



**RANCANG BANGUN TUNGKU LISTRIK  
PELEBURAN ALUMINIUM DENGAN  
MEMANFAATKAN LIMBAH *EVAPORATION BOAT*  
SEBAGAI PELAPIS DINDING TUNGKU**

**Skripsi**

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar  
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Mesin**

**Oleh**

**Lutvi Ridwan**

**NIM.5201415045**

**PENDIDIKAN TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

**2019**

## PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Lutvi Ridwan

NIM : 5201415045

Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin

Judul : Rancang Bangun Tungku Listrik Peleburan Aluminium dengan Memanfaatkan Limbah *Evaporation Boat* sebagai Pelapis Dinding Tungku

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 18 November 2019

Pembimbing



Samsudin Anis, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197601012003121002

---

## PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Rancang Bangun Tungku Listrik Peleburan Aluminium dengan Memanfaatkan Limbah *Evaporation Boat* sebagai Pelapis Dinding Tungku” telah dipertahankan di depan sidang panitia ujian skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal

Oleh :

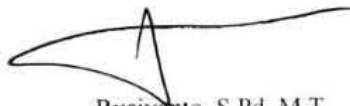
Nama : Lutvi Ridwan

NIM : 5201415045

Program Studi: Pendidikan Teknik Mesin

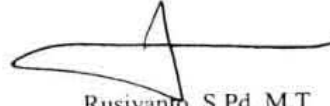
Panitia :

Ketua



Rusiyanto, S.Pd. M.T  
NIP.197403211999031002

Sekretaris



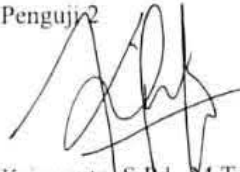
Rusiyanto, S.Pd. M.T  
NIP. 197403211999031002

Penguji 1



Dr. M. Khumaedi, M.Pd.  
NIP. 196209131991021001

Penguji 2



Kriswanto, S.Pd., M.T.  
NIP. 1986090320140111151

Pembimbing



Samsudin Anis, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197601012003121002

Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik UNNES



Nitihandus, M.T., IPM.  
NIP. 196911301994031001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 09 Desember 2019

METERAI  
TEMPEL  at pernyataan,

EB08BAHF124945374

6000  
ENAM RIBURUPIAH

  
Lutvi Ridwan

NIM. 5201415045

## **MOTTO**

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila kamu telah selesai (dari sesuatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh – sungguh (urusan) yang lain”. (QS. Al-Insyirah : 6-7)

### **Kupersembahkan untuk :**

1. Ayah dan Ibu yang selalu mendoakan yang terbaik untuk anaknya.
2. Noor Istighfarin, yang menjadi semangat dan motivasi dalam hidupku.
3. Teman – temanku yang selalu memberikan semangat dan dukungan.
4. Keluarga besar Teknik Mesin UNNES.

## RINGKASAN

**Ridwan, Lutvi. 2019.** Rancang Bangun Tungku Peleburan Aluminium Mekanisme Tahanan Listrik dengan Memanfaatkan Limbah *Evaporation Boat* sebagai Pelapis Dinding Tungku. Skripsi, S1 Pendidikan Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang. Dosen pembimbing Assoc. Prof. Samsudin Anis, S.T., M.T., Ph.D., IPP.

*Evaporation boat* terbuat dari senyawa boron nitride yang memiliki densitas  $>2,75 \text{ g/cm}^3$ , resistivitas pada suhu  $1600 \text{ }^\circ\text{C}$  yaitu  $1300\text{-}4800 \times 10^{-6} \text{ ohm cm}$ , *brinell hardness* 45 pada suhu ruangan, kalor jenis dan konduktivitas sebesar  $0,68 \text{ J/gK}$  dan  $80 \text{ W/K}$  pada suhu  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  dan titik lebur  $2700 \text{ }^\circ\text{C}$ , sehingga dapat digunakan sebagai pelapis dinding pada tungku peleburan logam. Tujuan dalam penelitian ini adalah: (1) mendapatkan rancangan tungku listrik peleburan aluminium dengan memanfaatkan limbah *evaporation boat* sebagai pelapis dinding tungku; (2) mengetahui suhu luar setelah menggunakan pelapis *evaporation boat* pada dinding tungku; (3) mengetahui biaya pembuatan dari tungku hasil rancangan; (4) mengetahui efisiensi peleburan dari tungku hasil rancangan.

Penelitian ini menggunakan metode penelitian pengembangan ADDIE. Subjek uji coba ada dua yaitu uji kelayakan yang bertujuan untuk menilai kelayakan dari tungku peleburan dan uji performa yang bertujuan untuk mengetahui perbedaan suhu luar tungku dengan menggunakan *lining* dan tanpa menggunakan *lining* serta untuk mengetahui efisiensi dari tungku listrik ini.

Hasil penelitian ini adalah Rancangan tungku listrik peleburan aluminium dengan spesifikasi; (a) dimensi tungku dengan diameter dalam 200 mm, diameter luar 476 mm dan tinggi 518 mm; (b) kapasitas maksimal 4 kg aluminium; (c) daya output 607 watt; (d) temperatur maksimal  $1200 \text{ }^\circ\text{C}$ ; (e) kawat pemanas yang digunakan nikelin ukuran 1,2 mm; (f) thermocontrol yang digunakan TC4S-14R; (g) thermocouple yang digunakan tipe K; (h) semen tahan api yang digunakan C-16. Adanya penurunan suhu luar setelah menggunakan pelapis *evaporation boat* pada dinding tungku sebesar  $4 \text{ }^\circ\text{C}$ . Biaya pembuatan tungku listrik peleburan aluminium hasil rancangan adalah Rp. 6.300.000. Tungku listrik peleburan aluminium dengan *lining evaporation boat* hasil rancangan memiliki efisiensi sebesar 34,9%.

**Kata kunci:** *evaporation boat*, tungku listrik, efisiensi.

## PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “**Rancang Bangun Tungku Listrik Peleburan Aluminium dengan Memanfaatkan Limbah *Evaporation Boat* sebagai Pelapis Dinding Tungku**” dengan baik.

Penyelesaian karya tulis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada :

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., IPM., Dekan Fakultas Teknik, Rusyanto, S.Pd, M.T, Ketua Jurusan Teknik Mesin, Rusyanto, S.Pd, M.T, Koordinator Program Studi Pendidikan Teknik Mesin atas fasilitas yang disediakan bagi mahasiswa.
3. Samsudin Anis, S.T., M.T.Ph.D sebagai Dosen Pembimbing yang berkenan memberi bimbingan.
4. Dr. M. Khumaedi, M.Pd. selaku dosen penguji I yang telah memberi saran dan masukkan kepada penulis.
5. Kriswanto, S.Pd., M.T. selaku dosen penguji II yang telah memberi saran dan masukkan kepada penulis.

6. Semua dosen jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.
7. Berbagai pihak yang telah memberi bantuan untuk karya tulis ini yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Penulis berharap skripsi ini dapat diterima dan bermanfaat bagi pembaca. Saran dan kritik yang membangun akan diterima untuk kemajuan penelitian yang akan dilakukan.

Semarang, Desember 2019

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>PERSETUJUAN PEMBIMBING</b> .....	ii
<b>PENGESAHAN KELULUSAN</b> .....	iii
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	iv
<b>MOTTO</b> .....	v
<b>RINGKASAN</b> .....	vi
<b>PRAKATA</b> .....	vii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	5
1.3 Batasan Masalah .....	5
1.4 Rumusan Masalah .....	5
1.5 Tujuan penelitian .....	6
1.6 Manfaat Penelitian.....	6
1.7 Spesifikasi Produk yang Dikembangkan.....	7
1.8 Asumsi dan Keterbatasan Pengembangan.....	8
<b>BAB II LANDASAN TEORI</b> .....	9
2.1 Deskripsi Teoritik .....	9
2.2 Kajian Penelitian yang Relevan.....	25
2.3 Kerangka Pikir.....	29
2.4 Hipotesis Penelitian .....	29
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	31
3.1 Model Pengembangan .....	31
3.2 Prosedur Pengembangan .....	31
3.3 Uji Coba Produk .....	33

3.3.1	Desain Uji Coba .....	34
3.3.2	Subyek Uji Coba .....	45
3.3.3	Jenis Data .....	46
3.3.4	Instrumen Pengumpul Data .....	46
3.3.5	Teknik Analisis Data .....	47
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>50</b>
4.1	Hasil Penelitian.....	50
4.2	Hasil Pengembangan .....	54
4.3	Pembahasan Produk Akhir .....	61
<b>BAB V SIMPULAN, IMPLIKASI DAN SARAN .....</b>		<b>65</b>
5.1	Simpulan.....	65
5.2	Implikasi .....	66
5.3	Saran .....	66
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>67</b>
<b>LAMPIRAN – LAMPIRAN.....</b>		<b>69</b>

## DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG

Singkatan	Keterangan
BN	Boron Nitride
MET	<i>Maximum Element Temperature</i>
C-16	Castable 16
Dkk	Dan kawan kawan
Lab	laboratorium
LPG	<i>Liquified Petroleum Gas</i>
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i>
ADDIE	<i>Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation</i>
Rpm	Rotasi per menit
MIG	<i>Metal Inert Gas</i>
AC	<i>Alternating Current</i>
DC	<i>Direct Current</i>
SPSS	<i>Statistical Package for Social Sciences</i>
Std	<i>Standart</i>
Sig	Signifikansi
Rp	Rupiah
df	<i>Degree of freedom</i>

Simbol	Keterangan	Satuan
°C	Derajat celcius	
K	Derajat Kelvin	
%	Persen	
SiO <sub>2</sub>	Silica	
MgO	Magnesium oksida	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Alumina	
P	Densitas	g/cm <sup>3</sup>
P	Porositas	%
TiB <sub>2</sub>	Titanium diboride	
R	Resistivitas	Ωcm
Ω	Ohm	
Σ	<i>Flexural strength</i>	MPa
E	<i>Youngs modulus</i>	GPa
K <sub>1c</sub>	<i>Fracture toughness</i>	MPa√m
Λ	<i>Thermal konduktivty</i>	W/m.K
H <sub>m</sub>	Ketinggian tungku	m
D <sub>c</sub>	Diatemer tungku	m
V <sub>m</sub>	Volume tungku	m <sup>3</sup>
B	Ketebalan lapisan tungku	m

Simbol	Keterangan	Satuan
$B_{ins}$	Ketebalan lapisan <i>lining</i>	m
$D_{in}$	Diameter dalam tungku	m
$A_r$	Area aliran panas	$m^2$
$R$	Jari jari	m
$r_1$	Jari jari 1	m
$r_2$	Jari jari 2	m
$r_3$	Jari jari 3	m
$L$	Panjang	m
$\pi$	Phi	
$q_r$	Panas yang mengalir dalam suatu area	Joule
$k$	Konduktivitas termal	$W/m.^{\circ}C$
$Q_1$	Kalor untuk melebur aluminium	Joule
$Q_A$	Kalor yang dinaikan temperatur aluminium padat	Joule
$Q_B$	Kalor yang merubah fase aluminium padat menjadi cair pada suhu	Joule
$Q_C$	Kalor yang menaikkan temperatur aluminium cair dari $660^{\circ}C$ ke temperatur penguangan	Joule
$m_{al}$	Massa aluminium	kg
$C_p$	Panas jenis aluminium padat	$J/kg.^{\circ}C$
$T$	Suhu	
$\Delta T$	Perubahan suhu	
$h$	Panas laten aluminium	$kJ/kg$
$\eta$	Efisiensi	%
$Fe$	<i>Ferrum</i>	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat Fisis <i>Evaporation Boat</i> .....	17
Tabel 3.1 Sifat Fisis <i>Evaporation Boat</i> .....	39
Tabel 3.2 Penilaian Kelayakan Produk Pengembangan .....	47
Tabel 4.1 Ringkasan Perhitungan Dalam Perancangan .....	52
Tabel 4.2 Biaya Komponen Tungku Listrik .....	52
Tabel 4.3 Biaya Bahan Tungku Listrik .....	53
Tabel 4.4 Biaya Pengerjaan .....	53
Tabel 4.5 Perencanaan Laba Produksi .....	53
Tabel 4.6 Tafsiran Harga Produk .....	54
Tabel 4.7 Hasil Validasi Isi .....	54
Tabel 4.8 Spesifikasi Tungku Listrik Peleburan Aluminium .....	57
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Tungku Listrik .....	58
Tabel 4.10 Paired Sample Statistic .....	58
Tabel 4.11 Paired Samples Correlations .....	59
Table 4.12 Paired Samples Test .....	59
Tabel 4.13 Data Uji Performa Tungku Listrik .....	62
Tabel 4.14 Perbandingan Kinerja Berbagai Tungku Peleburan Aluminium .....	64

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tiga Jenis Dapur Krusibel.....	10
Gambar 2.2 Tungku Kupola.....	11
Gambar 2.3 Tungku Busur Listrik .....	12
Gambar 2.4 Tungku Induksi .....	13
Gambar 2.5 Aliran Panas Satu Dimensi Melalui Silinder Berlubang Dan Analog Listrik .....	22
Gambar 2.6 Aliran panas Satu Dimensi Melalui Beberapa Bagian Silinder Dan Analog Listrik .....	23
Gambar 3.1 Konsep Model Penelitian ADDIE.....	31
Gambar 3.2 Desain Tungku Peleburan Aluminium.....	34
Gambar 3.3 Potongan Desain Tungku Peleburan Aluminium.....	35
Gambar 3.4 Mesin Bubut .....	36
Gambar 3.5 Mesin Bor Tangan .....	36
Gambar 3.6 Mesin Gerinda Tangan .....	37
Gambar 3.7 Mesin Las MIG .....	38
Gambar 3.8 <i>Thermodigital</i> .....	38
Gambar 3.9 <i>Thermocouple</i> Tipe K .....	39
Gambar 3.10 <i>Evaporation Boat</i> .....	40
Gambar 3.11 Kawat Nikelin .....	41
Gambar 3.12 Semen Tahan Api Castable C-16 .....	42
Gambar 3.13 <i>Relay</i> .....	43
Gambar 3.14 <i>Thermocontrol</i> TC4S-14R .....	43
Gambar 3.15 Diagram Alir Penelitian .....	44
Gambar 3.16 Diagram Alir Uji Kelayakan .....	45
Gambar 3.17 Diagram Alir Uji Performa .....	46
Gambar 4.1 Desain Tungku Listrik Peleburan Aluminium .....	51
Gambar 4.2 Tungku Listrik Peleburan Aluminium .....	55
Gambar 4.3 Distribusi nilai t tabel statistik.....	61

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Limbah merupakan permasalahan utama yang ada di masyarakat. Limbah dari bahan logam memang sulit untuk didaur ulang. limbah aluminium yaitu kaleng bekas atau perabot rumah tangga yang sudah tidak terpakai. Pemanfaatan limbah logam agar menjadi barang yang memiliki nilai jual maka dibutuhkan industri peleburan logam.

Kemajuan industri terus meningkat sesuai kebutuhan yang ada, sehingga banyak teknologi yang digunakan dengan memanfaatkan dan mengonversi daya mineral. Salah satunya industri logam aluminium yang memanfaatkan limbah aluminium. Aluminium dapat diolah menjadi berbagai macam barang seperti asesoris, peralatan rumah tangga, komponen otomotif, dan lain-lain.

Penggunaan peralatan pengecoran semakin beragam guna menghasilkan kualitas produk aluminium yang baik, sehingga penggunaan energi yang dipakai perlu dipertimbangkan. Winarno, (2015) menyatakan, membuat tungku pencairan aluminium menggunakan bahan bakar padat dengan sistem aliran udara paksa. Hasil pengujian dengan menggunakan briket batu bara menunjukkan bahwa dalam 1 kg skrap aluminium yang dilebur memerlukan 2,3 kg bahan bakar. Kemudian Nukman, dkk. (2015) menyatakan bahwa, melakukan peleburan skrap aluminium dengan tungku kursibel berbahan bakar batu bara. Skrap aluminium lebur pada temperatur 1023 K, tungku tersebut dapat meleburkan 50 kg skrap aluminium

dengan 6,47 kg briket dalam 1 jam 46 menit. Bahan bakar gas merupakan bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbaharui dan sulit ditemukan keberadaannya dimasyarakat serta penggunaan tungku berbahan bakar fosil sebagai sumber energi untuk proses pencairan memiliki beberapa kelemahan. Menurut Schlesinger, (2013:169) menyatakan efisiensi tungku yang dihasilkan lebih rendah dan pembakaran menghasilkan partikel-partikel sisa asap yang dapat mengkontaminasi logam cair. Energi listrik mudah ditemukan dan jarang mengalami kendala dengan energi tersebut serta tungku dengan energi listrik tidak menghasilkan asap, sehingga pembakaran tidak menghasilkan partikel-partikel sisa asap yang tidak akan mengkontaminasi logam cair.

Proses peleburan dan pengecoran logam untuk mengubah logam dari fasa padat menjadi fasa cair akan menggunakan suatu tungku peleburan yang material bahan baku logam serta jenis tungku yang digunakan tentunya harus disesuaikan dengan jenis serta jumlah material yang akan dilebur.

Pemilihan tungku peleburan yang akan digunakan untuk mencairkan logam harus sesuai dengan bahan baku yang akan dilebur. Paduan aluminium, tembaga, timah hitam, dan logam ringan lainnya biasanya dilebur dengan menggunakan tungku peleburan jenis krusibel, sedangkan untuk besi cor menggunakan tungku induksi frekuensi rendah atau kupola. Tungku Induksi frekuensi tinggi biasanya digunakan untuk melebur baja dan material tahan temperatur tinggi.

Berdasarkan uraian masalah tersebut maka diperlukan sebuah tungku peleburan logam aluminium yang hemat energi, sederhana, dan mudah pembuatannya sehingga dapat digunakan oleh industri-industri pengecoran logam



skala kecil. Tungku dengan sumber listrik, namun tidak seperti halnya dengan tungku induksi yang sama-sama menggunakan energi listrik tetapi tidak bisa digunakan pada semua jenis logam aluminium atau paduannya. Hal tersebut terjadi karena aluminium memiliki medan magnet yang sangat rendah. Oleh karena itu diperlukan tungku listrik dengan mekanisme tahanan listrik untuk mencairkan aluminium tersebut.

Hal utama yang wajib diperhatikan selain prinsip pemanasan dan pencairan pada penggunaan tungku peleburan adalah lapisan bahan tahan panas atau *lining* yang berfungsi sebagai isolasi yang tahan terhadap temperatur tinggi. Kualitas *lining* perlu diperhatikan, karena kualitasnya sangat berperan terhadap fungsi, keselamatan kerja, metalurgi peleburan dan efisiensi. Apabila *lining* mengalami suatu masalah maka tungku tersebut tidak dapat dioperasikan sehingga berakibat tidak berjalannya operasi pada industri pengecoran logam (Alandra, 2012: 2).

*Lining refractory* berfungsi sebagai pelapis dari dinding tungku sehingga panas tidak mudah keluar maka perlu bahan *refractory* yang memiliki sifat tahan terhadap panas, selain itu densitas pada *lining refractory* perlu ditingkatkan seperti bahan *refractory* yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu limbah *evaporation boats* yang memiliki titik leleh mencapai 2.700°C dan semen tahan api castable C-16 memiliki titik lebur mencapai 1.600°C.

Selain limbah logam aluminium yang susah untuk diuraikan, terdapat juga limbah *evaporation boat* yang berasal dari industri logam 3M. Dalam industri logam *evaporation boat* digunakan sebagai wadah penahan dari pemanas tahanan listrik untuk mencairkan dan menguapkan logam. *Evaporation boat* terbuat dari

komposit Boron Nitrida (BN). Evaporation boat sering berbentuk persegi panjang dan berbentuk palung (Epstein, 2009).

Pemanfaatan *evaporation boat* bekas sebagai pelapis dinding tungku, karena *ovaporation boat* terbuat dari senyawa BN yaitu *Boron Nitride* yang memiliki resistivitas pada suhu 1600°C yaitu  $1300-4800 \times 10^{-6}$  ohm cm, *brinel hardness* 45 pada suhu ruangan, kalor jenis dan konduktivitas sebesar 0,68 J/gK dan 80 W/K pada suhu 20°C dan titik lebur 2700°C, sehingga dapat digunakan sebagai pelapis dinding pada tungku peleburan logam (Bernard dan Miele, 2014). Pembuatan pelapis dinding tungku peleburan dengan cara menghaluskan *ovaporation boat* bekas sampai ukuran 100 mesh, lalu dicampur dengan semen tahan api yang berguna sebagai perekat. Pada tungku juga terdapat indikator pengatur suhu sehingga panas dalam tungku dapat terlihat dan dapat diatur.

Tungku dengan mekanisme tahanan listrik memiliki bahan utama yaitu elemen pemanas. Elemen pemanas berfungsi untuk mengubah energi listrik menjadi energi panas melalui proses *joule heating*. Elemen pemanas yang akan digunakan adalah kawat Nikel dengan ukuran 1,2 mm. Menurut Pambudi, (2018) menyatakan bahwa kawat dengan diameter 1,2 mm dapat mempercepat waktu saat proses peleburan Aluminium. Dalam hal ini penulis mengangkatnya dalam penelitian yang berjudul “Rancang Bangun Tungku Listrik Peleburan Aluminium dengan Memanfaatkan Limbah *Evaporation Boat* Sebagai Pelapis Dinding Tungku”.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, peneliti mengidentifikasi beberapa masalah yang akan dijadikan bahan penelitian selanjutnya.

1. Penggunaan bahan bakar yang tidak hemat energi.
2. Tungku pelebur aluminium berbahan bakar fosil memiliki efisiensi yang rendah.
3. Tungku pelebur aluminium berbahan bakar fosil menghasilkan partikel-partikel sisa asap yang mengontaminasi aluminium cair.
4. Kurangnya pemanfaatan limbah *evaporation boat*.
5. Perlu adanya rancangan tungku peleburan Aluminium yang sederhana dengan mekanisme tahanan listrik.

## 1.3 Pembatasan Masalah

Berdasarkan indentifikasi masalah yang diuraikan maka permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini dibatasi :

1. Pemanfaatan limbah *evaporation boat* sebagai pelapis dinding tungku.
2. Rancangan tungku peleburan aluminium yang sederhana dengan mekanisme tahanan listrik.

## 1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah dan batasan masalah yang telah diuraikan, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana rancangan tungku listrik peleburan aluminium dengan memanfaatkan limbah *evaporation boat* sebagai pelapis dinding tungku?
2. Apakah ada penurunan suhu luar setelah menggunakan pelapis *evaporation boat* pada dinding tungku?
3. Apakah biaya pembuatan tungku hasil rancangan lebih murah dari tungku sebelumnya?
4. Apakah tungku hasil rancangan lebih efisien dari tungku peleburan aluminium sebelumnya?

### **1.5 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka tujuan penelitian ini sebagai berikut.

1. Mendapatkan rancangan tungku listrik peleburan aluminium dengan memanfaatkan limbah *evaporation boat* sebagai pelapis dinding tungku.
2. Mengetahui suhu luar setelah menggunakan pelapis *evaporation boat* pada dinding tungku.
3. Mengetahui biaya pembuatan dari tungku hasil rancangan.
4. Mengetahui efisiensi peleburan dari tungku hasil rancangan.

### **1.6 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Untuk ilmu pengetahuan :

- a. Menambah wawaasan dan kemampuan berpikir mengenai penerapan teori yang telah didapat dari mata kuliah yang telah diterima ke dalam penelitian yang sebenarnya.
  - b. Memanfaatkan bahan yang sudah tidak terpakai.
  - c. Memeberikan solusi akan ketergantungan menggunakan bahan bakar fosil yang merupakan bahan bakar yang tidak dapat diperbarui.
  - d. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai media pembelajaran.
2. Untuk pembangunan :
- a. Dapat menghemat dan mengurangi polusi udara dengan menggunakan energi yang ramah lingkungan.
  - b. Mengurangi pemakaian bahan bakar fosil yang semakin langka.
  - c. Mengurangi limbah *ovaporaion boat*.
  - d. Dapat digunakan dalam industri rumahan.

### **1.7 Spesifikasi Produk yang Dikembangkan**

Spesifikasi yang dikembangkan diharapkan sebagai berikut:

1. Instalasi listrik menggunakan rangkaian paralel.
2. Panas yang terbuang berkurang.
3. Memanfaatkan panas yang terbuang dari tungku menjadi sumber energi listrik.
4. Memiliki rancangan yang sederhana.
5. Memiliki pengoperasian yang sederhana.

## **1.8 Asumsi dan Keterbatasan Pengembangan**

Asumsi dan keterbatasan pengembangan dalam penelitian ini adalah:

1. Kapasitas maksimal mencapai 4,25 kg untuk logam alumunium.
2. Daya yang digunakan 7500 watt.
3. Elemen pemanas yang digunakan jenis kawat nikel berukuran diameter 1,2 mm.
4. Suhu maksimum yang di keluarkan elemen pemanas 1200°C.

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Deskripsi Teoritik**

##### **2.1.1 Tungku Peleburan Logam**

Tungku adalah sebuah peralatan yang digunakan untuk mencairkan logam pada proses pengecoran (*casting*) atau untuk memanaskan bahan dalam proses perlakuan panas (*heat Treatment*). Karena gas buang dari bahan bakar berkontak langsung dengan bahan baku, maka jenis bahan bakar yang dipilih menjadi penting. Sebagai contoh, beberapa bahan tidak akan mentolelir sulfur dalam bahan bakar. Bahan bakar padat akan menghasilkan bahan partikulat yang akan mengganggu bahan baku yang ditempatkan didalam tungku (Akuan, 2009).

Idealnya tungku harus memanaskan bahan sebanyak mungkin sampai mencapai suhu yang seragam dengan bahan bakar dan tenaga kerja sesedikit mungkin. Kunci dari operasi tungku yang efisien terletak pada pembakaran bahan bakar yang sempurna dengan udara berlebih yang minimum. Tungku beroperasi dengan efisiensi yang relatif rendah (dibawah 70 %) dibandingkan dengan peralatan pembakaran lainnya seperti boiler (dengan efisiensi lebih dari 90 %) (Akuan, 2009).

##### **2.1.2 Klasifikasi Tungku**

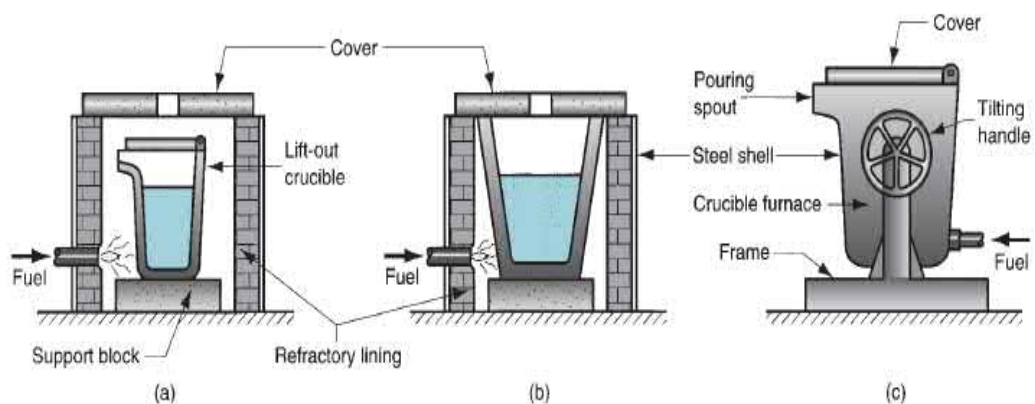
Dalam proses pengecoran logam tahapan peleburan untuk mendapatkan logam cair pasti akan dilakukan dengan menggunakan suatu tungku peleburan di

mana material bahan baku dan jenis tungku yang akan digunakan harus disesuaikan dengan material yang akan dilebur.

Tungku yang paling banyak digunakan dalam pengecoran logam antara lain ada lima jenis yaitu; Tungku jenis kupola, tungku pengapian langsung, tungku krusibel, tungku busur listrik, dan tungku induksi. Dalam memproduksi besi cor tungku yang paling banyak digunakan industri pengecoran adalah krusibel dan tungku induksi, jenis kupola sudah mulai jarang digunakan karena pertimbangan tertentu (Akuan, 2009).

#### a. Dapur Krusibel

Dapur Crucible adalah dapur yang paling tua yang digunakan dalam peleburan logam serta mempunyai konstruksi paling sederhana. Dapur ini sangat fleksibel dan serba guna untuk peleburan yang skala sedang dan besar. Bahan bakar dapur krusibel ini adalah gas atau bahan bakar minyak karena akan mudah mengawasi operasinya. Ada pula dapur yang dapat dimiringkan sehingga pengambilan logam dengan menampung dibawahnya. Dapur ini biasanya dipakai untuk skala sedang dan skala besar (Groover, 2010:247).



Gambar 2.1 Tiga Jenis Dapur Krusibel (Groover, 2010).

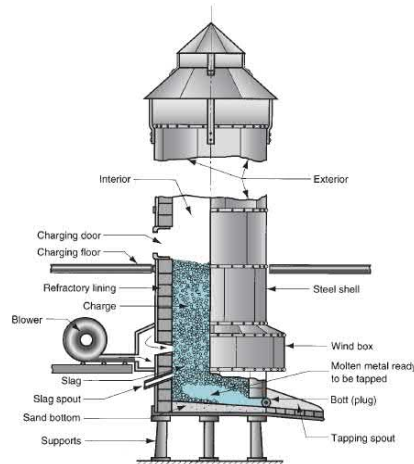


Dalam Gambar 2.1 ditunjukkan tiga jenis dapur krusibel yang biasa digunakan :

- a) Krusibel angkat (*lift-out crucible*),
- b) Pot tetap (*stationary pot*),
- c) Dapur tukik (*tilting-pot furnace*).

## b. Tungku Kupola

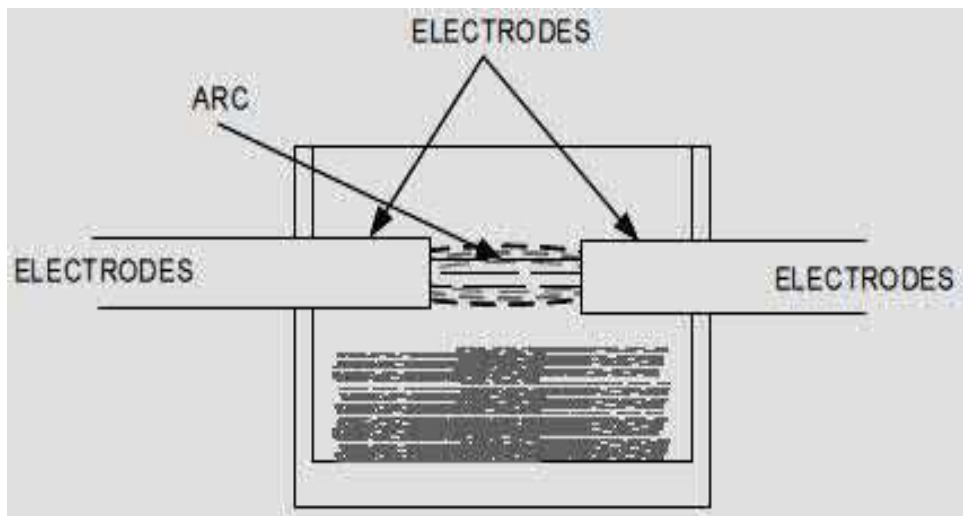
Kupola merupakan tungku yang memiliki bentuk silinder vertikal yang memiliki kapasitas besar. Tungku ini diisi dengan material pengisi antara lain besi, kokas, fluks atau batu kapur, dan elemen paduan yang memungkinkan. Fluks adalah senyawa dasar seperti batu kapur yang bereaksi dengan abu kokas dan kotoran lainnya sehingga membentuk terak. Terak berfungsi untuk menutupi lelehan, melindunginya dari reaksi dengan lingkungan dadalan kubah dan mengurangi terjadinya *heat loss*. Tungku ini memiliki sumber energi panas dari kokas dan gas untuk meningkatkan temperatur pembakaran. Hasil peleburan dan tungku ini akan ditapping secara periodik untuk mengeluarkan besi cor yang telah mencair (Groover, 2010:246).



Gambar 2.2 Tungku Kupola (Groover, 2000)

### c. Tungku Busur Listrik

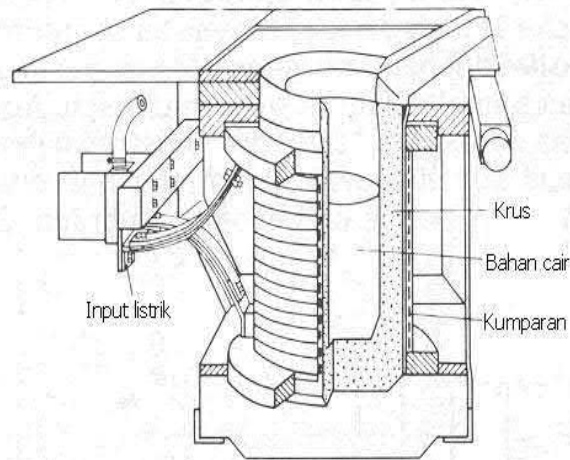
Peleburan logam menggunakan tungku ini dilakukan dengan menggunakan energi yang berasal dari listrik berupa arc atau busur yang dapat mencairkan logam. Tungku jenis busur listrik ini biasanya digunakan untuk proses pengecoran baja (Akuan, 2009).



Gambar 2.3 Tungku Busur Listrik (Akuan, 2009)

### d. Tungku Induksi

Tungku induksi adalah tungku yang menggunakan energi listrik sebagai sumber energi panasnya, arus listrik bolak-balik (*alternating current*) yang melewati koil tembaga akan menghasilkan medan magnetik pada logam pengisi (*charging material*) didalamnya. Medan magnet ini juga akan melakukan mixing pada logam cair akibat adanya gaya magnet antara koil dan logam cair yang akan menimbulkan efek pengadukan (*stirring effect*) untuk menghomogenkan komposisi pada logam cair (Akuan, 2009).



Gambar 2.4 Tungku Induksi (Akuan, 2009)

### 2.1.3 Refractory

Tungku pengecoran logam digunakan sebagai pelebur logam dengan menggunakan suhu yang sangat tinggi maka dalam pengoperasiannya dibutuhkan bahan isolator sebagai pelapis dari material tungku agar suhu tidak keluar. Isolator berfungsi menahan panas dari dalam tungku. Bahan yang digunakan sebagai isolator pada tungku pengecoran logam biasanya menggunakan bahan *refractory*.

*Refractory* pada dinding pelapis tungku induksi pengecoran logam berfungsi melindungi komponen tungku pada saat beroperasi dan mencapai temperature tinggi. Selain itu *refractory* juga berfungsi menahan panas agar suhu tidak keluar dari tungku yang akan menyebabkan kehilangan suhu panas untuk meleburkan logam dan juga menahan suhu panas yang dapat membahayakan operator. *Refractory* memiliki umur yang terbatas akibat penggunaannya dalam menahan temperatur tinggi secara terus menerus. Maka dunia industri pengecoran logam membutuhkan *refractory* dengan kuantitas yang relatif tinggi untuk

kepentingan produksi. Sifat *refractory* yang tidak tahan lama menyebabkan dunia industri pengecoran logam mengeluarkan biaya perawatan intensif yang cukup tinggi.

*Refractory* tidak hanya digunakan pada tungku induksi namun dalam dunia industri lainnya khususnya untuk pelapisan komponen yang beroperasi dengan suhu tinggi. *Refractory* merupakan material kategori metalurgi keramik yang tersusun dari kandungan senyawa logam dan non logam. Selain itu material *refractory* juga merupakan material multi-komponen dimana terdapat mineral penting yakni mineral oksida yang sangat tahan terhadap temperature yang tinggi dan bahan pengikat (*binder*). *Refractory* yang baik tidak memiliki pori-pori sehingga komposisi fasa dan porositas merupakan faktor yang sangat penting dalam pembuatan produk *refractory*. Semakin berkurangnya porositas maka akan meningkatkan kekuatan dan ketahanan *refractory* dari korosi serta akan memiliki sifat mekanis dan fisis yang baik. Berdasarkan bentuknya *refractory* dibagi menjadi tiga macam bentuk yakni:

- a) Bata api refraktori (*Refractory Brick*)
- b) Cor refraktori (*Refractory Castable*)
- c) Mortar refraktori (*Refractory Mortar*)

Berdasarkan jenis komposisi kimianya *refractory* dibagi menjadi tiga macam yakni:

- a) *Refractory* asam, contohnya : Silica ( $\text{SiO}_2$ )
- b) *Refractory* basa, contohnya : Magnesium Oksida ( $\text{MgO}$ )
- c) *Refractory* netral, contohnya : Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

Komposisi mineral penyusun yang digunakan dalam *refractory* biasanya menggunakan silika, tanah liat (*clay*), *magnesite* dan lainnya. Proses peleburan logam pada tungku listrik memerlukan *refractory* yang memiliki sifat fisis dan mekanis yang baik. Maka sifat-sifat dari *refractory* yang akan digunakan sebagai *refractory* pada tungku listrik adalah sebagai berikut:

1. Tidak melebur pada suhu yang relatif tinggi.
2. Sanggup menahan panas lanjutan yang tiba-tiba ketika terjadi pembebanan suhu.
3. Tidak hancur di bawah pengaruh tekanan yang tinggi ketika digunakan pada suhu tinggi.

#### **2.1.4 Lining**

*Lining* merupakan lapisan pada dinding tungku bagian dalam yang berfungsi untuk menahan temperatur pada temperatur tinggi agar material tungku tidak rusak dan ikut meleleh pada saat kondisi operasi. *Lining* termasuk bahan *refractory*, *refractory* yang biasa digunakan pada *lining* menggunakan bahan batu tahan api, semen tahan api, silika. Hal terpenting yang sangat perlu diperhatikan pada *lining* yaitu kualitas *lining*, karena kualitas sangat berperan penting pada *lining*. Selain kualitas hal terpenting yang perlu diperhatikan pada *lining* yaitu keselamatan kerja, serta metalurgi peleburan dan efisiensi. Peranan *lining* pada suatu tungku induksi peleburan aluminium akan memberikan hasil peleburan yang baik, karena beroperasi tungku tersebut karena ada *lining refractory* yang melindungi material agar tidak rusak dan ikut meleleh. Masalah yang akan dialami

tungku pada bagian *lining* misal kebocoran pada *lining* maka tungku tersebut tidak dapat digunakan, sehingga berakibat tidak berjalannya operasi pada suatu industri pengecoran logam. Disamping peranan *lining* yang sangat vital pada beroperasinya peleburan logam, sebuah *lining* tungku induksi mengalami beban-beban yang harus di atasi dan hal ini tidak mudah untuk dikontrol, sehingga diperlukan pengontrolan secara terus menerus. Beban-beban yang harus di atasi oleh *lining* adalah:

- a) Temperatur tinggi selama proses peleburan.
- b) Perubahan temperatur dari tinggi ke rendah yang sangat cepat (temperatur shock) dan berulang-ulang khususnya ketika bahan baku dimuatkan.

Kebanyakan industri pengecoran logam di Indonesia masih menggunakan material *refractory* akan tetapi sedikit sekali yang mengerti tentang komposisi kimia, sifat dan karakteristik dari material *refractory*, oleh karena itu kegagalan material *refractory* ketika digunakan dalam suatu proses sering ditemukan pada industri pengecoran logam dan dapat berarti suatu bencana bagi industri tersebut sehingga pemborosan biaya tidak dapat dihindari. Suatu *lining* akan mengalami suatu degradasi yang dipengaruhi oleh faktor *thermal*, reaksi kimia, fisik dan mekanik. Oleh karena itu diperlukan suatu karakterisasi *lining refractory* untuk mengklasifikasikan sifat-sifatnya.

### **2.1.5 Evaporation Boat**

*Evaporation boat* merupakan salah satu bahan refraktori temperatur tinggi tipe spesial yang masuk dalam kelas keramik khusus. Menurut Surdia dan Saito (1999: 349), refraktori merupakan bahan anorganik bukan logam yang sukar

meleleh pada temperatur tinggi dan digunakan dalam industri temperatur tinggi seperti bahan tungku, dan sebagainya. Penerapannya dapat ditemukan pada alat-alat yang beroperasi pada temperatur tinggi, memerlukan kekerasan dan kekuatan yang tinggi, atau mengalami perubahan temperatur yang cepat. *Evaporation boat* sebenarnya telah dikembangkan sejak lama namun karena keterbatasan pengetahuan dan harga jual yang terlalu tinggi, tidak banyak yang memanfaatkannya meskipun BN memiliki banyak keunggulan.

Beberapa sifat fisis *evaporation boat* menurut 3M adalah sebagai berikut:

Tabel 2.1 Sifat Fisis *Evaporation Boat*

<i>Property</i>	<i>2-component</i>
<i>Phase composition</i>	TiB <sub>2</sub> , BN
<i>Color</i>	<i>Gray</i>
<i>Electrical Properties*</i>	
<i>Resistivity at 1600°C, R<sub>el</sub> (10<sup>-6</sup> Ωcm)</i>	1300-4800
<i>Mechanical Properties at Room Temperature*</i>	
<i>Brinell hardness (HB 2.5/40)</i>	45
<i>Flexural Strength, 4-point bending, σ(Mpa)</i>	70
<i>Young's modulus, E (GPa)</i>	55
<i>Fracture toughness<sup>2</sup> K<sub>1c</sub> (Mpa √m)</i>	1,8
<i>Thermal Properties*</i>	
<i>Coefficient of thermal expansion at 20-1600°C, α(10<sup>-6</sup>/K)</i>	5,5
<i>Specific heat at 20°C, c<sub>p</sub> (J/g.K)</i>	0,68
<i>Thermal conductivity at 20 C, λ(W/m.K)</i>	80

(Sumber: 3M Science)

Maka dari itu penulis memilih bahan tersebut sebagai pelapis *refractory*, harapannya dapat menghasilkan kualitas *lining* yang baik.

### 2.1.6 Semen Tahan Api

Semen tahan api sering digunakan sebagai perekat batu tahan api untuk *refractory*. Jenis-jenis castable ada berbagai macam mulai dari castable-12,

castable-14, castable-16, castable-17, castable-18 dan masih banyak tipe castable lainnya yang menyesuaikan kegunaannya. Tipe semen tahan api yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu castable C-16 yang memiliki titik lebur  $1600^{\circ}\text{C}$ . Spesifikasi produk (product specification) Castable C-16 :

- a) Jenis Produk (*Type Product*) : Castable C16.
- b) Daya Tahan Temperatur (*Max Service Temperature*) :  $1600^{\circ}\text{C}$ .
- c) Berat Jenis (*Bulk Density*) :  $2100 - 2200 \text{ kg/m}^3$ .
- d) Campuran Air (*Application Mix Water*) :  $12 - 16 \%$ .
- e) Daya Konduksi Temperatur (*Thermal Conductivity*) : Pada  $350^{\circ}\text{C}$  adalah  $0,95 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ .
- f) Komposisi Kimia (*Chemical Composition*) :  $\text{Al}_2\text{O}_3 : > 50\%$  ,  $\text{SiO}_2 : < 36\%$ .

### 2.1.7 Elemen Pemanas

Elemen pemanas adalah piranti yang mengubah energi listrik menjadi energi panas melalui proses *Joule Heating*. Prinsip kerja elemen panas adalah arus listrik yang mengalir pada elemen menjumpai resistansinya, sehingga menghasilkan panas pada elemen. Menurut Tukiman, (2007:111) menentukan elemen pemanas harus mengikuti persyaratan sebagai berikut :

1. Harus tahan lama pada suhu yang dikehendaki.
2. Sifat mekanisnya harus kuat pada suhu yang dikehendaki.
3. Koefisien muai harus kecil, sehingga perubahan bentuknya pada suhu yang dikehendaki tidak terlalu besar.
4. Tahanan jenisnya harus tinggi.



5. koefisien suhunya harus kecil, sehingga arus kerjanya sedapat mungkin konstan.

Hal yang perlu dipertimbangkan dalam memilih elemen pemanas adalah area radiasi permukaan elemen/*Maximun Element Surface Temperature* (MET) yang dinyatakan dalam ( $\text{Watt}/\text{cm}^2$ ) dan beban permukaan (*maximun power/surface loading*). MET adalah suhu yang dicapai saat bahan elemen mulai mengalami perubahan bentuk atau saat umur hidup bahan elemen menjadi singkat yang mengakibatkan elemen menjadi putus atau hubung singkat. Semakin tinggi MET, maka akan semakin tinggi pula *maximun power/surface loading*.

Berdasarkan pertimbangan tersebut menunjukkan bahwa elemen pemanas yang sesuai merupakan kawat nikelin, karena suhu maksimum yang lebih tinggi dan umur yang lebih panjang memungkinkan beban permukaan yang lebih tinggi untuk diterapkan pada nikel dan nilai *surface loading* nikel lebih besar daripada kawat kanthal. Menurut Suprastiyo & Tjahjanti (2016), temperatur kawat nichrome mencapai  $1.400\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### **2.1.8 Parameter Geometris Tungku**

Pada desain perencanaannya parameter geometris tidak dapat dipisahkan dari parameter elektrik, karena akan berpengaruh pada efisiensi dan kapasitas tungku itu. Geometris tungku menyesuaikan dari geometris kowinya tersebut. Menurut Bala (2005) parameter-parameter geometris yang dimaksud adalah:

- a. Dimensi tungku, yang akan menentukan kapasitas *furnace*, pada perbandingan antara tinggi tungku dan volume tungku dengan nilai rasio sebagai berikut:

$$\frac{H_m}{D_c} = (1.6 - 2.0) \quad (2.1)$$

- b. Volume tungku memiliki persamaan sebagai berikut:

$$V_m = \frac{\pi D_c^2 H_m}{4} \quad (2.2)$$

- c. *Refractory* atau lapisan pemisah nonkonduktif yang memisahkan antarkoil pembentuk tungku dan material yang dilebur. Ketebalannya ditentukan oleh persamaan sebagai berikut:

$$B = 0.084 \sqrt{V_m} \quad (2.3)$$

- d. Diameter dalam dari induktor dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$D_{in} = D_c + 2(B + B_{ins}) \quad (2.4)$$

### 2.1.9 Parameter Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah ilmu yang berupaya memprediksi perpindahan energi yang mungkin terjadi di antara benda-benda material sebagai akibat dari perbedaan suhu. Ilmu transfer panas berupaya tidak hanya menjelaskan bagaimana energi panas dapat ditransfer, tetapi juga untuk memprediksi tingkat pertukaran yang akan terjadi dalam kondisi tertentu. Fakta bahwa laju perpindahan panas adalah tujuan yang diinginkan dari suatu analisis menunjukkan perbedaan antara perpindahan panas dan termodinamika (Holman, 2010). Berdasarkan pernyataan tersebut peneliti dapat memprediksi perpindahan panas yang terjadi dalam tungku.

#### a. *Steady State Conduction Satu Dimensi*

Untuk sebuah silinder dengan panjang sangat besar dibandingkan dengan diameter, dapat diasumsikan bahwa panas mengalir hanya dalam arah radial, sehingga satu-satunya ruang koordinat yang diperlukan untuk menentukan sistem

adalah  $r$ . Hukum Fourier digunakan dengan menyisipkan relasi area yang tepat. Area untuk aliran panas dalam sistem silinder adalah sebagai berikut (Holman, 2010):

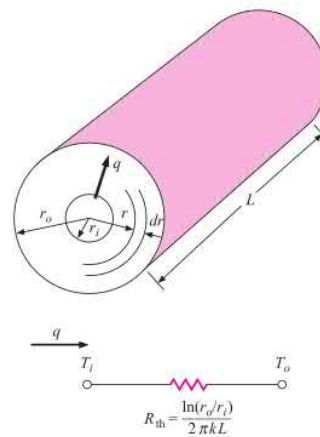
$$A_r = 2\pi rL \quad (2.5)$$

Sehingga hukum Fourier ditulis

$$q_r = -kA_r \frac{dT}{dr} \quad (2.6)$$

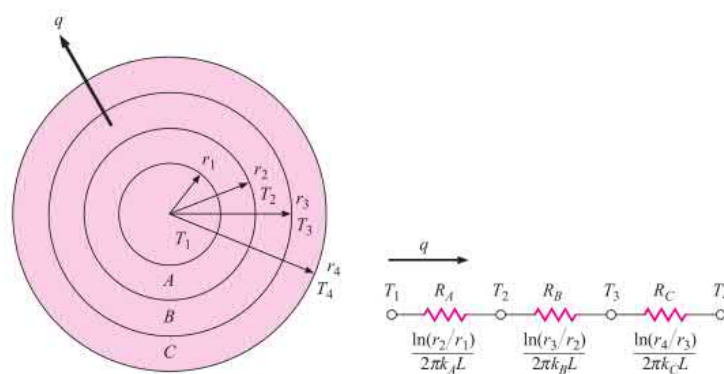
atau

$$q_r = -2\pi krL \frac{dT}{dr}$$



Gambar 2.5 Aliran Panas Satu Dimensi Melalui Silinder Berlubang Dan Analog

Listrik (Holman, 2010)



Gambar 2.6 Aliran Panas Satu Dimensi Melalui Beberapa Bagian Silinder Dan Analog Listrik (Holman, 2010)

dengan syarat batas

$$T = T_i \text{ dengan } r = r_i$$

$$T = T_o \text{ dengan } r = r_o$$

Solusi untuk Persamaan (2.6) adalah

$$q = \frac{2\pi kL (T_i - T_o)}{\ln (r_o/r_i)} \quad (2.7)$$

dan hambatan termal dalam hal ini adalah

$$R_{th} = \frac{\ln (r_o/r_i)}{2\pi kL} \quad (2.8)$$

Konsep ketahanan termal dapat digunakan untuk dinding silinder berlapis-lapis seperti yang digunakan untuk dinding bidang. Untuk sistem tiga lapis yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 solusinya adalah

$$\frac{q}{L} = \frac{2\pi (T_1 - T_4)}{\ln (r_2/r_1)/k_A + \ln (r_3/r_2)/k_B + \ln (r_4/r_3)/k_C} \quad (2.9)$$

#### b. Kalor Untuk Melebur Aluminium ( $Q_1$ )

Menurut Ramsell (1998), secara teoritis jumlah kalor yang diperlukan untuk melelehkan 1 kg aluminium dan menaikkan suhunya hingga 730 °C adalah sekitar 1.120 kJ. Jumlah kalor untuk melebur aluminium dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q_1 = Q_A + Q_B + Q_C \quad (2.10)$$

$$= m_{al} \times C_p \times \Delta T_l + m_{al} \times h + m_{al} \times C_p \times \Delta T_2$$

### c. Efisiensi Panas

Arti efisiensi menurut Antoni K. Muda (2003), efisiensi adalah biaya-biaya input untuk satu unit output yang dihasilkan. Menurut Taswa dan Ahmadi (2007), efisiensi dengan lambang  $\eta$  adalah suatu ukuran yang digunakan pada proses transfer energi. Efisiensi adalah perbandingan antara energi yang berguna dengan energi yang masuk ke dalam sistem atau mesin. Dengan kata lain efisiensi adalah sama dengan daya keluaran yang berguna dibagi dengan daya yang masuk.

Efisiensi panas secara umum menjelaskan kemampuan sebuah burner untuk membakar keseluruhan bahan bakar yang masuk kedalam ruang bakar (*furnace*). Untuk menghitung efisiensi panas menggunakan rumus sebagai berikut (Igholado, 2011) :

$$\eta = \frac{\text{Energi yang dibutuhkan}}{\text{Energi yang dikeluarkan}} \times 100\% \quad 2.9$$

## 2.2 Kajian Penelitian yang Relevan

Ighodalo, dkk (2011), melakukan penelitian berjudul “*Performance Evaluation of The Local Charcoal-fired Furnace For Recycling Aluminium*”. Penelitian itu bertujuan untuk mengetahui efisiensi dari tungku yang berbahan bakar batubara dengan suhu maksimal 698 °C. Pada penelitian tersebut membutuhkan waktu 32 menit untuk meleburkan 15 kg aluminium dan energi yang ditimbulkan dari 3,3 kg batubara sebesar 100,7 MJ. Efisiensi dari tungku tersebut sebesar 11.5%.

Aramide, dkk (2013), melakukan penelitian berjudul “*Production of Refractory Lining for Diesel Fired Rotary Furnace, from Locally Sourced Kaoling and Potter’s Clay*”. Penelitian ini menggunakan campuran chamotte dan kaolin lokal sebagai lapisan tahan api dalam tungku putar berbahan bakar diesel. Hasil dari penelitian tersebut diketahui sampel dengan campuran 80% *chamotte* dan 20% kaolin mentah dianggap sebagai campuran bahan yang optimal.

Abioye, dkk. (2015), melakukan penelitian yang berjudul “*The Thermal Analysis of Fuel Fired Crucible Furnace Using Autodesk Inventor Simulation Software*”. Tujuan penelitian ini adalah untuk memprediksi efek dari tekanan termal dan ketegangan pada tungku krusibel menggunakan *software Autodesk Inventor Simulation*. Suhu maksimum yang dihasilkan adalah 1529,7 K di daerah dalam tungku dan suhu minimum 274,8 K berada di sisi luar tungku. Perpindahan panas yang terjadi selama proses peleburan akan mengakibatkan pengurangan umur pada krusibel, kerusakan pada krusibel akan mulai dari dasar krusibel karena kendala tegangan termal yang akan mengarah pada tekanan maksimum di tepi alas.

Olalere, dkk. (2015), melakukan penelitian berjudul “*Development of A Crucible Furnace Fired With Spent Engine Oil Using Locally Sourced Materials*”. Penelitian ini mampu melelehkan 30 kg paduan Al-Si selama 20 menit dengan menghabiskan 7 liter oli mesin bekas. Efisiensi termal pada tungku tersebut mencapai 46,74%.

Adefemi, dkk. (2017), melakukan penelitian berjudul “*Development of A 30 kg Aluminium Oil-Fired Crucible Furnace Using Locally Sourced Materials*”. Penelitian ini berfokus pada desain tungku pelebur aluminium dengan kapasitas 30

kg menggunakan bahan bakar oli. Tungku ini dapat melelehkan 30 kg aluminium selama 18 menit dengan menghabiskan 4 liter oli.

Ginting (2009), melakukan penelitian berjudul “Rancangan Dapur Pelebur Untuk Melebur Aluminium dan Paduannya Dengan Kapasitas 30 kg Untuk Keperluan Lab. Foundry” pada penelitian tersebut menggunakan bahan bakar minyak tanah dengan  $T_{maks}$  700 °C. Proses pencairan logam secara bertahap dengan waktu pencairan selama 2,51 jam. Selama proses peleburan banyaknya kalor yang terbuang 6882,21 kJ. Tujuan penelitian yang dilakukan oleh Bramanta adalah untuk memantapkan mahasiswa dalam penguasaan teori mengenai pemilihan bahan dapur, bahan penyekat panas serta efisiensi pemakaian bahan.

Supriyatna, dkk. (2013), melakukan penelitian berjudul “Uji performa Tungku Busur Listrik Satu Fase Skala Laboratorium Dalam Proses Pembuatan Ferromangan”. Penelitian ini mengkaji uji performa pada tungku busur listrik satu fase dengan kapasitas 10 kg ferromangan. Hasil uji performa terhadap tungku busur listrik diperoleh bahwa performa terbaik dalam pembuatan ferromangan apabila beroperasi dengan suhu 17000 °C, arus 350 A, waktu beroperasi selama 120 menit dan komposisi bahan 6.000 gr bijih mangan dan 560 gr bijih besi.

Adi, dkk. (2014), melakukan penelitian berjudul “Rancang Bangun Tungku Pencairan Logam Berkapasitas 2 kg Dengan Mekanisme Tahanan Listrik”. Tungku tahanan listrik ini mampu menghasilkan suhu maksimal 800°C. Proses pencairan 2 kg logam aluminium dengan pengaturan suhu 750 °C memerlukan waktu 58 menit dengan daya listrik yang digunakan 3385,3 W.

Supriyatna, dkk. (2014), melakukan penelitian berjudul “Rancang Bangun Tungku Busur Listrik Satu Fase Untuk Peleburan Konsentrat Mangan dan Besi Menjadi Feromangan Berkapasitas 10 kg”. Tungku ini dirancang dengan mempertimbangkan sistem geometri, elektrik dan sistem aktuator hidroliknya. Rancangan tungku berbentuk cawan silindris dengan diameter bagian dalam 15 cm dan tinggi selubung bagian dalamnya 22 cm. Suplai daya yang diperlukan sebesar 35 kVA dan dalam proses peleburan memerlukan energi sebesar 32,016 kJ. Uji coba tungku tersebut menghasilkan komposisi produk logam paduan feromangan berkadar  $\geq 70\%$  dan Fe = 14 – 16%.

Hasan, (2015), melakukan penelitian yang berjudul “Perancangan dan Pembuatan Tungku Peleburan Logam dengan Pemanfaatan Oli Bekas sebagai Bahan Bakar”. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menumbuhkan industri lokal berbasis rumahan dalam mendaur ulang logam bekas dengan titik lebur rendah melalui teknologi peleburan logam. Peleburan 1 kg aluminium memerlukan bahan bakar oli bekas sebanyak 0,5 liter dengan waktu 54 menit 32 detik.

Rahmat (2015), melakukan penelitian berjudul “Perancangan dan Pembuatan Tungku *Heat Treatment*”. Tungku ini mampu mencapai suhu maksimal 1000 °C dengan waktu 28 menit 45 detik. Energi yang digunakan selama pencapaian suhu 1000 °C adalah 8013,2 watt.

Mukhammad, dkk. (2016), melakukan penelitian berjudul “Pengujian Awal Kinerja Tungku Pengecoran Logam *Aluminium Matrix Composite* dengan Bahan Bakar Gas LPG”. Tungku ini mampu melebur 5 kg aluminium dengan suhu 800



°C dalam waktu 3000 detik atau 50 menit dengan efektifitas 1,12 kg LPG/kg aluminium.

Rizal, dkk. (2016) melakukan penelitian berjudul “Pembuatan Tungku Pemanas (*Muffle Furnace*) Kapasitas 1200 °C”. Penelitian ini menggunakan energi listrik sebagai sumber panas untuk meleburkan baja ST 37. Untuk mencapai suhu 700 °C memerlukan waktu selama 56 menit dengan kondisi tungku *steady*.

Suprastiyo, dkk. (2016), melakukan penelitian berjudul “Pembuatan *Electric Furnace* Berbasis Mikrokontroler”. Tujuan dari penelitian ini adalah membuat tungku listrik dengan fungsi utama proses pemansan lebih akurasi terjaga waktu dan dapat diatur secara otomatis melalui LCD. Tungku ini mampu mencapai suhu maksimal 1000 °C dengan waktu 5 jam 15 menit.

Istana, dkk. (2017), melakukan penelitian berjudul “Optimasi Tungku Peleburan Logam Aluminium Kapasitas 10 kg Berbahan Bakar Oli Bekas Skala Laboratorium”. Tungku ini mampu melebur 1,5 kg aluminium dengan waktu 34 menit dan menghabiskan bahan bakar oli sebanyak 1,3 liter. Suhu maksimal yang dikeluarkan tungku ini 887 °C.

### **2.3 Kerangka Pikir**

Limbah *evaporation boat* merupakan limbah berbahan kimia yang berasal dari industri logam. Dalam industri logam *evaporation boat* digunakan sebagai wadah penahan dari pemanas tahanan listrik untuk mencairkan dan menguapkan logam. Limbah tersebut biasanya ditimbun di dalam tanah sehingga akan merusak mineral yang ada dalam tanah.

Pemanfaatan limbah *evaporation boat* sebagai pelapis dinding tungku merupakan solusi yang dapat diterapkan agar limbah tersebut bisa berguna. Berdasarkan permasalahan tersebut serta melakukan studi pustaka dari berbagai sumber maka dilakukan perancangan tungku peleburan logam. Pembuatan desain rancangan menggunakan *software Autodesk Inventor 2015*. Untuk pembuatan *lining, Evaporation boat* dihaluskan terlebih dahulu menggunakan mesin roll plat sampai halus, kemudian dicampur menggunakan semen tahan api.

Perancangan yang dilakukan akan menghasilkan produk tungku peleburan yang akan di evaluasi berkaitan dengan kelayakannya.

#### **2.4 Hipotesis Penelitian**

Hipotesis merupakan jawaban sementara terhadap rumusan masalah penelitian, dimana rumusan masalah penelitian telah dinyatakan dalam bentuk kalimat pertanyaan. Dikatakan sementara, karena jawaban yang diberikan baru didasarkan pada teori yang relevan, belum didasarkan pada fakta – fakta empiris yang diperoleh melalui pengumpulan data (Sugiyono, 2015 : 64). Berdasarkan teori tersebut, maka diajukan hipotesis sebagai berikut :

1. Hipotesis Alternatif

Ada perbedaan suhu luar antara menggunakan pelapis *evaporation boat* dengan tidak menggunakan pelapis pada dinding tungku.

2. Hipotesis Nol

Tidak ada perbedaan suhu luar antara menggunakan pelapis *evaporation boat* dengan tidak menggunakan pelapis pada dinding tungku.

## BAB V

### SIMPULAN, IMPLIKASI DAN SARAN

#### 5.1 Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tentang rancang bangun tungku listrik peleburan aluminium dengan memanfaatkan limbah *evaporation boat* sebagai pelapis dinding tungku dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Rancangan tungku listrik peleburan aluminium dengan spesifikasi; (a) dimensi tungku dengan diameter dalam 200 mm, diameter luar 476 mm dan tinggi 518 mm; (b) kapasitas maksimal 4 kg aluminium; (c) daya output tungku 607 watt; (d) temperatur maksimal 1200 °C; (e) kawat pemanas yang digunakan nikelin ukuran 1,2 mm; (f) *thermocontrol* yang digunakan TC4S-14R; (g) *thermocouple* yang digunakan tipe K; (h) semen tahan api yang digunakan *castable C-16*.
2. Adanya penurunan suhu luar setelah menggunakan pelapis *evaporation boat* pada dinding tungku sebesar 4°C.
3. Biaya pembuatan tungku listrik peleburan aluminium hasil rancangan sebesar Rp. 6.300.000
4. Tungku listrik peleburan aluminium dengan *lining evaporation boat* hasil rancangan memiliki efisiensi sebesar 34,9%.

## 5.2 Implikasi

Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat dikemukakan implikasi secara praktis sebagai berikut:

1. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai alat peleburan aluminium bagi dosen maupun mahasiswa praktik pengecoran.
2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi peneliti yang akan meneliti dalam rancang bangun tungku listrik.

## 5.3 Saran

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, ada beberapa saran untuk dilakukan penelitian lanjutan berikutnya, diantaranya:

1. Perlu adanya pengembangan terhadap elemen pemanas sehingga dapat digunakan untuk melebur material yang titik leburnya lebih besar dari aluminium.
2. Perlu adanya tambahan tebal pada pelapis sehingga panas yang keluar jadi lebih sedikit.
3. Biaya pembuatan tungku akan lebih murah untuk diproduksi massal.
4. Menggunakan *evaporation boat* untuk pembuatan *lining* dapat mengurangi *heatlosses* sehingga efisiensi tungku meningkat.
5. Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai densitas, dan porositas pada *lining*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abioye, A. A., P. O. Atanda, O. F. Kolawole, dan O. E. Olorunniwo. 2015. The Thermal Analysis of Fuel Fired Crucible Furnace Using Autodesk Inventor Simulation Software. *Advances In Research*. 5(3): 1–7.
- Adefemi, A., D. Ilesanmi, B. Simeon, O. Favour, dan A. Adeyemi. 2017. Development of A 30 kg Aluminium Oil-Fired Crucible Furnace Using Locally Sourced Materials. *American Journal of Mechanics and Applications*. 5(3):15-21.
- Adi, I. M., W. P. Raharjo, dan E. Surojo. 2014. Rancang Bangun Tungku Pencairan Logam Aluminium Berkapasitas 2 kg dengan Mekanisme Tahanan Listrik. *MEKANIKA*. 13(1): 21-32.
- Akuan, A. 2009. *Teknik Pengecoran Logam*. Bandung: Universitas Jendral Achmad Yani
- Alandra J., dan Y. Umardani. 2012. Pengujian Sifat Temperatur Pelunakan Material Refraktori Silika (SiO<sub>2</sub>) Pada Lining Tungku Induksi Peleburan Besi Cor. *Skripsi*. Universitas Diponegoro:Semarang
- Aramnide, F. O., dan S. O. Seidu. 2013. Production of Refractory Lining for Diesel Fired Rotary Furnace, from Locally Sourced Kaoling and Potter's Clay. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*. 1: 75-79.
- Bala, K.C. 2005. Design Analysis of an Electric Induction Furnace for Melting Aluminum Scrap. *AU J.T.* 9(2): 83–88.
- Bernard, S., dan P. Miele. 2014. Polymer Derived Boron Nitride: A Review on the Chemistry, Shaping and Ceramic Conversion of Borazine Derivatives. *Materials*. 7: 7437-7448.
- Branch, Robert M. 2009. *Instructional Design: The ADDIE Approach*. New York: Springer Science.
- Epstein, J. S. 2009. Coating System For A Ceramic Evaporator Boat. *Jurnal Internasional Patent Application Publication*. 1(19): 1-5
- Ginting, B. 2009. Rancangan Dapur Pelebur untuk Melebur Aluminium dan Paduannya dengan Kapasitas 30 kg Metal Cair. *Skripsi*. Universitas Sumatera Utara: Medan.
- Groover, M. P. 2010. *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes and system*. Hoboken, USA: Associated Professor of Industrial and Systems Engineering.
- Hasan, A. 2015. Perancangan dan Pembuatan Tungku Peleburan Logam dengan Pemanfaatan Oli Bekas sebagai Bahan Bakar. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*. Universitas Syiah Kuala. Darussalam Banda Aceh.
- Holman, J. P. 2010. *Heat Transfer*. New York: McGraw-Hill.
- Ighodalo, O. A., G. Akue, E. Enaboifo dan J. Oyedoh. 2011. Performance Evaluation of The Local Charcoal-fired Furnace For Recycling Aluminium. *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences*. 2(3): 448-450.

- Kadir. 2015. *STATISTIKA TERAPAN*. Jakarta: Rajawali Pers.
- Kanthal, A. B. 2003. *KANTHAL HANDBOOK: Heating Alloys For Electric Household Appliances*. Sweden: ReklamCenter.
- Mukhammad, A. F. H., D. Ariwibowo, Y. T. Syarifudin, M. A. Robbaanii, Z. Arifin, dan Yuliyanti. 2016. Pengujian Awal Kinerja Tungku Pengecoran Logam Aluminium *Matrix Composite* Dengan Bahan Bakar Gas LPG. *ROTASI*. 18(4):110-116
- Nukman, M. A., dan I. Yani. 2015. Peleburan Skrap Aluminium pada Tungku Krusibel berbahan Bakar Batubara Hasil Proses Aglomerasi Air-Minyak Sawit. *Jurnal Mechanical*. 6(1): 6-14.
- Olalere A. A., O. A. Dahunsi, M. A. Akintunde, dan M. O. Tanimola. 2015. Development of A Crucible Furnace Fired With Spent Engine Oil Using Locally Sourced Materials. *International Journal of Innovation and Applied Studies*. 13(2): 281-288.
- Pambudi, R. 2018. Pengaruh Variasi Diameter dan Panjang Elemen Pemanas Kanthal A-1 Terhadap Waktu Tercapai Temperatur 1.000°C pada Tungku dengan Mekanisme Tahanan Listrik. *Skripsi*. Universitas Negeri Semarang: Semarang.
- Rizal, A., Y. Samantha, dan A. Rachmat. 2016. Pembuatan Tungku Pemanas (*Muffle Furnace*) Kapasitas 1200 °C. *Jurnal J-Ensitem* 2(2):13-16
- Schlesinger, M. E. 2013. *ALUMINUM RECYCLING*. Boca Raton: CRC Press.
- Sugiyono. 2015. *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Suprastiyo, H., dan P. H. Tjahjanti. 2016. Pembuatan Electric Furnace Berbasis Mikrokontroler. *Rekayasa Energi Manufaktur*, 1(2).
- Supriyatna, Y. I., R. Ristiana, R. Nurjaman, dan A. Shofi. 2014. Rancang Bangun Tungku Busur Listrik Satu Fase untuk Peleburan Konsentrat Mangan dan Besi Menjadi Ferromangan. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*. 10(3): 165–173.
- Surdia, T. M. S., dan S. Saito. 1999. *PENGETAHUAN BAHAN TEKNIK*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Tukiman. 2007. TEKNIK PELACAKAN KERUSAKAN DAN PERBAIKAN TUNGKU PEMANAS KLORINASI. *PRIMA*, 4(7): 111-115.
- Widyoko, E. P. 2016. *Teknik Penyusunan Instrumen Penelitian*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Winarno, J. 2015. Rancang Bangun Dapur Pelebur Aluminium Berbahan Bakar Padat yang Lebih Hemat Energi dan Lebih Ramah Lingkungan. *Jurnal Penelitian*, 11, 41–48.