

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Pengertian Baja**

(Davis, 1982) Baja adalah logam paduan dengan besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0.2% hingga 2.1% berat sesuai *grade*-nya. Fungsi karbon dalam baja adalah sebagai unsur penguat. Unsur paduan lain yang biasa ditambahkan selain karbon adalah mangan, krom, vanadium, dan nikel. Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya, berbagai jenis kualitas baja bisa didapatkan. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan tariknya, namun di sisi lain membuatnya menjadi getas serta menurunkan keuletannya.

Pengaruh utama dari kandungan karbon dalam baja adalah pada kekuatan, kekerasan, dan sifat mudah dibentuk. Kandungan karbon yang besar dalam baja mengakibatkan meningkatnya kekerasan tetapi baja tersebut akan rapuh dan tidak mudah dibentuk.

#### **2.2 Jenis-jenis Baja**

Baja merupakan besi dengan kadar karbon kurang dari 2 %. Baja dapat dibentuk menjadi berbagai macam bentuk sesuai dengan keperluan. Secara garis besar ada 2 jenis baja, yaitu :

##### **2.2.1 Baja Karbon**

Baja karbon disebut juga plain karbon *steel*, mengandung terutama unsur karbon dan sedikit silikon, belerang dan fosfor. Berdasarkan kandungannya, baja karbon dibagi menjadi :

- 1) Baja dengan kadar karbon rendah ( $< 0,2\% \text{ C}$ )

Baja ini dengan komposisi karbon kurang dari 2%. Fasa dan struktur mikronya adalah ferrit dan perlit. Baja ini tidak bisa dikeraskan dengan cara perlakuan panas (*martensit*) hanya bias dengan pengerjaan dingin.

Sifat mekaniknya lunak, lemah dan memiliki keuletan dan ketangguhan yang baik. Serta mampu mesin (*machinability*) dan mampu las nya (*weldability*) baik cocok untuk bahan bangunan konstruksi gedung, jembatan, rantai, body mobil.

2) Baja dengan kadar karbon sedang ( 0,1%-0,5 % C)

Baja karbon sedang memiliki komposisi karbon antara 0,2%-0,5% C (berat). Dapat dikeraskan dengan perlakuan panas dengan cara memanaskan hingga fasa austenit dan setelah ditahan beberapa saat didinginkan dengan cepat ke dalam air atau sering disebut *quenching* untuk memperoleh fasa ang keras yaitu martensit. Baja ini terdiri dari baja karbon sedang biasa (*plain*) dan baja mampu keras. Kandungan karbon yang relatif tinggi itu dapat meningkatkan kekerasannya. Namun tidak cocok untuk di las, dengan kata lain mampu las nya rendah. Dengan penambahan unsur lain seperti Cr, Ni, dan Mo lebih meningkatkan mampu kerasnya. Baja ini lebih kuat dari baja karbon rendah dan cocok untuk komponen mesin, roda kereta api, roda gigi (*gear*), poros engkol (*crankshaft*) serta komponen struktur yang memerlukan kekuatan tinggi, ketahanan aus, dan tangguh.

3) Baja dengan kadar karbon tinggi ( >0,5 % C)

Baja karbon tinggi memiliki komposisi antara 0,6- 1,4% C (berat). Kekerasan dan kekuatannya sangat tinggi, namun keuletannya kurang. baja ini cocok untuk baja perkakas, *dies* (cetakan), pegas, kawat kekuatan tinggi dan alat potong yang dapat dikeraskan dan ditemper dengan baik. Baja ini terdiri dari baja karbon tinggi biasa dan baja perkakas. Khusus untuk baja perkakas biasanya mengandung Cr, V, W, dan Mo. Dalam pemuaduanya unsur-unsur tersebut bersenyawa dengan karbon menjadi senyawa yang sangat keras sehingga ketahanan aus sangat baik.

Kadar karbon yang terdapat di dalam baja akan mempengaruhi kuat tarik, kekerasan dan keuletan baja. Semakin tinggi kadar karbonnya, maka kuat tarik dan kekerasan baja semakin meningkat tetapi keuletannya cenderung turun. Penggunaan baja di bidang teknik sipil pada umumnya berupa baja konstruksi atau baja profil, baja tulangan untuk beton dengan kadar karbon

0,10% - 0,50%. Selain itu baja karbon juga digunakan untuk baja/kawat pra tekan dengan kadar karbon s/d 0,90 %. Pada bidang teknik sipil sifat yang paling penting adalah kuat tarik dari baja itu sendiri.

### **2.2.2 Baja Paduan**

Baja dikatakan di padu jika komposisi unsur-unsur paduannya secara khusus, bukan baja karbon biasa yang terdiri dari unsur fosfor dan mangan. Baja paduan semakin banyak di gunakan. Unsur yang paling banyak di gunakan untuk baja paduan, yaitu : Cr, Mn, Si, Ni, W, Mo, Ti, Al, Cu, Nb, Zr.

#### 1) Baja Paduan Rendah (*Low Alloy Steel*)

Baja paduan rendah merupakan baja paduan yang elemen paduannya kurang dari 2,5% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain- lain. Biasanya digunakan untuk membuat perkakas potong, gergaji, cetakan penarikan, pahat kayu, mata pisau, pemotong kikir, gurdi batu.

#### 2) Baja Paduan Menengah (*Medium Alloy Steel*)

Baja paduan menengah merupakan baja paduan yang elemen paduannya 2,5% - 10% wt, misalnya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain. Biasanya digunakan untuk membuat alat pengukur, cetakan penarikan, rol derat, mata gunting untuk plat tebal.

#### 3) Baja Paduan Tinggi (*High Alloy Steel*)

Baja paduan tinggi merupakan baja paduan yang elemen paduannya lebih dari 10% wt, misalannya unsur Cr, Mn, Ni, S, Si, P dan lain-lain (Amanto, 1999). Banyak digunakan untuk cetakan penarikan kawat cetakan pengetrim, pengukur, rol derat.

### **2.2.3 Pengaruh Unsur Paduan Baja**

#### 1) Unsur karbon (C)

Karbon merupakan unsur terpenting yang dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja. Kandungan karbon di dalam baja sekitar 0,1%-1,7%, sedangkan unsur lainnya dibatasi sesuai dengan kegunaan baja. Unsur paduan yang bercampur di dalam lapisan baja adalah untuk membuat baja bereaksi

terhadap pengerjaan panas dan menghasilkan sifat-sifat yang khusus. Karbon dalam baja dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan tetapi jika berlebihan akan menurunkan ketangguhan.

2) Unsur Mangan (Mn)

Semua baja mengandung mangan karena sangat dibutuhkan dalam proses pembuatan baja. Kandungan mangan kurang lebih 0,6% tidak mempengaruhi sifat baja, dengan kata lain mangan tidak memberikan pengaruh besar pada struktur baja dalam jumlah yang rendah. Penambahan unsur mangan dalam baja dapat menaikkan kuat tarik tanpa mengurangi atau sedikit mengurangi regangan, sehingga baja dengan penambahan mangan memiliki sifat kuat dan ulet.

3) Unsur Silikon (Si)

Silikon merupakan unsur paduan yang ada pada setiap baja dengan kandungan lebih dari 0,4% yang mempunyai pengaruh untuk menaikkan tegangan tarik dan menurunkan laju pendinginan kritis. Silikon dalam baja dapat meningkatkan kekuatan, kekerasan, kekenyalan, ketahanan aus, dan ketahanan terhadap panas dan karat. Unsur silikon menyebabkan sementit tidak stabil, sehingga memisahkan dan membentuk grafit. Unsur silikon juga merupakan pembentuk ferit, tetapi bukan pembentuk karbida, silikon juga cenderung membentuk partikel oksida sehingga memperbanyak pengintian kristal dan mengurangi pertumbuhan akibatnya struktur butir semakin halus.

4) Unsur Nikel (Ni)

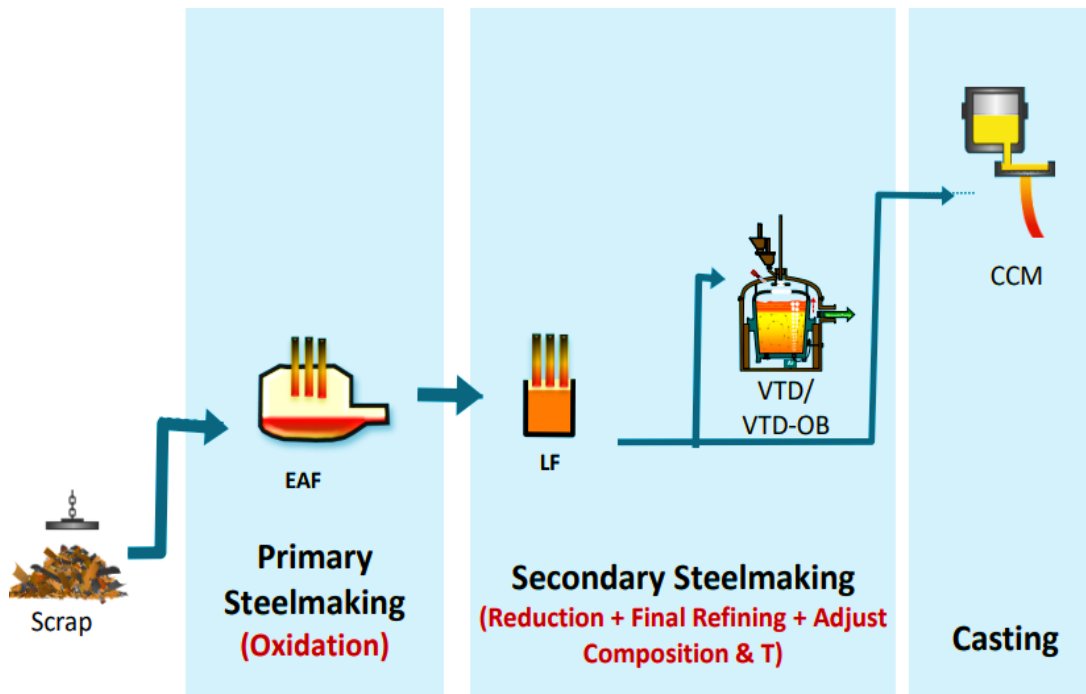
Nikel mempunyai pengaruh yang sama seperti mangan, yaitu memperbaiki kekuatan tarik dan menaikkan sifat ulet, tahan panas, jika pada baja paduan terdapat unsur nikel sekitar 25% maka baja dapat tahan terhadap korosi. Unsur nikel yang bertindak sebagai tahan karat (korosi) disebabkan nikel bertindak sebagai lapisan penghalang yang melindungi permukaan baja.

5) Unsur Kromium (Cr)

Sifat unsur kromium dapat menurunkan laju pendinginan kritis (kromium sejumlah 1,5% cukup meningkatkan kekerasan dalam minyak). Penambahan kromium pada baja menghasilkan struktur yang lebih halus dan

membuat sifat baja dikeraskan lebih baik karena kromium dan karbon dapat membentuk karbida. Kromium dapat menambah kekuatan tarik dan keplastisan serta berguna juga dalam membentuk lapisan pasif untuk melindungi baja dari korosi serta tahan terhadap suhu tinggi

### 2.3 Proses Peleburan Baja



Gambar 2.1 Alur pembuatan billet baja  
Sumber: Zulhan,2017

Alur pembuatan billet baja di PT. X dimulai dari *raw material*. Pemilihan material jenis *scrap* yang dimasukkan ke dalam *bucket* disesuaikan dengan jenis baja yang dibuat. Selain *scrap*, yang dimasukkan ke dalam *bucket* ada juga submaterial seperti CaO (*gamping*), CaF<sub>2</sub>, dan Carbon raiser untuk mempermudah peleburan dan mencairkan pembuangan kotoran berupa *slag*. Setelah *bucket* terisi material *scrap* dan submaterial, kemudian dibawa ke dapur peleburan EAF. Setelah di EAF kemudian selanjutnya di LF-VD dan CCM untuk pencetakannya.

### 2.3.1 Row Material (*scrap*)

*Scrap* merupakan baja tua atau baja bekas dari sisa produksi yang tidak terpakai dari bahan logam yang dapat digunakan kembali dengan cara dilebur dalam dapur peleburan EAF menjadi *billet Scrap* yang digunakan di PT. X ada berbagai jenis baik impor maupun lokal yaitu :

#### 1. Shredded

Shredded merupakan jenis *scrap* import yang bekas produksi seperti terdiri dari berbagai bahan logam, seperti kaleng-kaleng dan plat-plat tipis yang telah dihancurkan menjadi potongan – potongan kecil. Untuk scrap jenis ini mudah terkontaminasi dengan tanah dan berkarat.



Gambar 2.2 *Scrap shredded*  
Sumber : Setiawan, 2019

#### 2. Premium Lokal

Premium lokal merupakan jenis *scrap* yang berasal dari dalam negeri di kumpul dari berbagai daerah di Indonesia. Biasanya berasal dari baja bekas dan peralatan sisa rumah tangga dan baja bahan bangunan. Sebelum di leburkan scrap ini di potong untuk menyesuaikan ukurannya.



Gambar 2.3 *Scrap* Premium Lokal  
Sumber : Setiawan, 2019

### 3. Busheling

Busheling merupakan jenis scrap import yang berasal dari potongan – potongan sisa produksi baru yang sudah tidak terpakai. Sebagian besar scrap ini lembaran dari pabrik yang baru di potong atau sisa produksi.



Gambar 2.4 *Scrap* Busheling  
Sumber : Setiawan, 2019

### 4. Heavy Melting Steel (HMS)/ Plate and Strip (PNS)

HMS (PNS) merupakan *scrap* yang diimport dari luar negeri berasal dari lempengan – lempengan bekas, baja plat dan baja strip bekas yang berukuran tebal, seperti bekas plat jembatan.



Gambar 2.5 *Scrap HMS/PNS*  
Sumber : Setiawan, 2019

### 5. *Scrap return*

*Scrap return* adalah *scrap* yang berasal dari lingkungan produksi yaitu *billet*, round bar, flat bar yang tidak sesuai spesifikasi dan lempengan skull CCM yang ukuran besar sisa cairan di dalam ladle dan tandis, kemudian di potong kemudian di jadikan scrap untuk di leburkan kembali.



( Flat bar)



( Round bar)



(Lempengan skull)



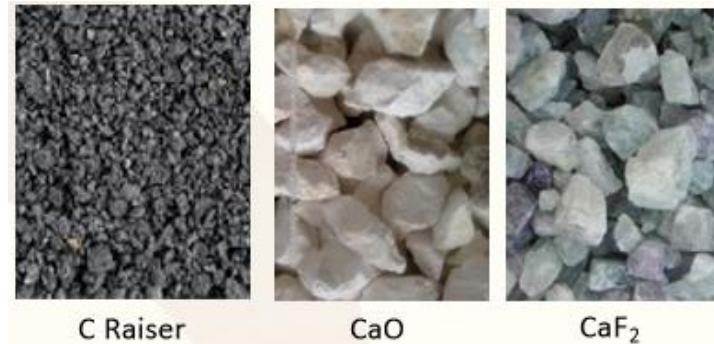
(billet)

Gambar 2.6 *Scrap return*  
Sumber : Setiawan, 2019



## 6. *Sub-material*

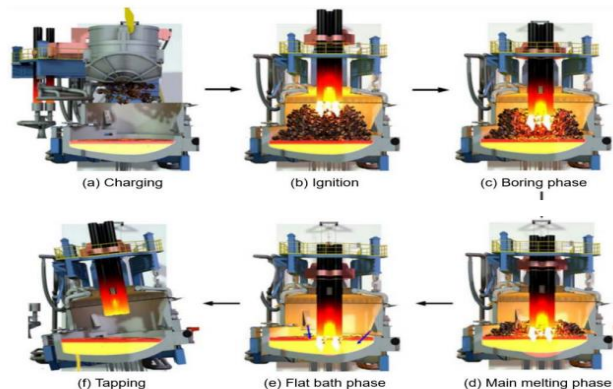
*Sub-material* yang digunakan adalah CaO, CaF<sub>2</sub> dan Carbon raiser. Fungsi dari sub-material ini adalah CaO dan CaF<sub>2</sub> untuk mengikat kotoran dalam cairan baja menjadi *slag*. *Carbon raiser* digunakan untuk mempercepat panas dan meningkatkan nilai karbon.



Gambar 2.7 Sub-material  
Sumber: Setiyawan, 2019

### 2.3.2 *Electric Arc Furnace (EAF)*

*Electric Arc Furnace (EAF)* merupakan dapur peleburan dengan memanfaatkan energi listrik tiga fase dengan elektroda sebagai *arc* penghantar listriknya. Di EAF material akan dimasak atau dilebur dengan menggunakan *electric arc* dari elektroda sampai menjadi cairan. Setelah semua menjadi cairan maka kotoran yang terikat dengan submaterial CaO, CaF<sub>2</sub>, dan *Carbon raiser* akan naik berupa cairan menjadi *slag* ke permukaan.



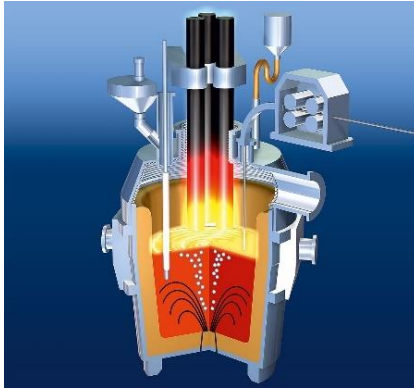
Gambar 2.8 *Electric Arc Furnace*  
Sumber: Zulhan, 2017

Beberapa proses yang terjadi pada *Electric Arc Furnace* (EAF) adalah sebagai berikut :

1. Pengisian Scrap : pemasukan bahan baku (*scrap*) ke dalam dapur EAF untuk dilebur hingga menjadi baja cair. Charging awal bertujuan untuk melebur *scrap* dan bahan *sub-material* dengan jumlah 60% dari muatan total *scrap* pada *bucket* pertama dan 40% pada *bucket* kedua.
2. *Charging* : suatu proses peleburan di dalam *Electric Arc Furnace* sehingga bahan baku berupa *scrap* menjadi logam cair dengan menggunakan tiga buah elektroda dengan arus masing-masing 22kA dan dijaga agar tidak terlalu besar perbedaannya, yang dimasukkan ke dalam dapur refraktori menghasilkan suhu 1680°C dan dilebur selama  $\pm 90$  menit. Total konsumsi energi listrik satu kali charge adalah sekitar 11000kwh.
3. *Refining* : bertujuan untuk mengikat/menghilangkan unsur-unsur pengotor yang tidak diinginkan dan mencapai kadar karbon sesuai target. Proses pemurnian lelehan baja ini yaitu mengurangi kadar P, S, dll. Pengurangan kadar-kadar unsur tersebut dengan cara menambahkan oksigen ke dalam cairan (*Lancing O<sub>2</sub>*). FeO yang banyak dalam slag dapat diambil kembali dengan menginjeksikan carbon.
4. *Tapping* : suatu proses penuangan baja cair dari EAF ke dalam ladle. Saat cairan mencapai suhu 1680°C maka cairan baja siap dituang ke ladle kemudian dibawa ke *Ladle Furnace* (LF). Sebelum *ladle* sampai di LF, *slag* yang masih tersisa di atas cairan dibuang terlebih dahulu dengan proses *slag off*.

### 2.3.3 *Ladle Furnace* (LF)

*Ladle furnace* adalah tempat *liquid steel* (baja cair) mengalami proses pemurnian dan mengatur komposisi unsur paduan (*alloy*). Di LF terjadi proses pemanasan cairan kembali sampai suhu 1720°C. Penambahan *alloy* sesuai jenis baja yang akan dibuat. Di LF juga terjadi proses *bubbling* untuk mengaduk cairan dan mengangkat kotoran dalam cairan ke permukaan. Setelah selesai proses di LF dilanjutkan ke VD.



Gambar 2.9 *Ladle Furnace*  
Sumber: Zulhami, 2017

Proses Ladle Furnace dibagi menjadi lima yaitu :

1. Proses *Homogenization*

Proses ini dilakukan dengan menginjeksikan gas Argon atau Nitrogen untuk mengaduk cairan dari bawah ladle (*bubbling*) sehingga menjadi homogen.

2. *De-Oxidation*

Proses ini dilakukan untuk mengurangi gas Oksigen dengan menambahkan Al sesuai dengan target. Sesuai dengan reaksi  $2Al + 3[O] \rightarrow Al_2O_3$ . Proses tersebut akan membuat baja bernama *Al-Killed Steel*.

3. *De-Sulfurisasi*

Merupakan proses pengurangan unsur sulfur (S) dengan menggunakan *top slag* yaitu menambahkan CaO dan CaF<sub>2</sub>.

4. Proses Pemaduan (*Alloying*)

Penambahan unsur paduan (*alloy*) disesuaikan dengan jenis baja yang akan dibuat sesuai dengan rumus berikut :

$$\text{Jumlah alloy}(kg) = \frac{(\text{Target} - \text{Actual}) \% \times \text{Berat lelehan baja (kg)}}{\text{Komposisi unsur dalam alloy} (\%)}$$

5. *Heating*

Proses pemanasan dilakukan untuk menjaga temperatur drop misalnya karena penambahan paduan (*alloy*) atau untuk mengatur temperatur sebelum casting

dimulai. Proses ini dapat dilakukan dengan menggunakan energi listrik yang disalurkan elektroda.

#### 2.3.4 *Vacum Degassing (VD)*

*Vacum Degassing* merupakan proses yang bertujuan untuk menghilangkan gas-gas dalam cairan baja terutama gas Hidrogen, Nitrogen, dan Oksigen. Di *Vacum Degassing* terjadi juga proses *bubbling* atau pengadukan cairan hingga menjadi *homogenizing*.



Gambar 2.10 *Vacum Degassing*  
Sumber: Zulhan,2017

Proses *Vacum Degassing* dibagi menjadi tujuh yaitu :

##### 1. *Ladle Seat*

*Ladle* setelah diproses di LF kemudian dibawa ke VD untuk dilakukan proses *degassing*. Saat *ladle* sampai ke VD, *Bubbling* dinyalakan untuk menjaga agar komposisi cairan baja tetap homogen. Apabila perlu, dilakukan pengambilan sample untuk menentukan komposisi baja, kemudian penutup *degassing* dipasang.

##### 2. *Vacum Start*

Tekanan pada *pump side* diturunkan terlebih dahulu, lalu tekanan pada *tank side* diturunkan secara perlahan agar tekanan dalam *tank* dan dalam *pump* tidak jauh berbeda. *Main valve* dibuka untuk mempercepat proses *vacuum*. Tekanan dalam

tank dijaga dibawah 2torr atau 2mmHg selama minimal 2 menit karena pada tekanan tersebut, proses *degassing* berjalan efektif.

3. *Deoxidation*

Apabila kadar oksigen dalam lelehan masih tinggi, dapat ditambahkan aluminium igot untuk mengurangi kadar oksigen.

4. *Alloying*

Beberapa *steel grade* tertentu ditambahkan *alloy* berupa Ti dan B yang ditambahkan pada saat proses di VD karena membutuhkan kondisi yang miskin oksigen agar tidak *teroksidasi* (unsur Ti dan B reaktif terhadap oksigen).

5. *Degassing*

Proses *degassing* dalam VD bertujuan untuk menghilangkan kandungan gas hidrogen dalam lelehan baja. Gas-gas seperti hidrogen harus dihilangkan karena dapat menyebabkan kecacatan dalam baja (*pinhole*).

6. *Flooting*

Setelah semua *treatment* telah selesai dilakukan, tekanan dalam tank dinaikan kembali hingga sesuai dengan tekanan atmosfer. Setelah tekanan *tank* kembali normal, penutup bisa dibuka kemudian dilakukan pengecekan temperatur dan pengambilan sample.

7. *Wire Injection*

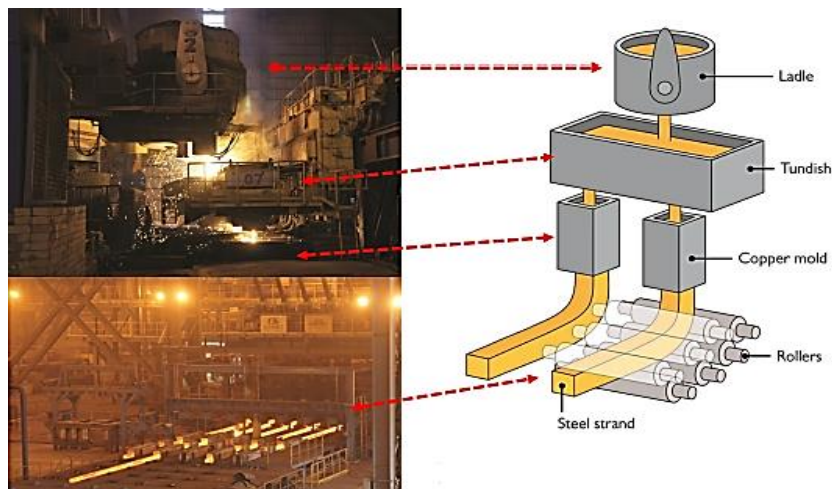
*Al wire* ditambahkan untuk proses deoksidasi terakhir. Sedangkan *Ca-Si Wire* ditambahkan untuk mengurangi kandungan *non metallic inclusion* (NMI) yang dapat menimbulkan kecacatan dalam baja (*crack*). Setelah itu di permukaan *ladle* ditambahkan sekam yang berfungsi untuk melindungi permukaan baja dari paparan atmosfer serta mengurangi *heat loss*. Kemudian ladle siap dibawa ke *Continous Casting Machine* (CCM).

Rumus penambahan *wire* di VD adalah sebagai berikut :

$$Wire(m) = \frac{Target (\%) \times Berat lelehan baja (kg)}{Berat wire per meter \left(\frac{kg}{m}\right) \text{komposisi unsur dalam alloy} (\%)}$$

### 2.3.5 *Continous Casting Machine (CCM)*

*Continous Casting Machine (CCM)* merupakan satu - satunya proses yang berjalan kontinyu pada proses *steel making* ini, sehingga perlu diperlakukan khusus agar prosesnya berjalan dengan efektif. Di CCM, cairan dari *ladle* dituang ke *tundish* melalui *long nozel*. Dari *tundish* dialirkan melalui *sumerged entry nozel* ke *modal* atau cetakan. Setelah tercetak menjadi *billet* didinginkan dengan *sprei water* dan dirol oleh *apron* menuju pemotongan. Setelah *billet* terpotong kemudian dibawa ke *marking billet* dan *cooling bed*.



Gambar 2.11 *Continous Casting Machine*  
Sumber: Zulhan,2017

Proses yang ada di CCM :

1. *Liquid steel* di *ladle* dikirim ke turret dengan menggunakan *crane*. Setelah *ladle* berada di turret maka *ladle* ditutup dengan *ladle cover* untuk mempertahankan temperatur.
2. Tahap selanjutnya *slide gate* dibuka dan *liquid steel* dapat mengalir dari *ladle* ke *tundish*.
3. Setelah di tampung di *tundish* kemudian didistribusikan ke masing – masing *mould* melalui *nozzle*. Setelah itu dilakukan proses *casting*.

4. *Liquid steel* sudah di cetak oleh *mould* akan turun menuju *strand guide*. Pada saat melewati *withdrawal straightening* atau biasa disebut *strand guide* baja akan di berikan *spray cooling* untuk membuat baja mengeras.
5. Selanjutnya *billet* panas akan dipotong sesuai dengan ukuran menggunakan *billet cutting sear* dan akan dikirim ke ujung akhir dari *roller table*.
6. Setelah itu *billet* bisa dipindahkan ke area *cooling bed*. Proses pendinginan dilakukan selama  $\pm 30$  menit. *Billet* yang sudah dingin selanjutnya akan dicek kualitasnya, ada tidaknya *defect* pada *billet*.

### 2.3.6 *Billet Inspection (BI)*

Di BI terjadi proses pengecekan (*defect*) cacat-cacat yang terjadi pada *billet*. Mulai dari pengecekan dimensi, pembersihan kerak dengan mesin *shot blast*, *electromagnetic test* untuk mengecek cacat (*defect*) permukaan billet, *ultrasonic test* untuk mengetahui cacat dalam billet, dan penggerindaan. Kemudian pemberian label dan siap dikirimkan ke plant II untuk diproses menjadi flat bar dan round bar.



*Shot blast machine*



*Electromagnetic test*



*Ultrasonic test*



*Surface grinding*



Gambar 2.12 *Billet Inspection*  
Sumber: Setiyawan,2019

## **2.4 Scrap**

*scrap* baja adalah bekas dari suatu konstruksi atau peralatan yang sudah tidak berfungsi lagi atau sisa-sisa potongan material atau produk yang tidak jadi karena cacat dan dimanfaatkan lagi dalam proses peleburan. *Scrap* banyak dipakai oleh pabrik-pabrik yang menggunakan EAF untuk dileburkan kembali yang mana kualitas unsur tembaga (Cu) dan timah (Sn) yang ada tidak dapat dihilangkan. *Scrap* baja mempunyai kandungan metalitas kurang lebih 94 %.

### **2.4.1 Jenis-jenis Scrap**

#### **1. Home Scrap**

*Home Scrap* dihasilkan secara internal dalam proses produksi baja ketika pabrik baja dan pengecoran logam memproduksi produk baja baru. Bentuk skrap ini jarang meninggalkan area produksi pembuatan baja. Sebaliknya, itu dikembalikan ke tungku di lokasi dan dilebur lagi. Kemajuan teknologi telah secara signifikan mengurangi produksi limbah rumah yang menyumbang sekitar 29% dari total *Scrap*.

#### **2. New Scrap**

*New Scrap* (*scrap* industri) dihasilkan di pabrik manufaktur produk baja dan termasuk barang-barang seperti pembubutan, kliping dan sisa stamping ketika bagian dibuat selama proses manufaktur. Bahan ini biasanya dijual ke industri logam bekas yang memprosesnya untuk dijual ke pabrik baja dan pengecoran. Ini menyumbang sekitar 23% dari total *Scrap*.

#### **3. Old Scrap**

*Old Scrap* dihasilkan ketika produk baja industri dan konsumen (seperti, mobil, peralatan, bangunan, jembatan, kapal, kaleng, gerbong kereta api, dll.) telah habis masa pakainya. *Old Scrap* atau pasca-konsumen menyumbang sekitar 48% dari total *Scrap*.



## 2.4.2 Teknik Sorting dan Persiapan *Scrap*

### 1. Sorting dan Persiapan *Scrap* secara manual

Barang-barang besar seperti kapal, mobil, peralatan, gerbong kereta api, dan baja struktural harus dipotong agar dapat diisi ke dalam tungku. Ini dapat dilakukan dengan menggunakan gunting, gerinda potong genggam atau penghancur. Penyortiran manual jelas melibatkan penghilangan komponen dari *scrap* dengan tangan, seperti memisahkan menggunakan tangan untuk memisahkan metal dan plastik contoh di mobil bekas melepaskan ban roda, kaca, kursi dll.

### 2. *Scrap Size Reduction Processes*

Berbagai macam peralatan digunakan untuk mengurangi ukuran bahan bekas yang besar menjadi potongan-potongan yang cukup kecil untuk memungkinkan konsolidasi, pengiriman, dan pengumpanan berikutnya ke dalam tungku. Peralatan yang digunakan untuk mencapai hal ini termasuk gunting, flatteners, dan penghancur pemotong obor dan pemutar. Peralatan ini biasanya dioperasikan oleh pengolah yang menyiapkan skrap untuk dimasukkan ke pabrik baja.

- Baling Press : Scrap lepas yang memiliki luas permukaan tinggi dan densitas rendah (yaitu *scrap* bubut) harus dipadatkan dengan baling atau briket
- Briquetter: Dalam briket, skrap kecil dipadatkan ke dalam kantong saat melewati antara dua drum yang berputar berlawanan arah; pemadatan dapat dibantu dengan panas tergantung bahannya.
- Shear guillotine hidraulik mengiris potongan baja berat termasuk pelat kapal, pipa, dan sisi gerbong kereta api. Gunting bervariasi dalam ukuran dari 300 ton sampai lebih dari 2000 ton.

### 3. Shredding

Shredders atau fragmentizers menggiling mobil tua menjadi potongan seukuran kecil. Proses pencacahan menghasilkan tiga jenis bahan

- ASR Automotive shredder residue ASR ( Plastik, glass dll.)
- ASR Automotive shredder residue (ASR) ( Aluminium, tembaga

- Ferrous Metal ( logam besi)

#### 4. Magnetic Separation

magnetik digunakan ketika sejumlah besar potongan besi harus dipisahkan dari bahan lain. Magnet permanen dan elektromagnet digunakan dalam proses ini.

#### 5. Eddy Current Separation

Eddy Current Separation digunakan untuk memisahkan logam non-ferrous dari limbah dan ASR. Proses umumnya mengikuti proses pemisahan magnetik primer, dan mengeksploitasi konduktivitas listrik logam non-magnetik. Ini dicapai dengan melewati arus magnet melalui aliran umpan dan menggunakan gaya tolak yang berinteraksi antara medan magnet dan arus dalam logam.

#### 6. Heavy-Media Separation (HMS)

Pemulihan bahan yang dapat didaur ulang sering dicapai dengan menggunakan pemisahan media berat (HMS) untuk memulihkan logam non-ferrous dari ASR. Proses ini menggunakan media yang biasanya terdiri dari magnetit atau ferrosilikon yang ditumbuk halus dan air. Dengan memvariasikan proporsi relatif padatan, kerapatan relatif (atau berat jenis) media dapat disesuaikan. Gravitasi spesifik media biasanya setengah jalan antara kerapatan dua bahan yang dipisahkan. Setelah dipisahkan, produk/bahan dibiarkan mengalir, dan media yang dipulihkan kemudian dikembalikan ke proses. Setiap media yang masih menempel pada produk/bahan dihilangkan dengan semprotan air. Solusi yang dihasilkan dilewatkan melalui pemisah magnetik untuk memulihkan media. Limbah tersebut kemudian digunakan kembali sebagai air semprot. Pemisahan HMS dapat dilakukan di bak terbuka untuk mencapai gaya pemisah yang sama dengan gaya gravitasi. Untuk partikel yang lebih kecil, gaya viskositas sedang cenderung bekerja melawan gaya pemisah. Dalam kasus ini, pemisah siklon digunakan yang menghasilkan pemisahan beberapa kali gaya gravitasi.

#### 7. Pengujian Warna, Kepadatan, Magnetik, Percikan, Kimia, dan Spektroskopi

Bahan bekas biasanya diidentifikasi oleh penyortir terampil menggunakan uji fisik dan kimia dalam jumlah terbatas. Tes ini bergantung pada pengenalan objek,

warna, densitas semu, sifat magnetik, sifat pola percikan saat digiling pada roda abrasif, reaksi kimia terhadap reagen, analisis kimia, dan analisis spektrograf. Tes ini bergantung pada pengenalan objek, warna, densitas semu, sifat magnetik, sifat pola percikan saat digiling pada roda abrasif, reaksi kimia terhadap reagen, analisis kimia, dan analisis spektrograf. Sifat fisik seperti warna, kerapatan, dan kekerasan relatif dapat digunakan untuk memisahkan kelas material tertentu dengan cepat. Misalnya, tembaga dan kuningan dapat dikenali dari warnanya, sedangkan timbal dapat dikenali dari kerapatan dan kelembutan relatifnya. Membedakan antara paduan dengan kadar dan komposisi yang serupa bisa lebih sulit; dalam kasus ini, pengujian magnetik, pengujian percikan, dan analisis kimia dan spektroskopi dapat digunakan. Pengujian magnetik juga dapat digunakan karena besi, nikel, dan kobalt bersifat feromagnetik, seperti halnya baja tahan karat paduan rendah. Oleh karena itu, meskipun pengujian magnetik tidak dapat digunakan untuk membedakan antara paduan, pengujian ini dapat mengklasifikasikan paduan ke dalam rangkaiannya. Pengujian percikan melibatkan penggilingan paduan pada roda abrasif. Warna dan panjang percikan dapat digunakan untuk mengidentifikasi paduan. Ada spektrometer yang menganalisis spektrum yang dilepaskan dari percikan dan membandingkannya dengan standar untuk mengidentifikasi paduan, tetapi unit ini tidak benar-benar portabel dan oleh karena itu tidak digunakan secara luas. Berbagai spektrometer optik dan sinar-X dapat digunakan untuk mengidentifikasi komposisi paduan. Pengujian termoelektrik melibatkan penggunaan efek Seebeck untuk mengidentifikasi bahan. Perangkat termoelektrik ini berisi dua probe yang terbuat dari logam yang sama, satu dipanaskan dan satu lagi pada suhu sekitar. Ketika mereka menyentuh potongan, perbedaan potensial dihasilkan yang merupakan karakteristik dari logam yang diuji. Tes bercak kimia juga digunakan dimana reagen seperti asam diteteskan pada logam dan reaksi diamati. Analisis kimia kuantitatif dapat digunakan untuk mengkonfirmasi komposisi paduan yang tepat.

## 2.6 Prinsip kerja Arus Pada EAF

Dalam proses peleburan menggunakan busur listrik ada dua macam arus listrik yang bisa digunakan dalam proses peleburan dengan EAF, yaitu arus searah (direct current) dan arus bolak-balik (alternating current), yang biasa digunakan dalam proses peleburan skala industri adalah arus bolak-balik dengan 3 fase menggunakan elektroda graphite.

Banyak tipe dapur listrik yang digunakan, tetapi secara praktik hanya tiga tipe berikut yang digunakan dalam industri pembuatan baja :

- AC direct-arc electric furnace (dapur busur listrik – arus bolak balik)
- DC direct-arc electric furnace (dapur busur listrik – arus searah )
- Induction electric furnace (dapur induksi)

Pada dapur busur listrik – arus bolak balik, arus melewati suatu elektroda turun ke bahan logam melalui suatu busur listrik, kemudian arus tersebut dari bahan logam mengalir keatas melalui busur listrik melalui busur listrik menuju elektroda lainnya. Untuk peleburan baja dapat dilakukan arus satu, dua atau tiga fasa. Umumnya digunakan arus 3 fasa.

Dalam dapur listrik – arus searah, arus listrik melewati satu elektroda turun ke bahan yang akan dilebur melalui busur listrik, yang kemudian mengalir menuju elektroda pasangannya yang berada dibawah dapur

Prinsip timbulnya panas pada tanur busur listrik adalah panas timbul akibat adanya tahanan (resistansi) saat arus listrik yang mengalir. Dalam hal ini, logam yang dimuatkan dalam tanur yang akan memberikan tahanan terhadap arus listrik. Saat logam mencair, terak akan memberikan tahanan pada aliran arus listrik. Untuk mempertahankan pemberian panas saat logam telah mencair, elektroda harus diangkat sehingga elektroda tersebut hanya menyentuh permukaan lapisan terak. Panas yang dihasilkan oleh loncatan elektron (busur api) dengan aliran listrik dengan adanya aliran listrik ini maka, akan menimbulkan aliran induksi dalam cairan yang akan menyebabkan terjadinya gerak cairan, sehingga homogenisasi cairan dapat terjadi.

Pada arc furnace elektroda dipakai untuk menghantarkan arus busur listrik menuju bahan peleburan, terbuat dari karbon atau grafit sebab lebih tahan terhadap

temperatur tinggi. Elektroda yang digunakan, semakin lama akan semakin pendek dibagian ujung bawahnya disebabkan panas yang terjadi pada ujung tersebut. Pada saat operasi/bekerja, elektrode diturunkan secara bersamaan hingga bersentuhan dengan logam. elektroda yang digunakan dapat dinaikan atau diturunkan secara otomatis dengan menggunakan perangkat pengendali listrik atau hidrolik. Sistem kendali manual dan otomatis digunakan untuk menaikkan, menurunkan, dan menggeser elektroda saat proses peleburan berlangsung. Jika elektrode tersebut sudah pendek, perlu diganti yang baru.

## **2.7 Penggunaan Energi Listrik di EAF**

(Hernandez et al., 2005) Arus pada proses peleburan dengan menggunakan electric arc furnace berasal dari arus searah (direct current) atau arus bolak-balik (alternating current). Dalam skala industri arus yang digunakan dalam proses peleburan yaitu menggunakan proses arus bolak-balik dengan elektroda grafit. Pada dapur busur listrik arus bolak balik, arus melewati suatu elektroda yang turun ke bahan logam melalui suatu busur listrik, kemudian arus tersebut dari bahan logam mengalir keatas melalui busur listrik menuju elektroda lainnya. Untuk peleburan baja dapat dilakukan arus satu, dua atau tiga fasa. Umumnya digunakan arus 3 fasa.

Prinsip timbulnya panas pada tanur busur listrik adalah panas timbul akibat adanya tahanan (resistansi) saat arus listrik yang mengalir. Dalam hal ini, logam yang dimuatkan dalam tanur yang akan memberikan tahanan terhadap arus listrik. Saat logam mencair, terak akan memberikan tahanan pada aliran arus listrik. Untuk mempertahankan pemberian panas saat logam telah mencair, elektroda harus diangkat sehingga elektroda tersebut hanya menyentuh permukaan lapisan terak. Panas yang dihasilkan oleh loncatan elektron (busur api) dengan aliran listrik akan menimbulkan aliran induksi dalam cairan yang akan menyebabkan terjadinya gerak cairan, sehingga homogenisasi cairan dapat terjadi.

(Jones, dkk, 1998) Pada arc furnace elektroda dipakai untuk menghantarkan arus busur listrik menuju bahan peleburan, terbuat dari karbon atau grafit sebab

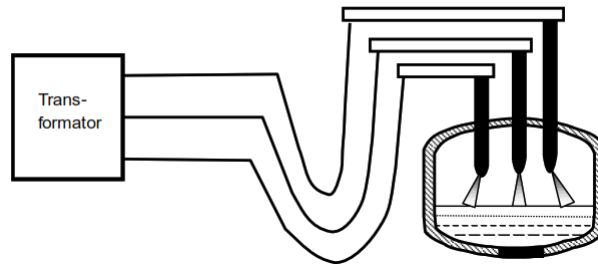
lebih tahan terhadap temperatur tinggi. Elektroda yang digunakan, semakin lama akan semakin pendek dibagian ujung bawahnya disebabkan panas yang terjadi pada ujung tersebut. Pada saat operasi/bekerja, elektrode diturunkan secara bersama-sama hingga bersentuhan dengan logam. Elektroda yang digunakan dapat dinaikan atau diturunkan secara otomatis dengan menggunakan perangkat pengendali listrik atau hidrolis. Sistem kendali manual dan otomatis digunakan untuk menaikkan, menurunkan, dan menggeser elektroda saat proses peleburan berlangsung. Jika elektrode tersebut sudah pendek, perlu diganti yang baru.

(Horia et al., 2011) Tungku pembuatan baja modern berukuran menengah memiliki transformator yang diberi nilai sekitar 60 MVA, dengan tegangan sekunder antara 400 dan 900 volt dan arus sekunder yang melebihi 44.000 ampere. Untuk menghasilkan satu ton baja dalam sebuah EAF membutuhkan sekitar 440 kWh per ton, jumlah minimum teoritis energi yang dibutuhkan untuk melelehkan 1000 kg baja bekas adalah 300 kWh dengan temperatur lebur sebesar 1520 C.

## **2.8 Data Penggunaan Energi Listrik di EAF di PT. X**

Didalam proses peleburan pembuatan baja di dalam EAF di PT. X digunakan EAF kapasitas 18 Ton dan 20 Ton dengan tipe dapur listrik yang digunakan *AC direct-arc electric furnace* (dapur busur listrik – arus bolak balik) dengan menggunakan elektroda berdiameter 14 in untuk EAF 18 Ton dan 16 in pada EAF 20 Ton. Grafit elektroda merupakan komponen utama pada EAF yang berfungsi untuk mentransfer power supply menuju furnace. Elektroda harus tahan temperatur tinggi dan reaksi kimia, diwaktu bersamaan harus menyediakan energi yang seragam dan kontinyu untuk jalanya proses.

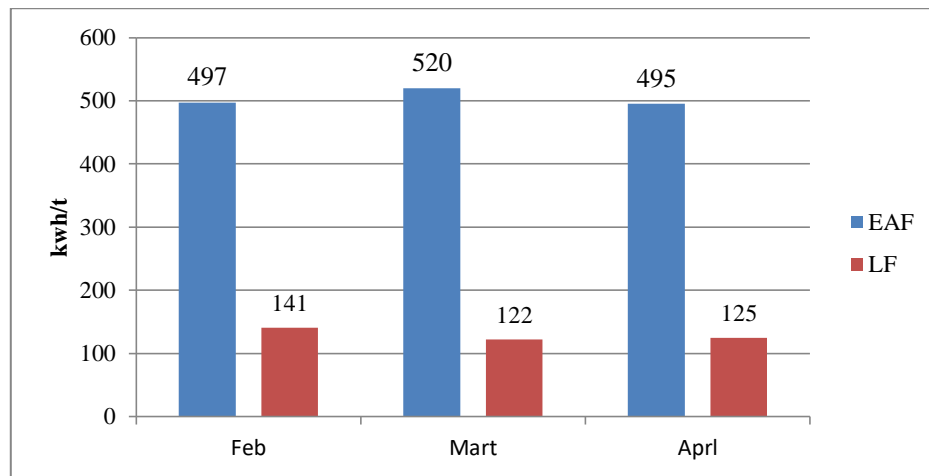
Di PT. X untuk masing-masing elektroda dialiri arus 22 kA dan dijaga agar tidak terlalu besar perbedaannya. Oleh karena itu digunakan kombinasi voltage dan reactor tap pada saat proses berlangsung. Total untuk satu kali charge dibutuhkan energi listrik sekitar 11.000 kWh.



Gambar 2.13 AC direct-arc electric furnace

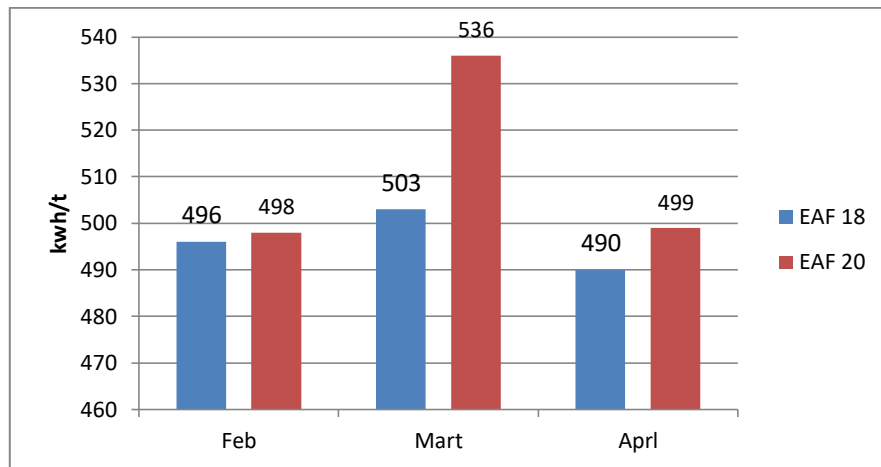
<http://ietd.iipnetwork.org/content/electric-arc-furnace>

Oleh karenanya dalam mengulas dalam membahas penggunaan listrik, berikut adalah data penggunaan energi tinggi dan terendah di EAF dan LF yang tinggi sebagai berikut :



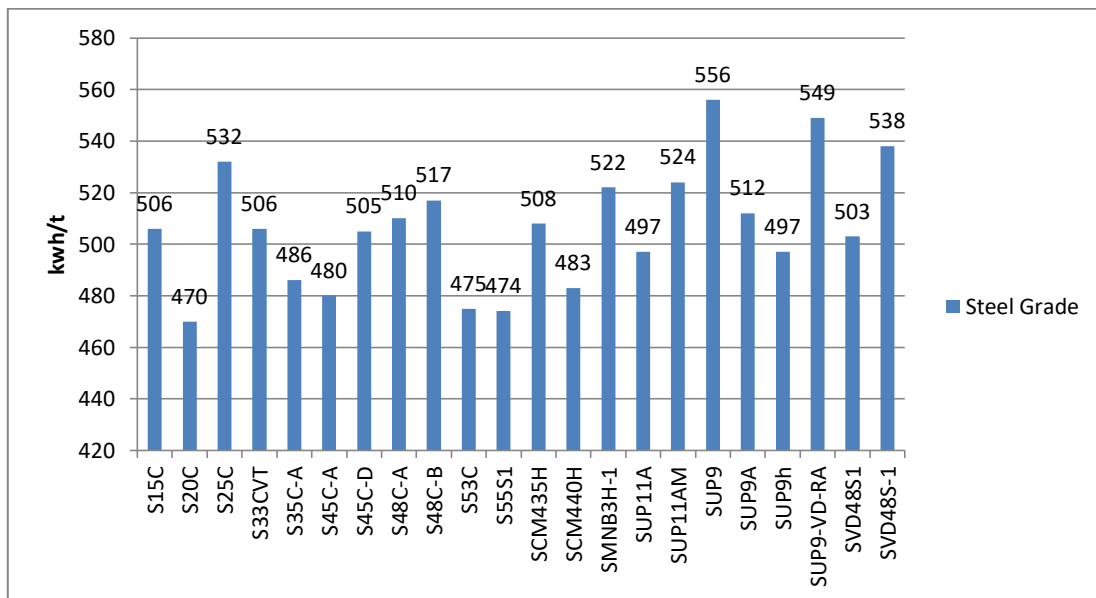
Grafik 2.14 Energi Listrik pada EAF dan LF

Dari penggunaan energi listrik pada proses produksi baja yang tertinggi terjadi di Electric Arc Furnace (EAF) . Dalam proses proses peleburan baja di PT. X di gunakan dua EAF masing berkapasitas 18 Ton dan 20 ton, sehingga penulis membandingkan lagi penggunaan energi listrik pada kedua EAF tersebut sebagai berikut :



Grafik 2.15 Energi Listrik EAF

Dari data konsumsi energi listrik di EAF yang terjadi di EAF 20 Ton yang tertinggi dengan jumlah konsumsi sebesar 536 kwh/ton, dalam penggunaan energi di EAF banyak jenis steel grade zang di buat, berikut adalah data penggunaan energi listrik pada setiap grade pada bulan maret zang tertinggi dengan steel grade sebagai berikut :



Grafik 2.16 Energi Listrik *Steel Grade* EAF 20 Ton



Dari grafik diatas maka dapat di ketahui penggunaan energi listrik tertinggi terjadi pada steel grade SUP9 dengan 556 kwh/ton. Dengan demikian untuk penulis melakukan penelitian penulis pada *steel grade* SUP9.