

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Terdahulu

Menurut Frantisek Kavicka (2013: 1-6) dengan judul penelitian “Analisis *Breakout* dari *Concast Steel Slab* Melalui Kriteria Kesamaan” Area pendingin sekunder merupakan bagian penting dari CCM. Di area ini *breakout* dapat terjadi karena peningkatan heterogenitas lokal dan suhu baja, karena peningkatan stress yang disebabkan oleh pembengkokan lempengan dan oleh konsentrasi lokal yang tinggi dari inklusi terak non-logam. Perubahan dari komposisi kimia baja selama *casting* sangat berbahaya. Cara untuk mengurangi resiko terjadinya *breakout* dapat ditemukan terutama, dalam perubahan sifat termo-fisik dari kedua baja, terutama terdiri dari pengurangan perbedaan komposisi bahan kimia mereka.

Sedangkan menurut Saheb Mohammed Mahdi (2012: 1-11) dengan judul “*Breakout Problems Study of Continuous Casting Steel*” *Breakout* adalah salah satu masalah yang sangat merugikan dalam proses *continuous casting*, kita bisa mengembalikan Sebagian besar alasan mereka kepada kontrol yang buruk dari keadaan proses *casting*, termasuk komposisi bahan kimia pada logam, kecepatan casting dan suhu penuangan. Berdasarkan data yang diperoleh disebutkan bahwa sebagian besar *heat breakout* berada di luar batas atas suhu yang mengalir. *Breakout* juga efeknya berdampak ke komposisi kimia, meskipun persentase mangan dari baja berada dalam batas, tetapi itu adalah efek untuk menginduksi *breakout* secara tidak langsung. Peningkatan kandungan silicon akan berakibat peningkatan fluiditas baja cair, yang mengarah ke meningkatnya tekanan ferro-statis pada cangkang *billet* yang di padatkan bisa mengakibatkan *breakout* pada saat proses *casting*. Peningkatan persentase karbon memiliki efek positif dalam penurunan kemungkinan *breakout*.

## 2.2 Baja

Baja merupakan material logam dengan unsur penyusun utamanya ialah besi (Fe) dengan unsur pepadu utama adalah karbon (C), sehingga sering disebut dengan baja karbon. Besi sebagai bahan utama untuk pembuatan *alloy* atau paduan pada awalnya merupakan biji besi berupa mineral dalam bentukan pasir atau berupa batu yang telah melalui suatu proses alam berupa ekstraksi. Komposisi karbon dalam baja berkisar antara 0,2% hingga 2,1% berat sesuai dengan *grade-nya*. Peran karbon di dalam baja sebagai unsur penguat dengan mencegah dislokasi bergeser pada *crystal lattice* atom besi. Unsur-unsur lain yang terdapat dalam baja karbon namun dengan persentase sangat kecil sering disebut dengan pengotor, diantaranya unsur-unsur Cu, Sn, Ni, Zn, dan Pb. Baja yang diolah dengan proses lanjut pelapisan untuk tujuan pencegahan korosi dan tujuan keindahan biasanya mempunyai unsur tambahan Cr, Ni, Zn, Pb dan Al. Baja yang diolah dengan proses lanjut berupa penguatan biasanya mempunyai unsur tambahan Ti, Cr, Ni, Co, V dan W (Agung, 2012).

### 2.2.1 Baja Paduan (*Alloy Steel*)

*Alloy steel* atau baja paduan adalah baja yang mengandung unsur selain Fe dan C juga unsur-unsur paduan lainnya. Baja rendah unsur paduannya di bawah 10% sedangkan diatas 10% adalah baja paduan tinggi. Unsur-unsur paduan yang ditambahkan pada baja diantaranya Ni, Cr, Mo, Ti, Mn dan unsur lain yang disesuaikan dengan sifat paduan dan pengaplikasiannya diantaranya meningkatkan *toughness*, kekuatan tarik tanpa kehilangan keuletannya, Mempertahankan sifat-sifatnya pada suhu tinggi, meningkatkan ketahanan korosi dan fatik, meningkatkan kekerasan, meningkatkan mampu mesin, meningkatkan elastisitas, (Suparni, 2009). Pengaruh tiap jenis unsur terhadap baja:

#### 1. Karbon (C)

Menambah kekuatan dan kekerasan (maksimal pada C= 0,9%) kemampuan untuk dikeraskan. Mengurangi titik cair, pemuaian, mampu las dan tempa.

#### 2. Posphor (P)

Menambah keenceran, rapuh, dingin, tahan panas. Mengurangi pemuluran tahan pukulan.

3. Sulfur (S)

Menambah kekentalan, mampu potong, rapuh panas. Mengurangi tahan pukulan.

4. Nitrogen (N)

Menambah kekuatan dan kerapuhan. Mengurangi tahan lama (usia).

5. Hidrogen (H)

Menambah kerapuhan. Mengurangi tahan goresan.

6. Silikon (Si)

Menambah elastisitas, kekuatan, tahan karat, pemisahan grafit pada besi cor.

Mengurangi mampu las.

7. Mangan (Mn)

Menambah kekuatan pengerasan total, tahan pukulan dan tahan aus. Mengurangi mampu mesin, pemisahan grafit pada besi cor.

8. Nikel (Ni)

Menambah kekuatan, keuletan, tahan karat, pengerasan total, tahanan listrik. Mengurangi pemuaiian.

9. Chrom (Cr)

Menambah kekerasan, tahan panas, kekuatan, tahan aus dan karat. Mengurangi pemuluran.

10. Vanadium (V)

Menambah tahan lama, kekerasan, ulet, tahan panas. Mengurangi kepekaan terhadap temperatur tinggi.

11. Molibdenum (Mo)

Menambah kekerasan, tahan lama dan tahan panas. Mengurangi pemuaiian dan mampu tempa.

12. Cobalt (Co)

Menambah kekerasan, tahan panas, kekuatan memotong. Mengurangi keuletan.

13. Wolfram (W)

Menambah kekerasan, kekuatan, tahan karat, tahan panas. Mengurangi pemuaiian.

14. Aluminium (Al)

Menambah nitriding (kemampuan unsur untuk dimasuki nitrogen), kekerasan.  
Mengurangi berat benda.

#### 15. Timbal (Pb)

Logam ini sangat ulet dan mudah dibentuk. Timbal sangat tahan terhadap korosi atau anti berkarat.

#### 16. Tembaga (Cu)

bersifat konduktor, maka bisa dipergunakan sebagai bahan pengantar listrik serta panas dan sebagai komponen bahan dasar campuran untuk beberapa jenis logam paduan.

#### 17. Timah (Sn)

Untuk bahan pelapis bagi satuan besi agar barang tersebut tidak mudah berkarat. Timah juga mampu membentuk baja menjadi logam yang lebih ringan dan mudah disesuaikan untuk keperluan industri.

#### 18. Boron (B)

Unsur boron bersifat metalloid, yaitu memiliki sifat diantara sifat logam dan nonlogam, diantaranya semikonduktor terhadap listrik dengan kenaikan konduktivitas yang beriringan dengan naiknya suhu.

### 2.2.2 Baja Karbon (*Carbon Steel*)

*Carbon Steel* atau baja karbon merupakan baja yang memiliki kandungan karbon kurang dari 2,14%. Ada tiga macam baja karbon yaitu baja karbon rendah, baja karbon menengah, dan baja karbon tinggi yaitu:

#### 1. Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah merupakan baja dengan kandungan utama besi dan karbon dengan komposisi karbon <0,25%. Karbon di bawah 0,15% dinamakan *dead mild steel* yang banyak digunakan pada *sheet, strip, wire, ship plate*. Pengaplikasian baja karbon rendah diantaranya sebagai body mobil, pipa saluran, bentuk struktur (profil I, L, C, H). Baja karbon rendah memiliki beberapa karakteristik yaitu, tidak responsif terhadap perlakuan panas yang bertujuan membentuk martensit, metode penguatannya dengan *cold working*, struktur micronya terdiri dari ferrit dan perlit, relatif lunak dan lemah, ulet dan tangguh, mampu mesin dan mampu lasnya baik.

#### 2. Baja Karbon Menengah

Baja karbon menengah memiliki kandungan karbon antara 0,25-0,5%. Baja karbon menengah dapat dinaikan sifat mekaniknya dengan perlakuan panas *austenitizing*, *quenching*, dan *tempering*. Jenis baja karbon menengah banyak dipakai dalam kondisi hasil tempering sehingga struktur mikronya martensit dan lebih kuat dari baja karbon rendah. Untuk pengaplikasiannya baja karbon menengah digunakan untuk poros, roda gigi, dan *crankshaft*.

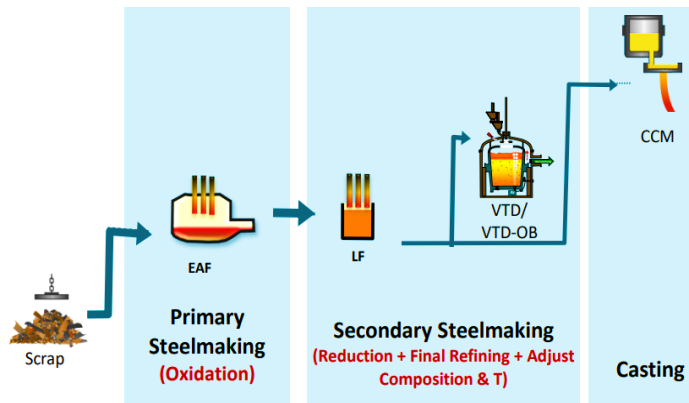
### 3. Baja karbon tinggi (*hight carbon steel*).

Baja karbon tinggi memiliki kandungan karbon 0,5-2%. Sifat mekaniknya dapat dinaikkan melalui perlakuan panas *austenitizing*, *quenching* dan *tempering*. Baja karbon tinggi banyak dipakai dalam kondisi hasil tempering sehingga hasil struktur mikronya martensit. Kemudian jenis hasil baja ini merupakan yang paling keras, paling kuat, dan paling getas diantara baja karbon jenis lainnya serta tahan aus. Baja karbon tinggi dapat diaplikasikan pada pegas, pisau cukur, pekasas potong dan dies.

### **2.2.3 Spring Steel**

Baja *spring steel* atau yang sering disebut baja per adalah baja yang mempunyai kemampuan pegas tinggi. Biasanya mempunyai kandungan karbon dari 0,50% sampai 1,00%. Baja per mobil/truk biasanya mempunyai kandungan karbon sekitar 0,50% sampai 0,65%. Baja yang biasanya disebut baja per di Indonesia adalah baja per daun mobil/truk.

## **2.3 Alur Pembuatan Billet Baja**



**Gambar 2.1** Alur pembuatan billet baja  
**Sumber:** Zulfiadi Zulham, 2017

Alur pembuatan billet baja di PT. X dimulai dari *row 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 memepermudah 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 (Zulfiadi Zulham, 2017).

#### 2.4 *Row Material (scrap)*

*Scrap* merupakan besi tua atau besi bekas dari sisa produksi yang tidak terpakai yang dapat digunakan kembali dengan cara dilebur dalam dapur peleburan menjadi billet. *Scrap* yang digunakan di PT. X ada berbagai jenis yaitu:

1. *Heavy Melting Steel (Plate & Strip)*



**Gambar 2.1** Scrap HMS (P&S)  
**Sumber:** Arul Setiyawan, 2019

HMS (P&S) merupakan *scrap* yang diimport dari luar negeri berasal dari lempengan – lempengan bekas, besi plat dan besi strip bekas.

2. *Busheling*



**Gambar 2.3** *Scrap busheling*  
**Sumber:** Arul Setiyawan, 2019

*Busheling* merupakan jenis *scrap* import yang berasal dari potongan – potongan sisa produksi yang sudah tidak terpakai. Namun jenis *scrap* ini merupakan *scrap* yang paling mahal dibandingkan *scrap* lainnya.

3. *Shredded*



**Gambar 2.4** *Scrap shredded*  
**Sumber:** Arul Setiyawan, 2019

*Shredded* merupakan jenis *scrap* import yang terdiri dari berbagai bahan logam yang telah dihancurkan menjadi potongan – potongan kecil.

4. Premium Lokal



**Gambar 2.5** *Scrap premium local*  
**Sumber:** Arul Setiyawan, 2019

*Scrap premium local* merupakan jenis *scrap* yang berasal dari dalam negeri. Biasanya berasal dari besi bekas dan peralatan sisa rumah tangga dan besi bahan bangunan.

5. *Scrap return*

Scrap return adalah scrap yang berasal dari lingkungan produksi yaitu billet, round bar, flat bar dan lempengan skull.



Flat bar



round bar



Lempengan skull

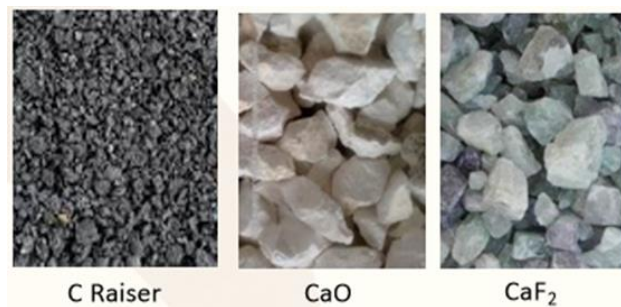


billet

**Gambar 2.6** *Scrap return*  
**Sumber:** Arul Setiyawan, 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:** Arul Setiyawan, 2019



### 2.4.1 Standar Penerimaan Scrap

Standart penerimaan jenis *scrap* di PT. X mendapat perlakuan khusus. Dengan alat yang digunakan adalah XRF- *Handheld Metal Analyzer* yang berfungsi untuk mengecek komposisi setiap kedatangan janis *scrap*. Alat ini mampu membaca setiap unsur yang terkandung dalam *scrap*. Tabel 2.1 di bawah merupakan dasar yang digunakan sebagai acuan dalam memilah jenis *scrap*.

element	tolerance	element	tolerance
C	2,00 %max.	Cu	0,30 %max.
Si	2,00 %max.	Sn	0,030 %max.
Mn	2,00 %max.	As	0,040 %max.
P	0,050 %max.	Zn	free
S	0,050 %max.	AL	free
Ni	0,20 %max.	Nb	0,050 %max.
Cr	0,20 %max.	Ti	0,040 %max.
Mo	0,05 %max.	B	0,0040 %max.
		V	0,06 %max.

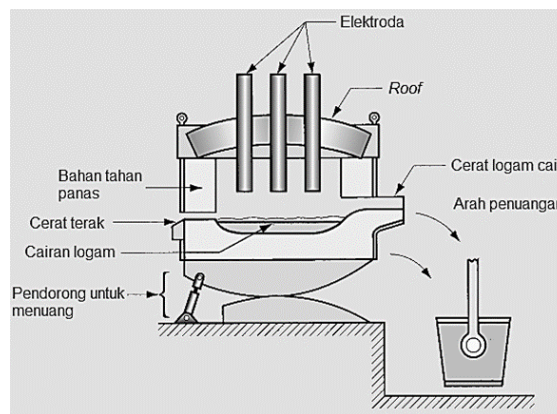
Tabel 2.1 Standart Penerimaan Scrap  
Sumber: PT. X, 2022

### 2.5 Electric Arc Furnace (EAF)

*Electric Arc Furnace* (EAF) adalah dapur peleburan dengan memanfaatkan energi listrik tiga fase yang di lengkapi dengan 3 buah elektroda sebagai arcing penghantar listriknya. Cara kerja EAF sama seperti pada las listrik, dimana elektroda tersebut diberi aliran arus listrik yang nantinya akan mengeluarkan percikan bunga api. Temperatur yang dibutuhkan untuk melebur baja sekitar 1.600-1680 dan membutuhkan energi listrik sebesar 85000-100.000 kWh. Daya yang dipergunakan oleh funace untuk melakukan satu kali proses peleburan adalah sekitar 510 kWh/ton. Sebelum melakukan peleburan mula-mula furnace diberi kabur bakar, kemudian proses memasukan scrap, jumlah scrap dalam charge pertama pada peleburan di EAF sekitar 15,5 tom dan pada charge ke dua adalah 10-ton hasil yang dihasilkan dari proses peleburan tersebut sebanyak 21 sampai 23-ton molten steel. Struktur dari EAF adalah tungku oval (bagian bawah), dinding dapur yang berbentuk silinder, dan tutup EAF terdapat 3 buah lubang yang merupakan

dudukan elektroda grafit, yang terdiri dari mekanisme penjepit elektroda tidak bertopang pada tutup EAF melainkan bertopang pada rangka tersendiri dan rangka tersebut memiliki mekanisme pengangkat dan untuk menurunkan elektroda pada posisi-posisi yang dapat diatur pada waktu pengoprasian. Untuk mengurangi rugi kalor (heat loses) pada tutup EAF, maka dilapis dengan isolator panas.

Pada dinding pelindung EAF terdapat batu tahan api sebagai isolator panas bagian dalam yang dihasilkan EAF tersebut. Pada dinding EAF ini tidak diperlukan lagi lining karena pada bagian ini tidak lagi bersentuhan dengan cairan. Sedangkan konstruksi luar dari dinding di tutupi oleh plat baja dengan ketebalan tertentu. Pada dinding bagian luar ini juga terdapat system pendingin yang menggunakan fluida air sebagai media pendinginan.



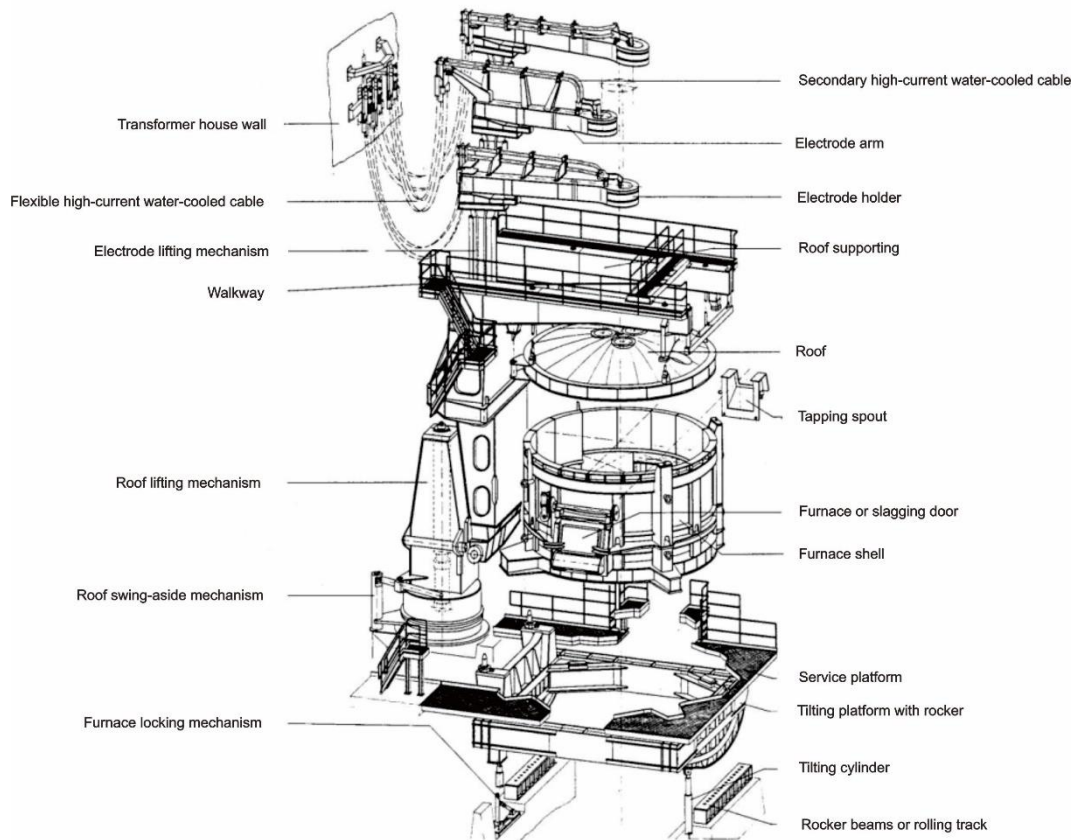
**Gambar 2.8** *Electric Arc Furnace*  
**Sumber:** Zulfiadi Zulhan, 2017

### 2.5.1 Bagian-bagian *Electric Arc Furnace* (EAF)

Adapun bagian-bagian utama pada EAF ini sebagai berikut:

1. Badan *Furnace*
2. *Furnace Shell*, bagian terluar dari *furnace* yang dibuat dengan cara pengelasan (*welding*) atau dengan pembentukan plat baja sehingga memiliki bentuk silinder.
3. *Slag Door*, tempat keluarnya *slag* (kotoran besi yang terapung dipermukaan *molten steel*) yang kemudian di tampung di *slag pot*.
4. *Tap Hole*, tempat keluarnya baja cair hasil dari peleburan yang melalui saluran penuangan (*tapping spout*)

5. *Roof, roof* atau penutup bagian atas *furnace* ini berbentuk seperti kubah, bertujuan sebagai pengisolasi panas agar panas tersebut tidak keluar, karena debu mudah terisap oleh lubang dedusting, sehingga debu tidak terlalu banyak bertebaran di udara.
6. Elektroda Karbon dan Penyangga Elektroda, Elektroda karbon terdiri dari grafit dan mengalirkan arus listrik dengan cepat. Elektroda ini dapat disambung antara elektroda yang satu dengan yang lainnya menggunakan bagian ujung dari elektroda tersebut. Penyangga elektroda terdiri dari tiang penyangga dan lengan penyangga.
7. *Gear* (Gigi Penggerak), Fungsi gigi penggerak adalah untuk menggerakkan atau memiringkan badan *furnace*.
8. Sistem Hidrolik, sistem ini sangat dominan digunakan untuk menggerakkan peralatan mekanik seperti: *roof* (tutup dapur), mengatur posisi tungku (*furnace*) dan menggerakkan peralata-peralatan dengan piston silinder.
9. Sistem elektrik, transformer merupakan sistem elektrik yang memegang peran penting dalam proses peleburan baja. *Transformer* yang digunakan untuk mensulapi daya ke dapur listrik (EAF).
10. Sistem pendinginan, sistem menggunakan sirkulasi air yang didinginkan, sehingga temperaturnya tidak boleh melebihi 50°C. Dengan menggunakan air pendingin maka EAF akan aman dari temperature yang berlebihan. Pendinginan di *furnace* khususnya untuk mendinginkan *Roof* dan *Furnace Shell*.



**Gambar 2.9** *Electric Arc Furnace*  
**Sumber:** Zulfiadi Zulhan, 2017

### 2.5.2 Proses pada *Electric Arc Furnace* (EAF)

Beberapa proses yang terjadi pada EAF adalah sebagai berikut:

1. *Charging* : pemasukan bahan baku (*scrap*) ke dalam dapur EAF untuk dilebur hingga menjadi besi cair. *Charging* awal bertujuan untuk melebur *scrap* dan bahan submaterial dengan jumlah 60% dari muatan total *scrap* pada *bucket* pertama dan 40% pada *bucket* kedua.
2. *Melting* : 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, Al, Mn, C. 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 karbon.
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 melalui proses *slag off*.

## **2.6 Ladle Furnace (LF)**

*Ladle furnace* adalah tempat baja cair mengalami proses pemurnian dan mengatur komposisi unsur paduan (*alloy*) serta menyediakan bahan baku baja cair ke bagian *Continuous Casting Machine* (CCM). Di LF terjadi proses pemanasan cairan kembali sampai suhu 1720°C. Tujuan dari proses sekunder yang terjadi pada LF adalah untuk mengatur temperature baja cair yang akurat sebagai bahan baku untuk *casting*, mengatur komposisi akhir baja cair dengan kemampuan koreksi komposisi sebagai unsur pemadu, penambahan *alloy* sesuai jenis baja yang akan dibuat. Di LF juga terjadi proses *bubbling* untuk mengaduk cairan yang bertujuan menghomogenisasi baja cair dan peningkatan kebersihan baja melalui deoksidasi dan desulfurisasi yang bertujuan mengangkat unsur pengotoran dalam cairan ke permukaan. LF juga menjadi faktor peningkatan fleksibilitas dalam produksi berbagai jenis dan kualitas baja.

### **2.6.1 Main Equipment Ladle Furnace (LF)**

Adapun bagian alat utama pada *ladle furnace* yaitu:

1. *Ladle* merupakan wadah untuk menampung baja cair, desain *ladle* untuk *furnace* menggunakan *ladle* yang ada dengan kapasitas 25 ton.
2. *Ladle Transfer Car* berfungsi sebagai alat transformasi *ladle* yang sudah melalui proses di EAF dari posisi *stand by* ke posisi *treatment* LF dan sebaliknya.

3. *Ladle Cover Tilting Device* dilengkapi dengan tiga elektroda dengan diameter elektroda 10 inch, *alloying chute*, *wire feeding* dan *blowing device (optional)*, dan fasilitas untuk sampling (temperatur, aktivitas oksigen).
4. Dedusting berfungsi untuk menangkap debu yang di bangkitkan dari pemanasan ulang.
5. *Top and bottom stirring* berfungsi untuk pengadukan baja cair yang di proses dengan gas argon penyambung antara saluran gas pada *ladle* dengan saluran gas pada LTC dilakukan melalui kopling otomatis sehingga mengurangi kerja manusia pada daerah yang tidak menyenangkan.

### 2.6.2 Proses pada *Ladle Furnace (LF)*

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 komposisi 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 Pemuatan (*Alloying*)  
Penambahan unsur paduan (*alloy*) disesuaikan dengan jenis baja yang akan dibuat.
5. *Heating*

Proses pemanasan dilakukan untuk menjaga temperature *drop* misalnya karena penambahan paduan (*alloy*) atau untuk mengatur temperature sebelum *casting* dimulai. Proses ini dapat dilakukan dengan menggunakan energi listrik yang disalurkan elektroda.

## 2.7 *Vacum Degassing (VD)*

Teknologi *vacuum degassing* telah diaplikasikan di industri baja untuk menghasilkan produk baja yang berkualitas tinggi terutama untuk produk yang mempunyai kandungan gas-gas terlarut (hydrogen dan nitrogen) rendah, serta kandungan karbon dan sulfur sangat rendah. Tujuan utama dari teknologi vakum pada saat itu adalah untuk mengurangi cacat pada produk, missal retak rambut (*hair crack*), yang diakibatkan oleh gas hydrogen terlarut pada produk ingot baja. Pada pengembangan selanjutnya, cacat-cacat yang diakibatkan oleh inklusi non metalik (oksida dan sulfida) juga harus dikurang. Di *Vacum Degassing* terjadi juga proses *bubbling* atau pengadukan cairan hingga menjadi *homogenaizing*. 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 *vacum*. Tekanan dalam *tank* dijaga dibawah 2torr 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 steelgrade 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 temperature 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 *Continuous Casting Machine* (CCM).

## 2.8 *Continuous Casting Machine (CCM)*

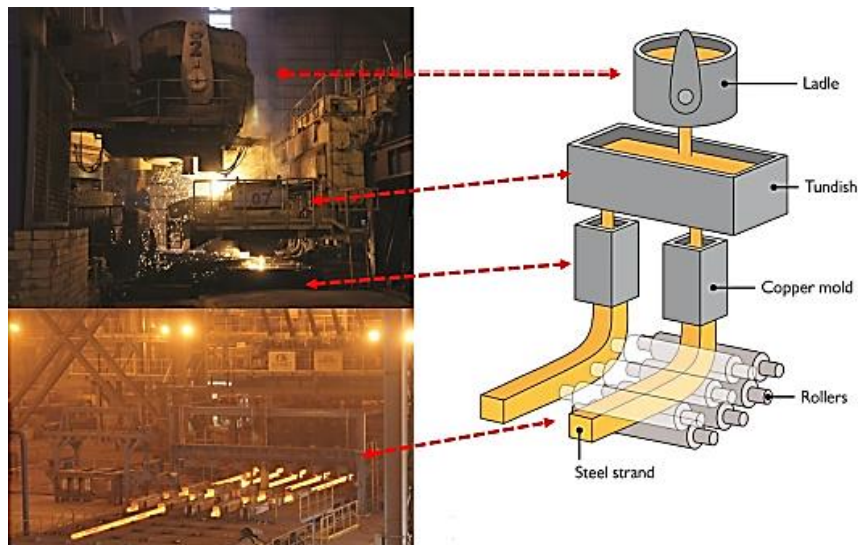
Pada awal tahun 1950an, baja yang dilelehkan dituang ke dalam cetakan untuk membentuk suatu batangan (*billet*), sejak saat itu “pengecoran kontinu” berkembang untuk mencapai peningkatan hasil, kualitas, produktivitas, dan efisiensi biaya. *Continuous casting* atau pengecoran kontinu adalah salah satu proses pengecoran yang mana logam cair dipanaskan menjadi lembaran *billet*, *bloom*, atau *slab*, untuk proses tahap berikutnya di pabrik *finishing*. *Continuous casting* merupakan suatu proses pengecoran secara kontinu untuk membentuk produk baja slab yang dimana logam dipanaskan hingga mencair, kemudian logam



cair langsung dibentuk menjadi baja slab. Dengan demikian dapat menghilangkan peralatan seperti *soaking pit*, *blooming mill*, *reheating cycle* sebelum operasi pengerolan menjadi produk jadi. Proses ini juga menghilangkan penuangan ingot, serta penghematan pemakaian ruangan dan biaya perawatan.

*Continuous Casting Machine* (CCM) merupakan satu - satunya proses yang berjalan kontinu 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  *mold* atau cetakan. Setelah tercetak menjadi billet didinginkan dengan *water spray* dan dirol oleh apron menuju pemotongan. Setelah billet terpotong kemudian dibawa ke marking billet dan cooling bed. Gambaran umum *continuous casting machine* (CCM) pembentukan baja cair menjadi baja *slab* di proses di *continuous casting machine*. Proses ini merupakan pengecoran secara kontinu baja cair yang berasal dari bahan-bahan baku seperti *scrap*. Pellet, kapur dan bahan lainnya, yang telah dilebur di EAF (*Electric Arc Furnace*) dan selanjutnya baja cair yang telah dituang ke ladle dikirim ke *Ladle Furnace* (LF) atau RH *vacuum degassing* untuk memperbaiki kandungan material baja (*ferro alloy*). *Continuous casting machine* juga memiliki kelebihan dan kekurangan. Adapun kelebihan dan kekurangannya sebagai berikut:

1. Kelebihan *continuous casting machine*:
  - a) *Sprue, runner, rises etc*, tidak digunakan oleh karena itu tidak ada limbah logam yang mengarah pada hasil pengecoran
  - b) Proses pengecoran dilakukan secara otomatis
  - c) Produk memiliki kekuatan yang baik dan konsisten
  - d) Sifat mekanik sangat tinggi dan sangat dapat direproduksi.
2. Kekurangan *continuous casting machine*:
  - a) Tidak cocok untuk produksi dalam jumlah kecil.
  - b) Pendinginan cetakan yang terus menerus dan efisien diperlukan. Jika tidak maka *shrinkage centre line* akan berkembang
  - c) Casting ini perlu ruangan yang besar



Gambar 2.10 *Continuous Casting Machine*  
 Sumber: Zulfiadi Zulham, 2017

### 2.8.1 Klasifikasi Continuous Casting

*Continuous casting machine* tidak hanya berpatokan pada satu jenis mesin adapun klasifikasi dalam *continuous casting machine* sebagai berikut:

1. *Vertical Mound*

Jenis cetakan ini sangat tinggi dan karenanya membutuhkan ruangan yang tinggi untuk menampung peralatan. *Vertical Mound* digunakan untuk membuat benda ukuran besar dan sedang, *Vertical mound* mudah untuk diperbaiki dan me-restart mesin.

2. *Vertical Mound with Bending*

Modifikasi dari *vertical mound* untuk mengurangi ketinggian hingga 30% - *The roller apron* dan *pinch rolls* sama dengan *vertical mound*.

3. *Curved Mould or S-type*

Tipe pengecoran kontinu terbaru yang sekarang digunakan untuk hampir semua bagian seperti *billet*, *bloom*, dan *slab*. *Curved mould* memiliki cetakan berbentuk melengkung.

### 2.8.2 Proses Continuous Casting

*Continuous casting machine* memiliki beberapa tahapan dalam prosesnya untuk mengetahui lebih lanjut, berikut ini merupakan proses *continuous casting*:

1. Cairan logam yang sudah melalui proses *vacuum* dikirim menuju *ladle turret*, dalam proses *casting ladle* tahapan awal sebelum *casting* cairan adalah oprasional *preheating tundish*. *Preheating tundish* bertujuan untuk memanaskan dinding bagian dalam *tundish* agar *temperature* cairan pertama yang masuk pada *tundish* tidak mengalami penurunan yang berlebihan. (Normal penurunan *temperature* 50°C) ada beberapa *point check* dalam *preheating tundish* yaitu:
  - a) Tidak boleh ada celah antara berner dan cover *tundish* supaya api tidak bangak terbang.
  - b) Bila ada problem di proses sebelumnya maka blower dikecilkan.
  - c) Target *temperature working lining* minimal 1200°C, *temperature body* 90°C.
  - d) Waktu *preheating* minimal 5 jam.
2. *Preheating* juga dilakukan pada bagian *ladle shroud*, tujuan dari melakukan *preheating* untuk memanaskan material *ladle shroud* sebelum dipakai *casting* supaya *temperature* cairan yang keluar dari *ladle* yang melewati *ladle shroud* tidak *drop*. Ada beberapa *point check* juga dalam bagian yaitu:
  - a) Target *temperature* yang harus di capai 1200°C.
  - b) Waktu pemanasan 15 menit – 30 menit (normalnya 30 menit).
  - c) Tidak ada perlakuan khusus, hanya di bakar saja.
  - d) Bila terjadi kejadian luar biasa saat proses, maka pemanasan cukup 15 menit.
  - e) Usia maksimalnya *ladle shroud* 16 kali pemakaian (2x8 Ch).
3. Setelah tahap diatas dilakukan kemudia dilakukanlah proses *casting ladle* (mengeluarkan cairan baja dari *ladle* ke *tundish*. Logam cair memasuki *tundish* melalui serangkaian lubang di bagian atas cetakan. Panas diekstraksi oleh jaket *tundish* melalui serangkaian lubang di bagian atas cetakan. Dalam proses ini lancing oksigen dilakukan.

4. Pengukuran *hydrogen* dalam cairan *ladle* dan *tundish*, dengan memiliki target kandungan *hydrogen* yang berbeda. Di *ladle* 2,5 PPM dan pada *tundish* 3,5 PPM.
5. Pengukuran *temperature ladle* dan *tundish* dilakukan sebanyak 3 kali bertujuan untuk mengetahui posisi cairan normal atau tidak dan dipakai sebagai acuan menentukan Langkah selanjutnya, seperti mengatur *casting speed* atau saat *casting* jalan satu jalur. Kemudian dilanjutkan dengan pengambilan *sample spectro*.
6. *Casting ladle end*, ada 4 metode yang digunakan secara bersamaan untuk mengetahui kondisi cairan di *ladle* saat *end casting* seperti menggunakan acuan waktu *count down*, melakukan pengukuran *actual* sisa cairan di *ladle* 5 menit sebelum habis dari penghitungan *count down*, mengamati actual kondisi pancur *ladle*, mengamati penurunan timbangan cairan di *tundish*. *Point check* yang harus di perhatikan pada *casting ladle end* adalah:
  - a) Kondisi lobang harus bersih, tidak boleh ada sisa cairan.
  - b) Sebelum dipakai kembali *joint sheet* harus selalu di pasang sebelum di arahkan ke S/G *ladle*.
  - c) Usia maksima; *ladle shroud* 16 (2x8 Ch).
7. Proses *casting tundish* diawali dengan pemasangan kabel *detector S/G tundish* dalam pemasangan *detector* harus di perhatikan sambungan harus rapat, harus tepat di kunci, setelah disambung harus dilakukan pengecekan actual fungsinya.
8. Kemudian dilanjutkan dengan pemasangan SEN (*Sub-Entry Nozzle*), SEN harus melalui proses *preheating* sebelum digunakan ada beberapa *point check* yang harus di perhatikan pada proses *preheating* SEN yaitu:
  - a) Waktu minimal 1,5 jam.
  - b) Target *temperature* yang harus dicapai 800°C.
  - c) Tidak boleh ada celah yang mengakibatkan api banyak keluar.
  - d) Bila terjadi problem di proses sebelumnya, maka *burner* di kecilkan.
  - e) Pengecekan lobang *nozzle* *tundish* dilakukan 2 jam sebelum *casting*.

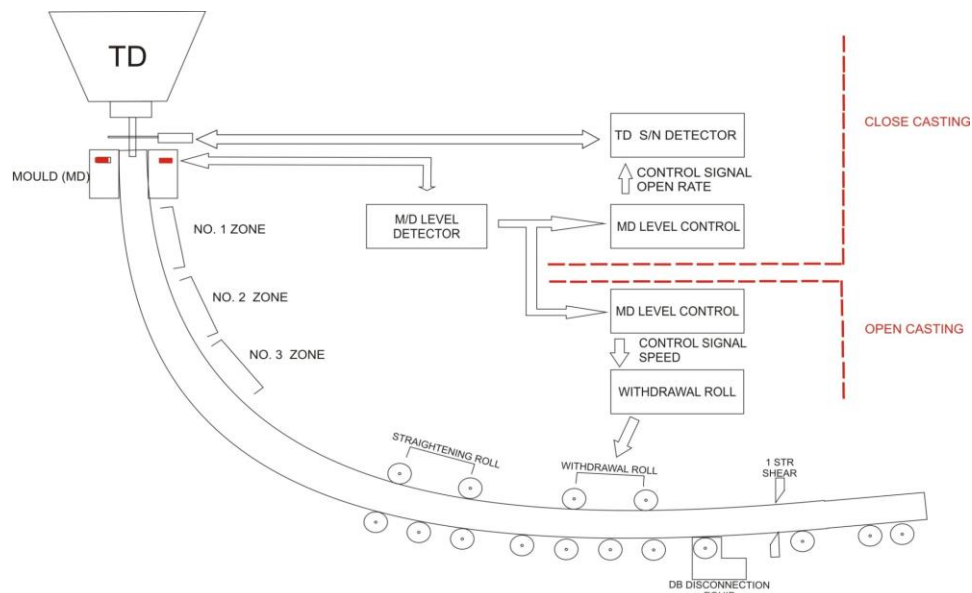
9. *Dummybar setting* dilakukan setelah proses pemasangan SEN, *dummybar* memiliki fungsi untuk menarik *billet* awal *casting*. *Point check* yang harus dilakukan adalah:
  - a) Pemasangan asbes di sela-sela antara *mould* dan D/B harus rapat
  - b) *Standart* besi beton, *plate setting* 12mm, 10 polos, 32 ullir, 36 polos
  - c) Asbes *plate* 10mm.
10. Proses *start casting tundish*, proses ini yang paling menentukan untuk *casting* selanjutnya, beberapa hal yang harus dipertikan pada tahap ini seperti:
  - a) Posisi *switch* tidak boleh salah.
  - b) *Setting speed casting* harus sesuai
  - c) *Timing* pemberian *mould powder* awal harus benar.
  - d) Material *mould powder* tidak boleh memakai bekas.
  - e) Proses menaikkan *speed casting* harus hati-hati
11. *Open casting*, persiapan dimulai dengan pengisian material *filin sand* ke dalam lobang *nozzle tundish* 1 jam sebelum *casting* (setelah di isi dilanjutkan dengan *preheating* lagi). Agar *Matl filin sand* tidak jatuh maka lobang *nozzle* di tutup dari bawah lalu di bantu pemanasan ringan dari bawah *nozzle*. Setelah semua parameter untuk *casting open* terpenuhi maka dimulailah *casting tundish* dengan cara membuka tutup *nozzle tundish*. Cairan yang keluar dari *nozzle tundish* di *lounder* dulu dan di tunggu sampai stabil, bila di kondisi sudah normal atau tidak menyebar maka masukkan ke dalam cetakan atau *mould*. Mulailah mengatur *speed casting* dengan melihat *actual* cairan di dalam *mould* sambil di bantu pelumasan dengan *oil gun*. Setelah kondisi meniscus dirasa stabil maka rubah *mode casting* dari *manual* ke *mode auto*.
12. *Close casting*, persiapan *close casting* dimulai dengan mematikan *preheating tundish*, dilanjutkan pengecekan lobang *nozzle tundish* dan pembersihan kotoran sisa *refractory* yang rontok, baru dilakukan pengisian material *filin sand* ke dalam lobang *nozzle tundish*. Yang membedakan dengan *open casting* adalah saat pengisian *chromite sand* posisi lobang *nozzle tundish* (*auto mode*), kalau tidak bisa *natural open* maka dilakukan lancung oksigen dari atas agar cairan bisa keluar. Setelah cairan mencapai posisi tertentu sesuai posisi TC yang

ada di dalam *mould*. Ada 3 TC yang terpasang di dalam *mould* yang berfungsi sebagai berikut:

- a) TC 1 sebagai deteksi *auto S/G tundish nozzle*.
- b) TC 2 sebagai deteksi *auto start casting*.
- c) TC 3 sebagai deteksi *low level* saat proses berjalan.

13. Panas diekstraksi oleh jaket berpendingin air yang mengelilingi cetakan/*mould* dan bagian sisi logam mulai mengeras. Logam cair diatas cetakan bertindak sebagai penambah yang menjaga agar cetakan tetap terisi dan mencegah. Pematatan terjadi karena di cetakan dan kemudian pengecoran logam yang dipadatkan keluar melalui bagian bawah cetakan melalui proses berkelanjutan dari ekstraksi intermiten pendek yang dilakukan oleh perangkat mekanis. Produk ditarik dengan peningkatan dan kecepatan terkontrol sampai panjang produksi terpenuhi panjang dipotong oleh pemotong khusus dengan bentuk melingkar.

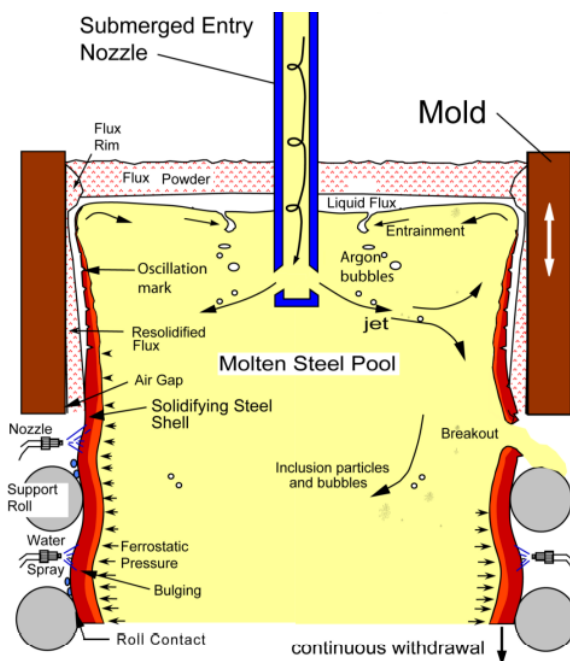
14. Proses *discharging*, proses penataan dan pengaturan *billet* secara *auto* setelah *billet* keluar dari mesin potong, cara kerjanya mengandalkan *control* dari CMD yang terpasang di setiap akhir jalan *billet*. Bisa dilakukan dengan proses manual bila terjadi problem.



**Gambar 2.11** Skema proses casting  
**Sumber:** B.G. Thomas, 2004

## 2.9 Breakout

*Breakout* adalah problem yang paling merugikan yang terkait dengan proses *continuous casting machine*. Kerugian dari terjadinya *breakout* ini tidak hanya dari segi biaya perawatan dan perbaikan yang sangat mahal tetapi juga merupakan bahaya keselamatan yang serius bagi operator mesin CCM. *Breakout* juga menyebabkan penutupan untai dan mengakibatkan hilangnya waktu produksi yang bersamaan dengan penurunan hasil yang signifikan. *Breakout* mengacu pada fenomena bahwa cangkang lempengan billet tidak dipadatkan dengan ketebalan yang seharusnya (terlalu tipis) pada tahap awal *continuous casting* tepatnya pada saat cairan logam memasuki daerah mould, selama proses casting, cangkang billet rusak atau bocor karena factor internal maupun eksternal lainnya, menyebabkan baja cair yang berada di dalam cangkang billet mengalir keluar. *Breakout* adalah salah satu kecelakaan ganas dalam produksi *continuous casting machine*. Kecelakaan *breakout* yang serius tidak hanya mempengaruhi produksi normal mesin CCM, mengurangi tingkat operasi, tetapi juga merusak peralatan mesin pengecoran dan menyebabkan kerusakan peralatan.



**Gambar 2.12** *Breakout*  
**Sumber:** B.G. Thomas, 2004

Ini adalah hal sulit untuk menentukan secara akurat alasan breakout. Banyak upaya dan Investigasi telah diterapkan untuk mengatasi breakout. Operasi casting yang aman (tanpa adanya metal breakout) dan pencapaian yang dapat diterima kualitas produk membutuhkan pemahaman tentang keduanya, antara teknis dan metalurgi pemadatan. Suhu Liquidus ( $T_{liq}$ ) Harus diketahui untuk semua jenis casting. Hal ini penting untuk mengontrol pemadatan logam. Selalu suhu casting cukup tinggi dari suhu liquidus logam ( $T_{liq}$ ) untuk memfasilitasi penuangan (meningkatkan keterpisahan). Untuk kontinu casting praktis menemukan suhu penuangan, ladle sebelum dan sesudah perawatan dan tundish dapat dihitung. Problem utama dari fenomena breakout adalah, menurunkan efisiensi produksi, meningkatkan biaya tonase baja cair, waktu hilang pada pemeliharaan dan pekerja yang terkena bahaya (Saheb Mohammed Mahdi, 2012).

### **2.9.1 Tipe-tipe Breakout**

Kecelakaan breakout dapat dibagi menjadi berbagai bentuk karena waktu dan lokasi yang berbeda pada mesin pengecoran, dan penyebabnya juga berbeda, terutama dibagi menjadi poin-poin berikut:

1. *Breakout of open pouring: start-up* yang buruk saat menuangkan mulai pecah.
2. *Crackle breakout*: Retak longitudinal yang serius, retakan sudut atau detasemen terjadi pada cangkang cetakan, yang akan menyebabkan breakout setelah keluar dari cetakan.
3. *Breakout with slag inclusion*: Karena terak atau benda asing cetakan dibungkus di area lokal cangkang yang dipadatkan, ketebalan cangkang kosong terlalu tipis, yang menyebabkan *breakout*.
4. *Cut the breakout*: Ketika kecepatan pengecoran terlalu cepat dan air pendingin sekunder terlalu lemah, rongga fase cair terlalu panjang. Setelah lempengan dipotong, cairan tengah akan mengalir keluar.
5. *Bonded Breakout*: *breakout* yang disebabkan oleh *billet* pengecoran menempel pada dinding cetakan dan rusak.



### 2.9.2 Steel Grade SMNB3H-1

*Steel grade billet* SMNB3H-1 yang merupakan produk dengan memiliki kejadian breakout terbanyak berdasarkan pemumpulan dan pengelohan data yang di dapat, maka untuk menemukan inti permasalahan yang lebih spesifik penulis mencantumkan komposisi dari *steel grade* SMNB3H-1 yang berupa table untuk mengetahui unsur apa saja yang menjadi dasar pembuatan produk tersebut, dengan di ketahui unsur apa saja yang terdapat pada produk ini di harapkan dapat membatu keterkaitannya dengan penelitian ini. Berikut table komposisi dari *steel grade* SMNB3H-1:

SMNB3H-1		
No.	Unsur	AIM
1	C	0,32-0,36
2	Si	0,15-0,35
3	Mn	1-1,4
4	P	0,02
5	S	0,01-0,025
6	Ni	0,2
7	Cr	0,15-0,25
8	Mo	0,05
9	Cu	0,2
10	Ti	0,05
11	B	0,0005-0,00035
12	Al	0,015-0,045
13	V	-
14	Nb	-
15	Ca	-
16	N	80
17	O	18
18	H	-

**Tabel 2.2** Komposisi SMNB3H-1  
**Sumber:** PT. X 2022

### 2.10 Solidification continuous casting

Teknologi solidifikasi dalam *continuous casting* dimulai dalam cetakan tembaga ujung terbuka berpendingin air. Bagian cangkang baja yang terbentuk dalam cetakan berisi inti baja cair yang secara bertahap mengeras saat untaian bergerak melalui kastor yang dipandu oleh sejumlah besar pasangan gulungan.

Proses solidifikasi dimulai pada tingkat meniscus dalam cetakan diselesaikan di zona pendinginan sekunder menggunakan kombinasi semprotan airdan pendinginan radiasi. Keistimewaan solidifikasi teknologi *continuous casting* muncul dari sifat dinamis dari proses pengecoran. Khususnya hal ini berkaitan dengan:

1. Penanganan fluks panas yang sangat tinggi dalam cetakan.
2. Pemeliharaan cangkang padat awal yang tipis dan rapuh untuk menghindari *breakout* selama penurunan untaian ke dalam cetakan.
3. Perancangan parameter pengecoran selaras dengan dinamika pemadatan kelas baja untuk meminimalkan atau menghilangkan cacat permukaan dan internal pada produk cor (S Mazundar dan SK Ray, 2001)

### **2.11 Temperature**

Temperatur atau suhu menunjukkan derajat panas suatu benda. Semakin tinggi suhu suatu benda, semakin panas benda tersebut. Suhu juga dapat menunjukkan energi yang dimiliki oleh suatu benda. Temperatur pengecoran baja didefinisikan sebagai temperature liquidus ditambah temperature superheat. Dalam praktiknya, ini adalah suhu yang diukur dalam tundish selama proses pengecoran. Suhu super panas untuk setiap mesin pengecoran kontinu disesuaikan satu per satu. Parameter ini tergantung pada komposisi kimia baja, waktu pengecoran panas, risiko kebocoran selama pengecoran, kecenderungan penyumbatan SEN, penurunan suhu baja cair di *tundish*, dan hasil kualitatif dalam untaian cor (Pawel Drozd, 2019)

### **2.12 Speed Casting**

*Speed casting* merupakan parameter proses utama dari pengecoran kontinu, dan memiliki dampak yang menjadi penentu kualitas untaian cor. Peningkatan *speed casting* mempengaruhi suhu untaian. Produktivitas meningkat diikuti dengan meningkatnya *speed casting*, meningkatnya luas penampang. Untuk meningkatkan *speed casting* dibatasi oleh beberapa fenomena yang berbeda. Jelas untuk meningkatkan *speed casting* dari proses *casting* memerlukan pertimbangan yang cermat dari banyak fenomena yang berbeda. Menurut Chunsheng Li dan Brian G. Thomas 2002 *Speed casting* yang lebih tinggi berdampak pada hasil cangkang *billet* lebih tipis dan lebih panas di pintu keluar cetakan diikuti dengan lebih banyak

tonjolan di bawah cetakan, penonjolan yang berlebihan di bawah pintu keluar cetakan dapat menghasilkan retakan panas longitudinal bawah permukaan di luar sudut karena tegangan bawah permukaan pada bagian depan pematatan yang lemah.

### **2.13 *Mold Fluxes***

Fluks cetakan biasanya dipasok dalam bentuk bubuk atau granul. Bentuk bubuk cenderung lebih murah dan memberikan insulasi termal yang lebih baik, tetapi menimbulkan resiko kesehatan dan keselamatan yang lebih tinggi. Butiran biasanya dibuat dengan mencampur bahan fluks. Fluks pralebur tersedia tetapi cenderung lebih mahal daripada fluks butiran karena biaya energi yang lebih tinggi yang terlibat dalam peleburan campuran oksida dan fluoride. Fluks starter digunakan pada awal cor untuk menghasilkan kolam terak secepat mungkin. Mereka mengandung konsentrasi tinggi fluks leleh rendah seperti  $\text{Na}_2\text{O}$  untuk menghasilkan kolam terak dan infiltrasi terak secepat mungkin. Fluks eksotermik mengandung zat seperti silisida besi atau kalsium silisida, yang mengeluarkan panas saat bereaksi dengan oksigen panas ini meningkatkan suhu secara lokal. Fluks cetakan pada dasarnya adalah kalsium aluminosilikat dengan fluks yang ditambahkan. Kebebasan cenderung bervariasi antara 0,6 dan 1,35 tergantung pada *speed casting*, dimensi cetakan, dan *grade* baja yang dicor. Fluks ditambahkan untuk mengurangi liquidis (Tliq) dan solidifikasi (atau pecah, Tbr) suhu terak. Namun mereka cenderung mengurangi viskositas terak cair. Biasanya kandungan FeO rendah karena meningkatnya potensi oksigen terak (Ken Mills, 2014).