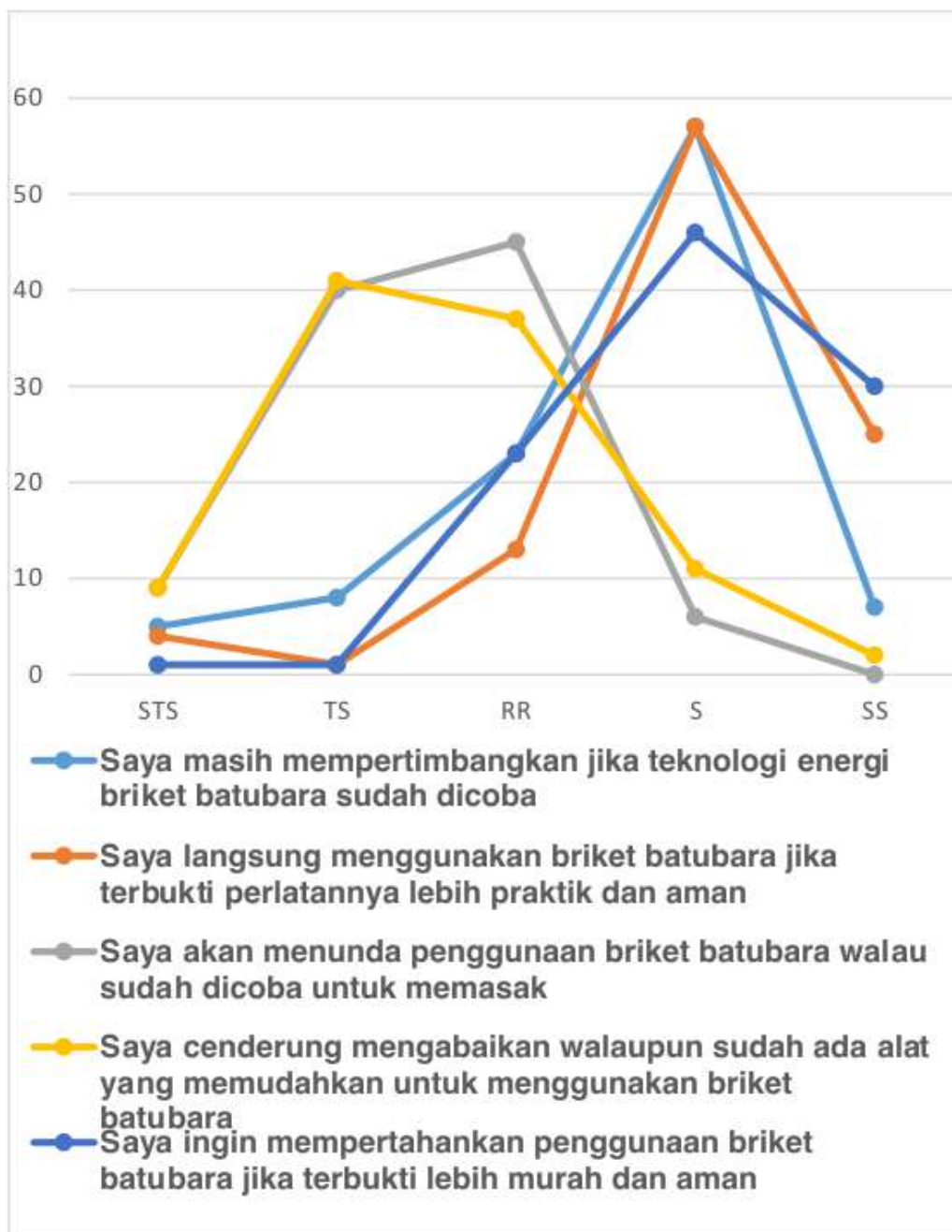
terlebih dahulu. Responden menyatakan setuju sebanyak 57 % dan sangat setuju 7 %. Hal ini menggambarkan bahwa perilaku responden cenderung akan mengadopsi suatu teknologi apabila mereka telah mengadakan percobaan, berarti langsung menerapkan teknologi tersebut. Namun masih ada yang ragu-ragu terhadap adopsi teknologi ini sebesar 23 % yang berarti masih mempertimbangkan antara mengadopsi dan tidak mengadopsi karena suatu alasan. Selibuhnya, sebesar 8 % tidak setuju dan 5 % sangat tidak setuju melakukan adopsi melalui percobaan, karena faktor penolakan atau faktor yang langsung mengadopsi dengan pertimbangan yang menguntungkan

Sama halnya dengan inovasi teknologi, adopsi teknologi akan dilakukan sangat mempertimbangkan faktor praktis dan keamanan. Pertimbangan ini sangat dimaklumkan karena, biasanya pengguna memperhitungkan kemudahan dan besaran waktu yang terpakai dalam menggunakan teknologi briket batubara. Begitu pula dengan perlindungan dari rasa aman menjadi bagian penting bagi seseorang untuk memutuskan mengadopsi suatu teknologi baru.

Dalam mengadopsi suatu teknologi baru dipengaruhi oleh beberapa aspek yaitu keuntungan dan kemudahan yang diperoleh dan kenyamanan serta perlindungan. Jika kedua aspek tersebut sudah dialami oleh pengguna teknologi briket batubara, maka dia akan segera memutuskan, tindakan apa yang akan diambil. Dari data dapat dijelaskan bahwa sebanyak 40 % setuju dan 9 % sangat tidak setuju bila menunda penggunaan briket batubara walau sudah dicoba. Hanya

sebesar 6 % yang menunda, dan 45 % masih bersikap ragu-ragu. Data ini memperlihatkan bahwa responden masih bingung dalam bersikap, dan banyak juga yang tidak setuju menunda, yang berarti akan menggunakan teknologi briket batubara jika sudah mencoba. Data rinci dapat dilihat pada Grafik 3.3. Tren sikap responden yang positif tercermin dari data pengabaian teknologi briket batubara walaupun sudah ada penerapan teknologi alat yang diciptakan. Hal ini tergambar dari sikap responden yang tidak setuju sebesar 41 % dan sangat tidak setuju sebesar 9 %, sedangkan yang setuju sebanyak 6 % dan yang sangat setuju Cuma 1 %. Sikap ragu-ragu ini berarti responden masih mempertimbangkan faktor lain sebelum memutuskan untuk melakukan pengabaian. Menarik untuk disimak data sebesar 37 % responden yang masih ragu-ragu terhadap pengabaian ini.

Sikap untuk mempertahankan penggunaan teknologi briket batubara tercermin pada Grafik 3.5 berikut ini. Sebanyak 46 % menyatakan setuju dan 30 % menyatakan sangat setuju, yang berarti sebagian besar responden akan mempertahankan penggunaan teknologi briket batubara. Namun masih banyak juga yang ragu-ragu bersikap, yaitu sebanyak 23 %. Responden yang masih ragu ini diduga mempertimbangkan faktor lain sebelum mempertahankan teknologi briket batubara yang sudah digunakan, bisa jadi faktor kesinambungan ketersediaan briket batubara yang menjadi pertimbangan. Hal ini berarti,



Gambar 5.5 Grafik hasil survey tanggapan masyarakat terhadap Adopsi Teknologi Briket Batubara

responden akan tetap menggunakan briket batubara jika didukung persedian bahan baku dalam kurun jangka panjang, dan sebaliknya

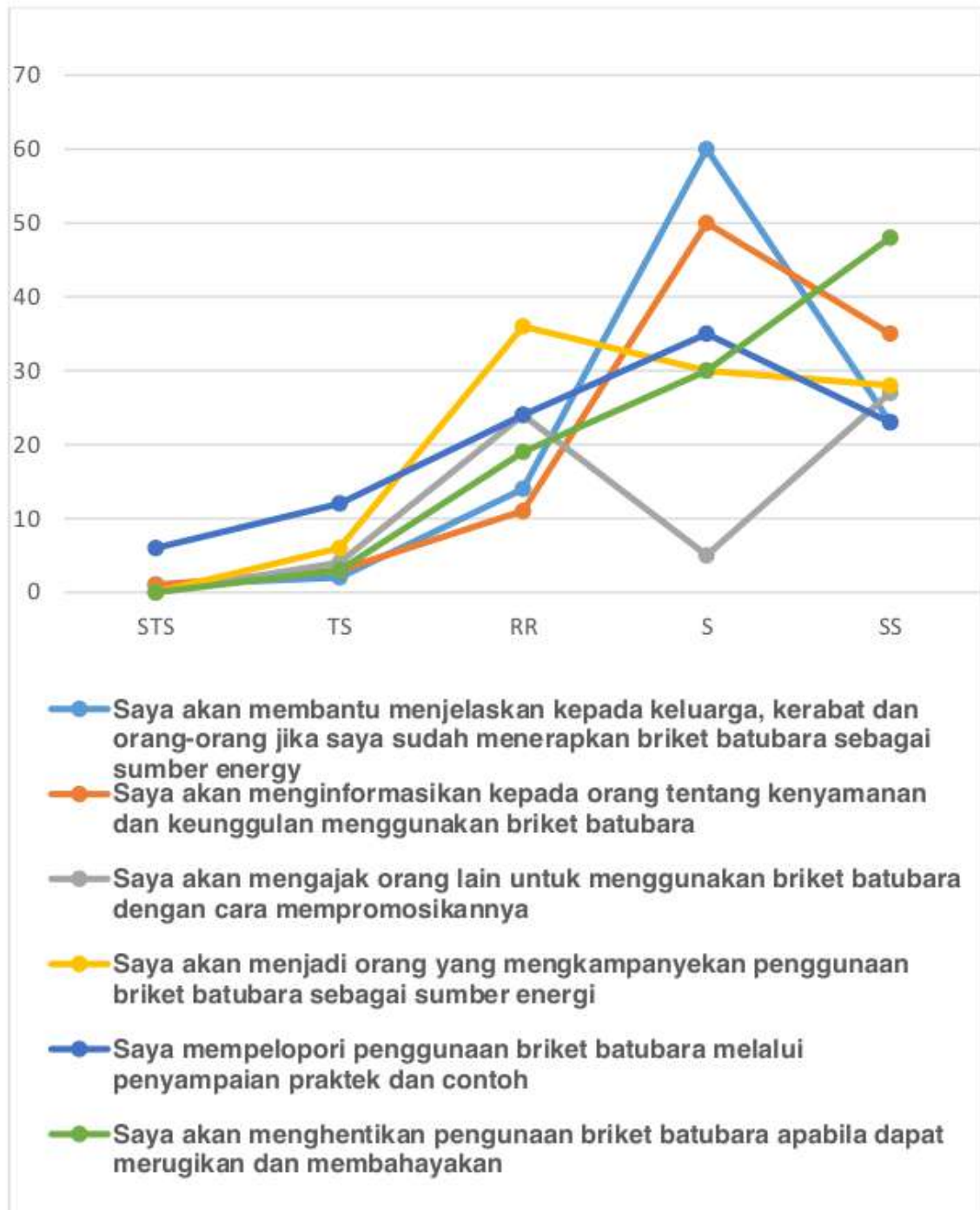
responden akan beralih kepada energi lain jika tidak menjamin kelangsungan persediaan.

Sebanyak 57% responden mempertimbangkan untuk mempergunakan energi briket batubara. Namun sebanyak 82% responden akan langsung menggunakan briket batubara sebagai bahan bakar bila terbukti praktis dan aman. Hanya 6% masyarakat yang akan menunda penggunaan. Dan hanya 11% responden yang mengabaikan menggunakan briket batubara sebagai bahan bakar. Sebanyak 76% responden akan mempertahankan penggunaan briket batubara jika terbukti lebih murah dan aman.

### **5.5 Sistem Sosial Responden**

Sistem sosial responden dalam merespon teknologi briket batubara dapat dilihat dari beberapa aspek yaitu perilaku yang membantu menjelaskan kepada orang lain pada saat dia sudah menerapkan teknologi briket batubara, perilaku yang mengkampanyekan dan mempromosikan penggunaan teknologi briket batubara, dan perilaku yang mempelopori teknologi briket batubara jika dia sudah mengadopsi teknologi tersebut. Grafik 5.2. menjelaskan perilaku responden yang akan menyebarkan informasi tentang penggunaan teknologi briket batubara kepada keluarga, kerabat dan orang lain, yaitu 60 % responden menyatakan setuju, dan 23 % menyatakan sangat setuju, selebihnya masih ragu-ragu dan ada

yang tidak setuju. Sedangkan Grafik 5.3 memberikan gambaran perilaku responden yang



Gambar 5.6 Grafik data hasil survey terhadap system sosial

ingin mempromosikan penggunaan briket batubara kepada khalayak pengguna yang lain, yaitu 45 % responden setuju, dan 27 % responden sangat setuju. Hal ini berarti bahwa sebagian besar responden akan menyebarkan dan mempromosikan penggunaan teknologi briket batubara kepada masyarakat.

Prilaku responden yang akan mengkampanyekan penggunaan briket batubara berada pada sebaran jawab sebesar 30 % setuju dan 28 % sangat setuju dan jika dijumlahkan sebesar 58 % responden akan mengkampanyekan gerkan penggunaan teknologi briket batubara, walau ada yang masih ragu-ragu sebesar 36 %, karena berbagai pertimbangan, seperti factor manfaat dan ketersediaan waktu. Sedangkan prilaku responden yang mempelopori penggunaan teknologi briket batubara dengan rincian sebagai berikut. Responden yang menyatakan setuju sebesar 35 % dan yang sangat setuju sebesar 23 % dan posisi ragu-ragu 24 %, serta tidak setuju sebesar 12 %.

Dari data tentang resistensi ini, sebanyak 30 % setuju dan 48 % sangat setuju apabila pada saat menggunakan briket batubara akan merugikan dan membahayakan pengguna. Hal ini berarti responden sangat peka terhadap nilai manfaat dan nilai perlindungan dari bahaya, sehingga dapat ditafsirkan bahwa dalam penerapan teknologi briket batubara, unsur manfaat dan perlindungan ini menjadi factor yang penting dan sangat menentukan keberhasilan penerapan teknologi baru.

Sebanyak 83% masyarakat akan mempromosikan penggunaan briket batubara kepada keluarga dan kerabatnya . dan sebanyak 85% masyarakat akan menginformasikan kepada orang tentang kenyamanan dan keunggulan menggunakan briket batubara. Sebanyak 72% bersedia mengajak orang lain untuk menggunakan briket batubara dengan cara mempromosikannya. Hanya sebanyak 58% yang bersedia untuk mengkampanyekan penggunaan briket batubara sebagai sumber energi. Sebanyak 58% yang bersedia memelopori penggunaan briket batubara melalui penyampaian praktek dan percontohan. Sebesar 78% menyatakan akan menghentikan penggunaan briket batubara apabila dapat merugikan dan membahayakan.

## 5.6 Bahan Bakar yang Digunakan di Industri Pengecoran

Bahan bakar yang digunakan untuk industri pengecoran logam, sebagian besar masih menggunakan arang kayu, yaitu sebanyak 65 %



Gambar 5.7 Bahan bakar yang digunakan pada industri pengecoran logam



industri pengecoran, 10 % menggunakan minyak tanah, 13 % menggunakan solar, 8 % memakai oli bekas, dan hanya 4 % menggunakan listrik. Tidak satupun industri pengecoran logam yang disurvei menggunakan briket batubara. Kondisi ini mempertegas bahwa menggunakan briket batubara masih berupa wacana, padahal jika dilihat dari efektivitas energi yang dihasilkan cukup tinggi, karena menghasilkan panas yang bisa digunakan untuk pengecoran logam. Namun industri belum memanfaatkan kelebihan bahan bakar briket batubara, dikarenakan masih belum jelasnya sumber bahan baku dan distribusi briket batubara, serta yang perlu didalami adalah ketersediaan teknologi tungku yang digunakan untuk penggunaan briket batubara serta efisiensi waktu penggunaan.

# Briket Batubara Sebagai Bahan Bakar Pada Pengecoran Logam

## ORIGINALITY REPORT

9%

SIMILARITY INDEX

9%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

1%

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

1	<a href="http://download.garuda.ristekdikti.go.id">download.garuda.ristekdikti.go.id</a> Internet Source	4%
2	<a href="http://eprints.unsri.ac.id">eprints.unsri.ac.id</a> Internet Source	3%
3	<a href="http://avoer.ft.unsri.ac.id">avoer.ft.unsri.ac.id</a> Internet Source	2%
4	<a href="http://portal.djmbp.esdm.go.id">portal.djmbp.esdm.go.id</a> Internet Source	1%

Exclude quotes On

Exclude matches < 1%

Exclude bibliography On