

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Sistem operasi busur listrik dilakukan pada *low voltage* dan *low power factor* dengan arus sekunder yang besar. Agar memperoleh manfaat penggunaan teknologi dapur busur elektrik yang maksimal, perusahaan dapat memodifikasi dinding dapur dan atap dengan memasang system panel pendinginan air. Dengan demikian memungkinkan dapur busur listrik beroperasi dengan *power factor* yang lebih tinggi untuk mendapatkan busur listrik yang lebih besar (*long arc*).

Kenyataannya dalam praktik untuk memperbesar *power factor* dapat dilakukan dengan dua cara: (1) memperkecil *setting* arus sekunder untuk tegangan tap tertentu dan (2) menaikkan tegangan tap untuk arus sekunder tertentu. Kedua cara tersebut di atas dapat ditempuh sebuah pabrik untuk mencapai sasaran optimasi energi listrik dan juga elektroda. Contoh penerapan metode pertama adalah pada awal berdirinya pabrik *billet* baja, operasi EAF dilakukan pada arus sekunder yang relatif tinggi 43 KA, selanjutnya setelah dinding dapur dan atap dilindungi dengan pipa air pendingin, arus sekunder di *set* pada 41 KA. Akhirnya ini *setting* arus sekunder dilakukan pada 38 KA sehingga menghasilkan *power factor* yang lebih besar (Satrio.1998).

EAF memiliki banyak keuntungan yang diperlukan dalam penelitian metalurgi. Fitur tersebut meliputi keluaran suhu dan kontrol panas, analisis akurat dari lelehan, pemurnian logam, efisiensi termal yang tinggi (mencapai 70%), dan produksi baja langsung dari *pig iron* dan *steel scrap* (Oyawale, 2007).

Tungku busur listrik satu fasa hasil rancang bangun dengan dimensi diameter dalam dapur 150 mm, tinggi 200 mm (kapasitas 5-10 kg *ferromangan/batch*) dapat digunakan untuk proses *smelting* mineral tambang khususnya biji mangan menjadi *ferromangan* (Yayat 2013).

Surdia (2000) pengecoran logam merupakan proses yang melibatkan pencairan logam, membuat cetakan, menuang, membongkar dan membersihkan coran. Dalam mencairkan logam dapat digunakan berbagai macam tanur seperti

kupola, tanur busur listrik dan tanur kurs. Kupola atau tanur induksi frekuensi rendah dipergunakan untuk besi cor, tanur busur listrik atau tanur induksi busur tinggi dipergunakan untuk baja cor sedangkan tanur kurs untuk paduan tembaga atau paduan coran ringan. Pemakaian tanur-tanur ini dikarenakan dapat menghasilkan logam yang baik dan sangat ekonomis untuk pengecoran logam tersebut.

Dalam membuat sebuah tungku peleburan menggunakan trafo harus diperhatikan komponen-komponen utamanya antara lain: jumlah lilitan karena ini akan berpengaruh terhadap kinerja keseluruhan, efisiensi dan faktor daya. Selain itu pengamanan dalam sebuah pembuatan alat, perlu adanya pengamanan, salah satu pengamanan yang dipasang pada sebuah alat yang berkaitan dengan listrik adalah sikring pemutus. Sikring ini berfungsi untuk pemutus arus jika terjadi arus yang melebihi kapasitas maksimal yang diijinkan. Setelah itu komponen-komponen pengamanan lainnya adalah adanya sebuah pendingin salah satunya *fan* pendingin yang terpasang pada setiap alat yang memiliki tegangan cukup tinggi.

2.2 Dasar Teori

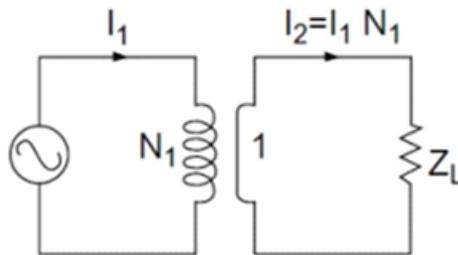
2.2.1 Busur listrik

Busur listrik adalah peralatan yang digunakan untuk proses pembuatan logam atau peleburan logam, dimana besi bekas atau logam lain yang dipanaskan dan dicairkan dengan busur listrik yang berasal dari elektroda ke besi bekas di dalam sebuah tungku pelebur. Busur listrik ini dikembangkan oleh Dr. Paul Heroult (USE). Busur listrik Heroult yang pertama dibuat untuk memproduksi baja, dibangun oleh *Halcomb steel company di Syracuse New York* tahun 1906.

Martinez dkk (2000) melakukan penelitian terhadap paduan aluminium yang dilebur dalam tanur elektrik pada suhu 856°-875°C. Kemudian logam cair dituang ke dalam rongga cetakan dalam kondisi telah mengalami *drop temperature* hingga temperatur menjadi 700°-800°C. Untuk mengurangi timbulnya *thermal shock*, pada cetakan permanen (*permanent mould*).

Pemanasan pada prinsipnya dapat dijelaskan dengan prinsip kerja transformator. Transformator bekerja karena adanya fenomena elektromagnetik

yang mana ketika ada suatu rangkaian tertutup yang di dalamnya mengalir arus AC menghasilkan medan elektromagnetik yang berubah-ubah. Seperti yang terjadi transformator, medan elektromagnetik (pada kumparan primer) yang berubah-ubah tersebut mempengaruhi kumparan sekunder dan pada kumparan sekunder timbul gerak gaya listrik (GGL) induksi dan mengalir arus AC jika kumparan sekunder merupakan rangkaian tertutup. Besarnya arus pada kumparan sekunder (I_2) ditentukan dari besarnya arus pada kumparan primer (I_1) dan perbandingan lilitan antara kumparan primer dan skunder (N_1/N_2). Seperti pada Gambar 2.1, ketika kumparan sekunder kita ganti dengan 1 kawat ($N_2=1$) dan dijadikan rangkaian tertutup, maka kita akan mendapatkan nilai perbandingan lilitan yang besar dari kumparan primer dan sekunder dan akan menimbulkan arus sekunder (I_2) yang besar. Hal ini juga akan diikuti oleh kenaikan panas yang cukup besar karena adanya kenaikan beban tersebut (Zhulkarnaen, 2013:1).

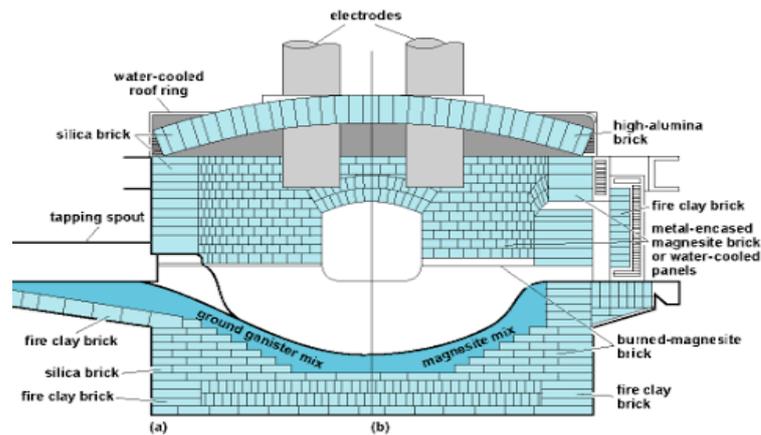


Gambar 2.1.Cara kerja tranformator dengan kumparan sekunder diganti satu kawat. (Zhulkarnaen, 2013:1).

2.2.2 Prinsip kerja arus yang ada pada dapur busur listrik

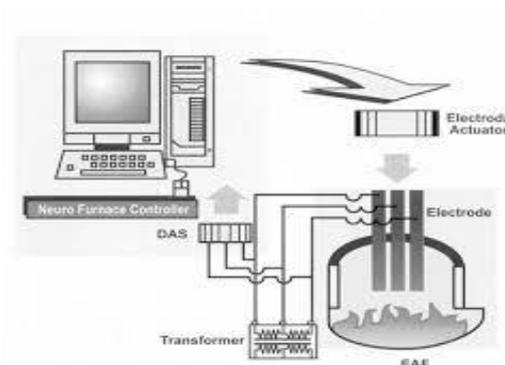
Busur listrik digunakan untuk proses peleburan. Ada dua macam arus yang digunakan dalam proses peleburan dengan busur listrik, yaitu arus searah (*direct current*) dan arus bolak balik (*alternating current*). Daya yang biasa digunakan dalam proses peleburan adalah arus bolak balik dengan 3 fase menggunakan elektroda *graphite*. Pada busur listrik, arus bolak balik akan melewati suatu elektroda turun ke bahan logam melalui suatu busur listrik, kemudian arus tersebut dari logam mengalir keatas melalui busur listrik menuju electroda lainnya. Dalam listrik arus searah, arus listrik melewati satu elektroda turun ke bahan yang akan di

lebur melalui busur listrik, yang kemudian mengalir menuju elektroda pasangannya yang berada dibawah dapur. Dapur listrik mempunyai keterbatasan salah satunya adalah dalam satu dapur listrik tidak dapat melayani secara kontinyu dan berurutan satu mesin cetak kontinyu.



Gambar 2.2 Skema penampang dapur busur listrik arus bolak balik (Diakses dari <http://www.rafdisatu.com>)

Prinsip timbulnya panas pada busur api adalah timbul akibat adanya tahanan saat arus listrik mengalir. Dalam hal ini, logam yang dimuat dalam tanur yang akan memberikan tahanan terhadap arus listrik. Panas dihasilkan oleh loncatan electron (busur api) dengan aliran listrik dengan adanya aliran listrik ini maka, akan menimbulkan aliran dalam cairan yang akan menyebabkan terjadinya gerak cairan, sehingga homogenisasi cairan dapat terjadi.



Gambar 2.3 skema pengendali sebuah busur listrik di industri(www.mmindustri.co.id).

2.2.3 Komponen yang digunakan pada dapur busur listrik

Busur listrik yang beredar dipasaran saat ini adalah dapur busur listrik skala industri, berikut beberapa contoh dapur busur listrik yang ada saat ini:

1. *Transformer*

Trafo merupakan suatu alat listrik yang berfungsi untuk menaikkan atau menurunkan tegangan bolak balik melalui suatu gandengan dan berdasarkan prinsip-prinsip induksi elektromagnetik. Dalam suatu pembangkit khususnya pada peleburan logam perlu adanya *transformator* tersebut guna untuk mengatur energi yang diperlukan untuk suatu peleburan tersebut.



Gambar 2.4 *Transformer* (Diakses dari <http://www.testtransformer.com>)

2. *Controlled reactor*

Controlled reactor merupakan rangkaian *switching* daya tinggi yang digunakan untuk pengontrol statik dan dipakai pada *flexible AC transmission*. Komponen ini terdiri dari reactor yang dipasang seri dengan dua buah *thyristor* yang dipasang paralel. Dua buah *thyristor* yang dipasang paralel berlawanan dinyatakan secara simetris atau bergantian. Mereka mengatur waktu dimana reaktornya harus konduksi dan mengatur komponen fundamental dari arus (jalali 1995).

Siagian (2009), *controlled reactor* mempunyai kemampuan untuk memastikan pengontrolan tegangan dan daya secara cepat dan kontinyu. Pengontrolan terhadap daya dan tegangan akan meningkatkan peforma sistem sekaligus juga sebagai pengontrol tegangan lebih transien pada frekuensi daya mencegah tegangan jatuh, meningkatkan stabilitas transien dan menurunkan osilasi

system. Pada sebuah reaktor disebuah industri digunakan untuk menyetimbangkan sistem 3 fasa.



Gambar 2.5 Reaktor tipe siemens (Diakses dari <http://www.energy.siemens.com>)

3. Tungku dapur busur listrik

Beberapa tungku peleburan aluminium yang telah dikembangkan di antaranya tungku berbahan bakar gas yang dilaporkan oleh Sundari (2011). Tungku atau dapur yang dirancang adalah dapur *crucible* berbahan bakar gas LPG berbentuk silinder dengan diameter 220 mm dan tinggi 300 mm dengan kapasitas 30 kg. Dari hasil uji coba yang dilakukan diketahui bahwa untuk melebur *aluminium scrap* seberat 30 kg diperlukan waktu 1 jam 37 menit dan bahan bakar yang digunakan adalah 3,60 kg.

Magga (2010) mengembangkan analisis perancangan tungku peleburan logam non-ferro jenis *portable* berbahan bakar arang sebagai sarana pembelajaran. Tungku peleburan yang direncanakan berbentuk kotak dengan diameter dalam berbentuk selinder dan cawan pelebur berbentuk selinder, dimensi tungku adalah 50 cm x 50 cm, diameter dalam selinder 30 cm. Dari hasil analisis yang telah dilakukan diketahui bahwa besarnya kalor yang digunakan untuk melebur 5 kg aluminium diperlukan kalor sebesar 3,030,600 J. Volume dari cawan pelebur yang diperlukan adalah 1,5 liter.

Ashgi (2009) juga telah melakukan rancang bangun tungku peleburan aluminium berbahan bakar minyak dengan sistem aliran udara paksa. Dapur peleburan yang dirancang dibuat dari tatanan bata tahan api yang dilekatkan dengan campuran semen dan pasir tahan api. Dapur lebur mempunyai tinggi 62 cm, diameter luar 57 cm dan, diameter dalam 31 cm. Dari hasil pengujiannya

diketahui peleburan 4 kg alumunium menggunakan bahan bakar solar diperlukan 5,8 liter dengan waktu peleburan 50-55 menit, sedangkan dengan menggunakan oli bekas diperlukan 6 liter, dan memerlukan waktu peleburan 60-65 menit.



Gambar 2.6 tungku dapur busur listrik yang sedang beroperasi(Diakses dari <http://viansteel.com>)

2.2.4 Karakteristik dapur busur listrik

Karakteristik busur listrik adalah sebagai berikut:

1. Secara teknis:
 - a. Mampu melepaskan panas dalam waktu yang relatif singkat. Hal ini dikarenakan kerapatan energinya tinggi.
 - b. Dengan pemanas dapur elektrik dimungkinkan untuk mencapai suhu yang sangat tinggi.
 - c. Pemanasan dapat dilakukan pada lokasi tertentu.
 - d. Sistem dapat dibuat bekerja secara manual dan otomatis.
2. Pemakaian energi:
 - a. Pemanas listrik secara umum memiliki efisiensi energi yang tinggi, akan tetapi hal ini bergantung pada karakteristik material yang dipanaskan.

2.2.5 Keuntungan dapur busur listrik

1. Penggunaan panas dapat dikendalikan dengan mudah.
2. Asap yang dihasilkan relatif rendah.
3. Mudah di pindah ke tempat lain.
4. Busur api yang terbentuk merupakan sumber panas tanpa resiko terkena kontaminasi udara dari luar.

5. Efisiensi panas sangat baik sekitar 70%

Kekurangan dapur busur listrik

1. Biaya yang tinggi akibat kebutuhan listrik adalah kekurangan dari sebuah peleburan menggunakan dapur busur elektrik.

2.2.6 Elemen dapur busur listrik

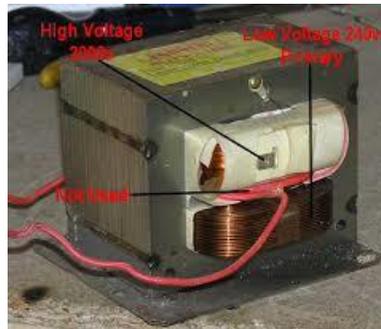
Busur elektrik pada umumnya terdiri dari beberapa elemen penting yang terdapat pada mesin pemanas yaitu:

1. Transformator (trafo)

Transformator (trafo) digunakan pada peralatan listrik terutama yang memerlukan perubahan atau penyesuaian besarnya tegangan bolak-balik. Misal radio memerlukan tegangan 12 volt padahal listrik dari PLN 220 volt, maka diperlukan trafo untuk mengubah tegangan listrik bolak-balik 220 volt menjadi tegangan listrik bolak-balik 12 volt. Contoh alat listrik yang memerlukan transformator adalah: TV, *power supply*, mesin fotokopi, gardu listrik dan sebagainya.

Transformator adalah alat yang digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan AC. Trafo memiliki dua terminal, yaitu terminal *input* dan terminal *output*. Terminal input terdapat pada kumparan primer. Terminal *output* terdapat pada kumparan sekunder. Tegangan listrik yang akan diubah dihubungkan dengan terminal *input*. Adapun, hasil pengubahan tegangan diperoleh pada terminal *output*. Prinsip kerja transformator menerapkan peristiwa elektromagnetik. Jika pada kumparan primer dialiri arus AC, inti besi yang dililiti kumparan akan menjadi magnet (elektromagnet). Karena arus AC, pada elektromagnet selalu terjadi perubahan garis gaya magnet. Perubahan garis gaya tersebut akan bergeser ke kumparan sekunder. Dengan demikian, pada kumparan sekunder juga terjadi perubahan garis gaya magnet. Hal itulah yang menimbulkan GGL pada kumparan sekunder. Adapun arus yang dihasilkan adalah arus AC yang besarnya sesuai dengan jumlah lilitan sekunder. Bagian utama transformator ada tiga, yaitu inti besi yang berlapis-lapis, kumparan primer, dan kumparan sekunder. Kumparan primer yang dihubungkan dengan PLN sebagai tegangan

masukkan (*input*) yang akan dinaikkan atau diturunkan. Kumparan sekunder dihubungkan dengan beban sebagai tegangan keluaran (*output*).



Gambar 2.8 Tranformator (Diakses dari transformatorstepdown.com)

2. Induktor

Induktor adalah komponen yang tersusun dari lilitan kawat. Induktor termasuk juga komponen yang dapat menyimpan muatan listrik berupa medan magnetik atau lebih tepatnya fluks magnetik. Induktansi adalah kemampuan suatu induktor (misalnya *solenoida* atau *toroida*) dalam menyimpan fluks magnetik. Induktansi (L) (diukur dalam henry) adalah efek dari medan magnet yang terbentuk disekitar induktor pembawa arus yang bersifat menahan perubahan arus. Arus listrik yang melewati konduktor membuat medan magnet sebanding dengan besar arus. Perubahan dalam arus menyebabkan perubahan medan magnet yang mengakibatkan gaya elektromotif lawan melalui induktansi yang bersifat menantang perubahan arus. Induktansi diukur berdasarkan jumlah gaya elektromotif yang ditimbulkan untuk setiap perubahan arus terhadap waktu. Sebagai contoh, sebuah induktor dengan induktansi 1 Henry menimbulkan gaya elektromotif sebesar 1 volt saat arus dalam induktor berubah dengan kecepatan 1 ampere setiap sekon. Jumlah lilitan, ukuran lilitan, dan material inti menentukan induktansi. Besarnya arus pada induktor dipengaruhi oleh besarnya diameter kawat email yang digunakan dalam sebuah induktor seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.1,

Tabel 2.1 ukuran kawat email dan kemampuan arus

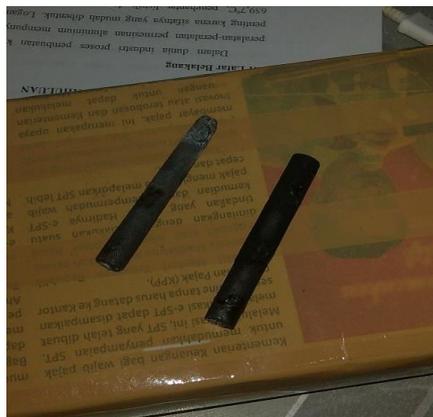
DIAMETER EMAIL (mm)	KEMAMPUAN ARUS (A)
0.1	0.016 - 0.024
0.15	0.035 - 0.053
0.2	0.063 - 0.094
0.25	0.098 - 0.147
0.3	0.141 - 0.212
0.35	0.190 - 0.298
0.4	0.251 - 0.377
0.45	0.318 - 0.477
0.5	0.390 - 0.588
0.6	0.566 - 0.849
0.7	0.770 - 1.160
0.8	1.010 - 1.510
0.9	1.270 - 1.910
1	1.570 - 2.360
1.5	3.530 - 5.300
2	6.280 - 9.420
2.5	9.820 - 14.73
3	14.14 - 21.20
3.5	19.24 - 28.86
4	25.14 - 37.71

(Diakses dari <http://multiteknik.com/>)

3. Elektroda

Elektroda dibuat dari bahan carbon atau grafit dimana elektroda dari bahan grafit lebih menguntungkan sebab lebih tahan terhadap temperatur tinggi.

Di sebuah pabrik industri biasanya menggunakan 3 elektroda yang dipasang secara vertikal dalam formasi segitiga. elektroda dikelilingi pendingin dan penutup untuk mendinginkan dan mengurangi gas yang digunakan dapat dinaikkan atau diturunkan secara otomatis.



Gambar 2.10 Carbon batrai

2.2.7 Daya

Secara umum pengertian daya adalah energi yang dikeluarkan untuk melakukan usaha. Dalam sistem tenaga listrik, daya merupakan jumlah energi listrik yang digunakan untuk melakukan usaha. Daya listrik biasanya dinyatakan dalam Watt atau *Horsepower* (HP). *Horsepower* merupakan satuan daya listrik dimana 1 HP sama dengan 746 watt. Sedangkan watt merupakan satuan daya listrik dimana 1 watt memiliki daya setara dengan daya yang dihasilkan oleh perkalian arus 1 ampere dan tegangan 1 volt (Mad Sangadat 2015). Untuk menghitung daya digunakan persamaan (2.1).

$$P = V \times I \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana P adalah daya listrik dengan satuan Watt, V adalah tegangan dengan satuan *Volt* dan I adalah Arus dengan satuan Ampere.

2.2.8 Menghitung besarnya energi dapur busur elektrik.

Energi yang dibutuhkan oleh pemanas busur elektrik dari suhu T_1 sampai T_2 dihitung dengan rumus (2.2).

$$Q = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1) \text{ (joule) } \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan

Q : Panas (*Joule*)

m : Massa Material (kg)

c : Kalor Jenis Material ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)

T_1 : Suhu awal ($^{\circ}C$)

T_2 : Suhu akhir ($^{\circ}C$)

2.2.9 Menghitung daya yang dihasilkan selama waktu pengujian menaikkan temperature specimen dalam t (detik).

$$P_m = 4.17 \times m \times c \times T_2/t \dots\dots\dots(2.3)$$

- Keterangan
- t : waktu (detik)
 - m : Massa material (kg)
 - c : Kalor jenis material (J.kg⁻¹.k⁻¹)
 - T₂ : Temperatur specimen/suhu akhir (°C)

2.2.10 Menghitung laju perubahan suhu rata-rata terhadap waktu.

$$\Delta_i = T_2-T_1/t \text{ (}^\circ\text{C/detik)} \dots\dots\dots(2.4)$$

- Keterangan
- Δ_i = laju perubahan suhu terhadap waktu (°C/detik)
 - T₂ = Suhu akhir (°C)
 - T₁ = Suhu awal (°C)
 - t = Waktu (detik)