



## *Melting dan Pengaruhnya pada Sistem Boiler Circulating Fluidized Bed* (*Melting Phenomenon and Its Impact on Boiler System Operation in Power Plant*)

**Triana Prihatin<sup>1</sup>, Adi Solihin<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Akademi Komunitas Industri Pertambangan Bukit Asam, Indonesia  
<sup>1</sup>triana.prihatin@akipba.ac.id, <sup>2</sup>adisolihin007@gmail.com

**Penulis Korespondensi:** Triana Prihatin | **Email:** triana.prihatin@akipba.ac.id

Diterima (*Received*): 23/05/2025 Direvisi (*Revised*): 27/05/2025 Diterima untuk Publikasi (*Accepted*): 27/05/2025

### **ABSTRAK**

Fenomena *melting* pada sistem boiler Circulating Fluidized Bed (CFB) di PLTU 3X10 MW PT. BEST Tanjung Enim merupakan masalah penting yang mampu mempengaruhi performa dan keberlangsungan operasional unit pembangkit listrik. Kejadian ini umumnya disebabkan oleh suhu operasional yang melebihi batas kritis, di mana material pasir silika maupun fly ash dari pembakaran batubara mengalami perubahan keadaan dari padat menjadi cair, akibat suhu tinggi yang tidak dikendalikan secara optimal. Faktor penyebab meliputi ukuran bahan bakar yang tidak sesuai dengan spesifikasi, penyumbatan nozzle furnace, serta proses pembakaran yang tidak sempurna. Dampak langsung dari *melting* mencakup gangguan proses fluidisasi, peningkatan tekanan, kebuntuan jalur drain abu, serta potensi kerusakan komponen furnace yang jika tidak ditangani secara tepat dapat menurunkan efisiensi dan mengganggu kelangsungan operasional unit. Oleh karena itu, pengendalian parameter proses seperti suhu dan tekanan serta penerapan langkah preventif sangat diperlukan untuk memitigasi kejadian *melting* dalam sistem boiler CFB.

**Kata Kunci:** *melting*, boiler, pembakaran, temperatur tinggi.

### **ABSTRACT**

The phenomenon of *melting* in the Circulating Fluidized Bed (CFB) boiler system at PT. BEST Tanjung Enim Power Plant 3X10 MW represents a critical issue that can significantly impact the performance and operational continuity of the power generation unit. This occurrence is primarily caused by operational temperatures exceeding critical thresholds, where silica sand and fly ash resulting from coal combustion undergo a phase change from solid to liquid due to uncontrolled high temperatures. Contributing factors include improper fuel particle size not aligned with specifications, nozzle blockages within the furnace, and incomplete combustion processes. The direct consequences of *melting* include disruption of fluidization, increased pressure, blockage of ash drainage pathways, and potential damage to furnace components, which, if unmanaged, can reduce efficiency and threaten the sustainability of unit operation. Therefore, meticulous control of process parameters such as temperature and pressure, along with preventive measures, is essential to mitigate *melting* incidents in CFB boiler systems.

**Keywords:** *melting*, boiler, combustion, high temperature.

© Author(s) 2025. This is an open-access article under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0).

## **1. Pendahuluan**

Sistem boiler Circulating Fluidized Bed (CFB) telah menjadi teknologi unggulan dalam pembakaran biomassa dan batubara karena kemampuannya untuk mengatasi variasi kualitas bahan bakar dan efisiensi termal yang tinggi. Namun, seiring dengan perkembangan penggunaannya, muncul tantangan teknis terkait dengan perilaku abu dan proses peleburan (*melting*) dalam bed material. Fenomena ini dapat mempengaruhi stabilitas operasional dan umur peralatan boiler.

Proses peleburan dalam sistem CFB terjadi ketika suhu tinggi dan komposisi kimia abu menyebabkan terbentuknya fasa cair pada suhu yang lebih rendah dari titik lebur material aslinya. Hal ini sering terjadi pada pembakaran biomassa yang mengandung kalium (K), kalsium (Ca), dan belerang (S) dalam jumlah tinggi. Sebagai contoh, penelitian menunjukkan bahwa pada suhu bed 920°C, pembentukan senyawa eutektik Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-CaSO<sub>4</sub> dapat terjadi, yang berkontribusi pada pembentukan slag yang sulit dihilangkan dari permukaan pemanas (Liu et al.,

2018). Selain itu, interaksi antara unsur-unsur seperti K, Na, dan Cl dalam abu dapat membentuk senyawa dengan titik lebur rendah, yang meningkatkan viskositas abu dan menyebabkan pengagregatan partikel dalam bed. Proses ini dapat mengarah pada de-fluidisasi, penurunan efisiensi perpindahan panas, dan bahkan kerusakan mekanis pada komponen boiler (Shao et al., 2012).

Sebuah studi kasus pada PLTU 50 MW di China menunjukkan bahwa penggunaan batu bara dengan kandungan abu tinggi dan nilai kalor rendah menyebabkan peningkatan suhu tungku (Yang et al., 2018). Hal ini mengakibatkan penumpukan abu dengan titik leleh rendah pada permukaan pipa yang meningkatkan stress termal dan korosi pada lapisan oksida.

Boiler *Circulating Fluidized Bed* (CFB) telah menjadi salah satu teknologi pembakaran yang paling efisien dan ramah lingkungan untuk pembangkitan listrik dan proses termal industri. Teknologi ini menawarkan keunggulan dalam efisiensi pembakaran, fleksibilitas bahan bakar, serta pengendalian emisi NO<sub>x</sub> dan SO<sub>x</sub> yang lebih baik dibandingkan sistem pembakaran konvensional (Liu et al., 2017). Salah satu tantangan utama dalam pengoperasian boiler CFB adalah fenomena peleburan (*melting*) material abu dan dampaknya terhadap sistem, terutama pada efisiensi perpindahan panas dan keandalan material tahan api.

Perpindahan panas dalam boiler CFB sangat dipengaruhi oleh suhu tungku dan distribusi partikel padat. Koefisien perpindahan panas di sisi air dilaporkan meningkat tajam dari 8.600 W/m<sup>2</sup>·K hingga 31.000 W/m<sup>2</sup>·K seiring bertambahnya ketinggian tungku, sedangkan di sisi api dapat menurun drastis dengan bertambahnya beban operasional (Liu et al., 2017). Distribusi fluks panas lokal sangat ditentukan oleh konfigurasi geometri tungku serta perbedaan suhu akibat variasi laju aliran udara dan bahan bakar (Zhang et al., 2015).

Dalam konteks operasional, fenomena *melting* atau peleburan abu yang tidak sempurna berpotensi menyebabkan fouling, slagging, dan bahkan penurunan efisiensi perpindahan panas di dalam tungku. Kejadian ini diperburuk oleh akumulasi material lengket pada permukaan pipa dan dinding tungku, yang pada akhirnya dapat menyebabkan overheating serta penurunan umur pakai sistem (Wu et al., 2020).

Material tahan api di dalam boiler CFB, seperti bata isolasi dan *castable refractory*, juga mengalami degradasi akibat siklus termal dan abrasi oleh partikel padat. Beberapa area seperti sudut tungku, separator, dan saluran pengembalian material teridentifikasi sebagai titik rawan aus (RS Refractory Group, 2020). Penggunaan material dengan konduktivitas termal tinggi dapat mempercepat respon termal sistem, namun juga rentan terhadap shock termal dan penetrasi bahan korosif seperti logam alkali (Zhao et al., 2019).

Studi eksperimental dan simulasi numerik telah menunjukkan bahwa variasi kecepatan udara dan suhu operasi memiliki pengaruh signifikan terhadap pola aliran partikel, erosi, dan distribusi suhu (Utomo, 2023). Selain itu, variasi dalam aliran udara atau air umpan sebesar ±5% dapat menyebabkan perubahan suhu yang cukup besar, yang berimbas pada efisiensi pembangkitan uap dan kebutuhan atemperasi (Li et al., 2022). Fenomena *melting* (pencairan) pada sistem boiler CFB seringkali juga terkait dengan kegagalan material akibat suhu tinggi dan interaksi dengan material bed. Studi oleh Zhou et al. (2023) menyelidiki transformasi denitrasi pada boiler CFB yang membakar batu bara antrasit Fujian. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa kondisi operasi tertentu dapat mempengaruhi efisiensi denitrasi dan emisi NO<sub>x</sub>, yang penting untuk pengoperasian boiler CFB secara optimal.

Peningkatan suhu operasi, meskipun meningkatkan efisiensi desulfurisasi dan menurunkan kandungan karbon dalam abu, juga memperbesar risiko *melting* pada abu dengan titik leleh rendah. Untuk boiler berkapasitas menengah hingga besar (75–440 t/h), kisaran suhu operasi optimal berkisar antara 950°C hingga 980°C (Chen et al., 2013). Selain itu, *melting* di CFB yang terjadi saat suhu tinggi menyebabkan abu dan mineral batu bara mencair, membentuk slag yang dapat mengganggu efisiensi dan menyebabkan kerusakan (Onifade et al., 2023). Memahami suhu leleh penting untuk mengendalikan proses dan mencegah masalah operasi.

Oleh karena itu, pemahaman yang komprehensif terhadap karakteristik *melting* dan interaksinya dengan variabel operasi sangat penting untuk optimalisasi desain dan operasional sistem CFB. Dengan merujuk pada berbagai studi ilmiah terkini, diharapkan dapat ditemukan pendekatan yang efektif untuk meningkatkan daya tahan dan efisiensi keseluruhan boiler CFB.

Untuk mengatasi masalah ini, berbagai pendekatan telah dikembangkan, termasuk penggunaan aditif seperti kaolin untuk mengikat logam alkali dan meningkatkan titik lebur abu. Penelitian menunjukkan bahwa penambahan kaolin dapat mengubah struktur abu dari padat menjadi lebih longgar, mengurangi kecenderungan pembentukan lapisan dalam yang lengket pada suhu tinggi (Liu et al., 2018). Meskipun demikian, tantangan utama dalam pengelolaan fenomena *melting* adalah kurangnya pemahaman yang komprehensif tentang dinamika pembentukan deposit abu pada berbagai kondisi operasional. Studi-studi sebelumnya sebagian besar berfokus pada analisis deposit yang telah terbentuk, sehingga informasi mengenai proses pembentukan deposit secara real-time masih terbatas. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memahami mekanisme deposisi abu dan pengaruhnya terhadap kinerja sistem boiler CFB secara menyeluruh (Zhang et al., 2020).

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) 3x10 MW Bukit Energi Servis Terpadu (PT. BEST) Tanjung Enim yang terletak di Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan, merupakan salah satu unit pembangkit strategis milik PT. Bukit Asam Tbk. PLTU ini beroperasi dengan kapasitas 3x10 MW dan menggunakan teknologi Circulating Fluidized Bed (CFB), sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 1, untuk membakar batubara berkalori rendah dengan rentang 4.200-6.000 kcal/kg (PT. BEST, 2019). Sumber pasokan batubara berasal dari tambang Banko Barat yang berjarak sekitar 5-kilometer dari lokasi pembangkit.



Gambar 1. Boiler CFB System di PLTU 3x10 MW PT. BEST Tanjung Enim

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan listrik di wilayah Sumatera, PLTU 3x10 MW PT. BEST Tanjung Enim berperan penting dalam mendukung ketahanan energi nasional. Namun, dalam operasionalnya, PLTU ini menghadapi tantangan teknis, salah satunya adalah fenomena *melting* pada sistem pembakaran, yang dapat mempengaruhi efisiensi dan keandalan operasional. Fenomena *melting* ini terjadi ketika suhu tinggi dalam boiler menyebabkan pelelehan material pembakaran, yang berpotensi merusak komponen dan menurunkan performa mesin.

Fenomena *melting* di PLTU 3x10 MW PT. BEST Tanjung Enim menjadi perhatian utama, mengingat dampaknya terhadap efisiensi pembakaran dan umur peralatan. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab, ciri-ciri dan indikasi *melting*, dampak, serta upaya penanganan terhadap fenomena *melting* di PLTU 3x10 MW PT. BEST Tanjung Enim, guna meningkatkan kinerja dan keberlanjutan operasional pembangkit.

## 2. Metodologi

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan analisis langsung terhadap fenomena

*melting* pada sistem boiler CFB di PLTU 3x10 MW PT. BEST Tanjung Enim. Data diperoleh melalui observasi langsung selama proses operasi dan analisis sistematis terhadap kondisi yang menyebabkan terjadinya *melting*.

Material yang digunakan dalam penelitian ini meliputi batubara, pasir silika, solar, dan udara sekitar sesuai dengan bahan bakar dan input proses di boiler tersebut. Data dikumpulkan melalui pengamatan lapangan selama siklus operasional, dengan fokus pada identifikasi faktor-faktor yang memicu *melting* seperti fluktuasi suhu, variasi tekanan, dan tanda-tanda fisik penumpukan material. Instrumen yang digunakan meliputi alat pengukur suhu dan tekanan secara real-time, serta inspeksi visual dan penilaian manual saat dilakukan pemeliharaan rutin dan saat unit dalam kondisi berhenti operasi. Data yang terkumpul dianalisis untuk mengetahui hubungan antara parameter operasional dan kejadian *melting*.

Selain itu, dilakukan kajian terhadap kondisi proses, sifat bahan bakar (ukuran partikel, komposisi, energi kalorinya), dan performa peralatan untuk mengidentifikasi faktor penyebab utama. Penelitian juga meninjau prosedur operasional serta strategi pengendalian yang diterapkan guna mengurangi risiko *melting*.

Tujuan dari metodologi ini adalah untuk menentukan titik-titik kontrol kritis dan langkah pencegahan yang dapat diterapkan untuk meningkatkan kestabilan proses dan mencegah terjadinya *melting*, sehingga dapat mengoptimalkan efisiensi dan umur panjang sistem boiler.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1 Penyebab Terjadinya *Melting*

Pada boiler CFB system pembakaran terjadi di dalam furnace dimana akan terdapat pasir sebagai tahap pembakaran awal hingga *temperature* mencapai kondisi sesuai ketentuan yang berlaku, kemudian batubara akan dijatuhkan dari *bunker* masuk ke dalam furnace dan akan dihembuskan udara dari bawah menggunakan PA FAN yang akan membantu menjaga batubara tetap melayang serta udara dari sisi kiri dan kanan Boiler menggunakan SA FAN agar dapat menjaga *temperature* pembakaran tetap stabil. Sistem pembakaran CFB pada boiler PLTU 3x10 MW BEST Tanjung Enim dapat dilihat pada Gambar 2.

*Melting* pada boiler CFB system di PLTU 3x10 MW PT. BEST Tanjung Enim, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 3, terjadi akibat kombinasi faktor-faktor operasional dan karakteristik bahan bakar yang tidak terkendali secara optimal. Fenomena ini dipicu oleh terjadinya akumulasi panas lokal dalam furnace, yang menyebabkan suhu operasi melebihi batas kritis sekitar 900°C, yaitu ambang di mana material anorganik seperti abu batubara dan pasir silika dapat mengalami fusi sebagian (*partial melting*). Lelehan ini bertindak sebagai perekat, menyatukan partikel-partikel padat lain seperti abu, pasir, dan bahan bakar tak terbakar, membentuk

lapisan keras (slag) di dinding furnace dan area distribusi udara. Bentuk *melting* diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Bentuk *Melting*

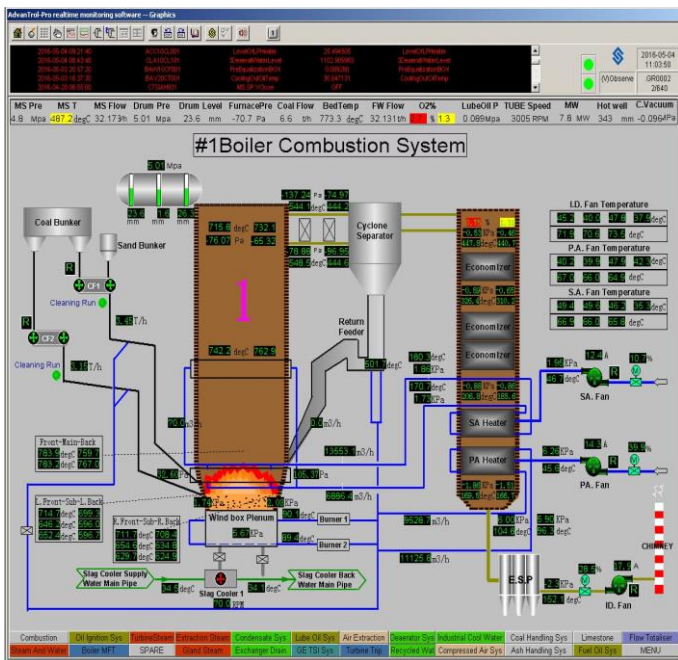
Beberapa penyebab utama suhu tinggi tersebut meliputi:

- 1) Pembakaran yang tidak sempurna, sering kali disebabkan oleh ukuran batubara yang terlalu besar (di atas 8 mm). Ukuran ini menyebabkan distribusi bahan bakar di dalam bed menjadi tidak merata, mengurangi efisiensi transfer panas dan mengganggu mekanisme bubbling, yang penting untuk pencampuran dan fluidisasi. Akibatnya, area panas lokal dapat terbentuk karena reaksi pembakaran tidak merata. Adapun spesifikasi batubara yang digunakan PLTU 3X10 MW PT. BEST Tanjung Enim sebagaimana pada Tabel 1.

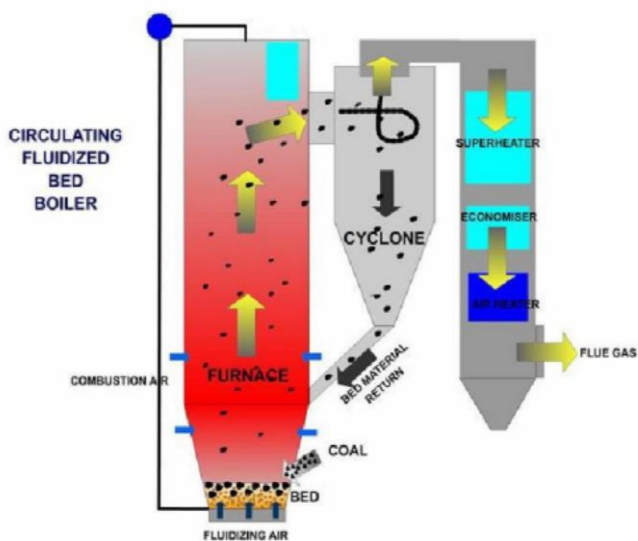
Tabel 1. Spesifikasi Batubara

Jenis Batubara	Titik Leleh
Subbituminus	1000-1200 °C
Bituminus	1201-1499 °C

- 2) Penyumbatan nozzle distribusi udara di dasar furnace, yang dapat disebabkan oleh akumulasi partikel halus seperti abu mikron (<75 µm) atau pasir silika halus. Material halus ini dapat menumpuk dan terbawa aliran udara, masuk dan menyumbat nozzle, yang menyebabkan penurunan tekanan udara primer (primary air). Hal ini mengganggu aliran udara bawah (underbed air), yang merupakan kunci pembentukan fluidisasi sempurna, serta menyebabkan penurunan kecepatan gas (superficial velocity), dan akhirnya berkontribusi pada peningkatan suhu lokal. Adapun spesifikasi pasir silika yang digunakan adalah:
  - Ukuran : 0.6 – 1 mm
  - Berat jenis pasir : 1200 – 1750 kg/m<sup>3</sup>



Gambar 2. Sistem Pembakaran di Boiler CFB System di PLTU 3x10 MW PT. BEST Tanjung Enim



Gambar 3. Ilustrasi Diagram Alir Penyebab terjadinya *Melting* di CFB Boiler

- 3) Karakteristik bahan bakar, yakni batubara jenis sub-bituminous hingga bituminous dengan nilai kalor sedang (sekitar 4500–5800 kcal/kg), cenderung memiliki kandungan volatile matter tinggi dan abu dengan titik leleh rendah. Jika tidak dikombinasikan dengan kontrol suhu yang ketat, jenis batubara ini dapat mempercepat pembentukan slag, terutama dalam lingkungan CFB yang memiliki suhu operasi lebih seragam namun rentan terhadap hot spots saat distribusi bahan bakar atau udara tidak optimal.
- 4) Ukuran pasir silika yang terlalu halus (sekitar 0.6–1 mm) juga berperan penting. Partikel yang terlalu kecil lebih mudah terbawa aliran gas naik (entrainment), mengurangi massa bed, dan menyebabkan ketidakseimbangan termal serta fluktuasi suhu lokal. Selain itu, pasir halus lebih reaktif terhadap abu batubara dan dapat mempercepat pembentukan aglomerasi.

Keseluruhan faktor ini bersinergi membentuk kondisi yang memicu *slagging/melting*, menurunkan efisiensi pembakaran, merusak peralatan (seperti nozzle dan dinding furnace), serta meningkatkan risiko *unplanned shutdown*.

### 3.2 Ciri-ciri Terjadinya *Melting*

Deteksi awal terjadinya *melting* atau *slagging* dalam sistem *Circulating Fluidized Bed (CFB)* sangat penting untuk mencegah kerusakan sistem yang lebih luas serta menjaga stabilitas operasi. *Melting* biasanya diawali oleh penumpukan dan peleburan parsial abu atau pasir silika, yang membentuk kerak keras di area bawah (furnace) hingga menutup jalur distribusi udara dan drain. Ciri-ciri utama yang dapat diamati di lapangan meliputi:

- 1) Kebuntuan saat Proses Drain Pasir atau Abu  
Terjadi hambatan saat open valve drain dibuka untuk pembuangan pasir atau abu bed. Biasanya, material tidak mengalir normal akibat:
  - Pembentukan gumpalan (clinker) hasil lelehan yang telah memadat di jalur drain.
  - Lelehan terfiksasi pada permukaan dalam silo atau jalur pembuangan, menyumbat aliran material.
  - Diperlukan usaha ekstra (misalnya pemanasan ulang atau penggunaan alat mekanis) untuk meluruhkan material tersebut.
- 2) Tekanan Windbox Tinggi dan Meningkat Cepat  
Windbox adalah ruang distribusi udara primer (primary air) ke nozzle di bawah bed:
  - Kenaikan pressure drop secara drastis ( $\Delta P$  windbox) menandakan aliran udara terhambat.

- Sumbatan pada nozzle akibat slag atau akumulasi material halus menyebabkan udara tidak dapat melewati bed secara merata.
  - Sistem akan mendeteksi dan mencatat anomali ini sebagai sinyal peringatan pada DCS.
- 3) Sulitnya Mengontrol Suhu Bed (*Bed Temperature Instability*)
    - Terjadi fluktuasi ekstrem pada suhu bed, misalnya mendadak turun dari 870°C ke 750°C dalam waktu singkat.
    - Ini menunjukkan bahwa material leleh telah menghambat sirkulasi panas, atau bahkan menutupi area pembakaran aktif.
    - Distribusi panas menjadi tidak homogen, menyebabkan beberapa area terlalu panas (hot spots) sementara yang lain mendingin cepat.
  - 4) Current Motor Primary Air Fan (PAF) Tinggi
    - Arus listrik motor meningkat akibat kenaikan beban mekanis, karena:
      - Udara sulit terdorong melewati bed yang tersumbat.
      - Tekanan balik dari windbox naik, dan kipas harus bekerja lebih keras.
    - Jika *melting* terus berlangsung, dapat menyebabkan trip akibat overload.
5. Campuran Batubara dan Abu saat Drain
    - Pada saat *ash drain*, masih ditemukan fragmen batubara yang belum terbakar sempurna tercampur dengan abu.
    - Ini merupakan indikasi bahwa:
      - Pembakaran tidak merata akibat gangguan bubbling atau stratifikasi lapisan.
      - Batubara terjebak dalam slag atau sinter, tidak ikut terbakar sempurna.
    - Kondisi ini dapat mempercepat kerusakan pada peralatan downstream, seperti *ash cooler* atau *slag extractor*.

### 3.3 Dampak *Melting* pada Unit Boiler

*Melting* memiliki dampak negatif yang signifikan terhadap performa dan keandalan sistem boiler, yaitu:

- 1) Mengganggu proses produksi uap yang masuk ke turbin, sehingga mengurangi jumlah dan kualitas steam yang dihasilkan. Hal ini berdampak pada menurunnya efisiensi turbin dan kerusakan pada sudu-sudu turbin akibat steam yang tidak sesuai.
- 2) Menyebabkan kebuntuan pada lubang drain, menghambat proses pembuangan abu, dan memerlukan perlakuan khusus untuk membersihkan berbagai bagian yang tersumbat.
- 3) Menurunnya suhu furnace secara bertahap karena penumpukan yang menghambat proses pembakaran dan menyebabkan suhu di dalam furnace tidak stabil.

Kondisi ini memaksa unit harus dihentikan sementara untuk dilakukan pembersihan, yang berpotensi menimbulkan downtime dan kerusakan lebih lanjut.

- 4) Terjadinya kerusakan pada bagian-bagian penting unit seperti valve dan nozzle akibat kontak langsung dengan lelehan material yang keras dan lengket, mengakibatkan biaya perbaikan tinggi dan gangguan operasional yang serius.

### 3.4 Strategi Penanganan *Melting*

Penanganan *melting* dilakukan melalui beberapa cara mitigasi operasional sebagai berikut:

- Drain pada saat tekanan di windbox melebihi batas normal 5.5 – 6 KPa, bertujuan mengurangi tekanan dan suhu di dalam furnace agar tidak mencapai batas kritis yang menyebabkan lelehan.
- Pengaturan suhu bed agar tidak melebihi 900°C dengan mengontrol pasokan batubara dari coal bunker melalui coal feeder. Pengaturan ini dilakukan dengan memperlambat ataupun membatasi jumlah batubara yang masuk ke furnace, sehingga suhu tetap terkendali dan risiko *melting* diminimalkan.

### 3.5 Analisis Proses Pembakaran dan Faktor Penyebab Utama

Proses pembakaran yang tidak sempurna menjadi faktor utama terjadinya *melting*. Penyebab utama meliputi:

- Ukuran batubara yang tidak sesuai standar sehingga proses bubbling terganggu, menyebabkan proses fluidisasi tidak optimal dan pengendapan material yang menyebabkan kenaikan suhu berlebih.
- Penyumbatan nozzle oleh penumpukan residu, yang menyebabkan distribusi udara tidak merata dan panas terakumulasi di area tertentu, meningkatkan risiko lelehan material.
- Sifat partikulat yang halus dan besar dari bahan bakar dan pasir sangat mempengaruhi proses pembakaran dan potensi terjadinya *melting*, jika operasinya tidak dikontrol dengan ketat.

Dengan demikian, pengaruh *melting* terhadap sistem cukup signifikan, terutama mengganggu kelancaran proses pembakaran yang menyebabkan penurunan efisiensi produksi uap dan gangguan operasional turbin, akibat steam yang dihasilkan menjadi tidak optimal dan bahkan mengandung kelembaban yang tinggi. Selain itu, *melting* dapat menyebabkan penyumbatan pada lubang drain, sehingga proses pembuangan abu terganggu dan berisiko menyebabkan kerusakan struktural pada bagian furnace. Upaya penanganan yang dilakukan dengan melakukan pengaturan pressure di windbox serta pengendalian suhu di atas bed agar tetap di bawah batas maksimum 900°C.

Langkah-langkah lain termasuk drain pada saat pressure windbox telah mencapai standar dan penyesuaian aliran bahan bakar untuk menjaga suhu agar tidak meningkat secara berlebihan. Pencegahan ini penting untuk meminimalisasi terjadinya *melting* dan memastikan keberlangsungan operasional unit boiler. Pengawasan dan penanganan secara tepat waktu sangat diperlukan untuk mengurangi risiko kerusakan yang lebih serius.

## 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa fenomena *melting* pada unit boiler sistem *Circulating Fluidized Bed* disebabkan oleh faktor-faktor yang meliputi ukuran bahan bakar yang tidak sesuai, penyumbatan pada nozzle furnace, serta ketidakseimbangan proses pembakaran yang menyebabkan suhu di dalam furnace mencapai nilai di atas batas kritis, terutama 900°C. Kejadian *melting* ini berpotensi menimbulkan dampak negatif, seperti gangguan proses pembakaran, penurunan efisiensi operasi, serta risiko kerusakan struktural pada sistem furnace. Oleh karena itu, penanganan yang tepat dan langkah-langkah pencegahan, seperti pengaturan tekanan dan suhu operasional, serta pengendalian aliran bahan bakar, sangat penting untuk memastikan kestabilan proses boiler dan mengurangi potensi kerusakan. Pengawasan secara kontinu dan tindakan preventif merupakan hal krusial guna menjamin keberlanjutan operasional dan optimalisasi kinerja unit boiler dalam sistem PLTU berbasis CFB.

## 5. Referensi

- Liu, Y., Cheng, L., Ji, J., Wang, Q., & Fang, M. (2018). Ash deposition behavior of a high-alkali coal in circulating fluidized bed combustion at different bed temperatures and the effect of kaolin. *RSC Advances*, 8(59), 33817–33827. <https://doi.org/10.1039/C8RA05997G>
- Shao, Y., Wang, J., Preto, F., Zhu, J., & Xu, C. (2012). Ash deposition in biomass combustion or co-firing for power/heat generation. *Energies*, 5(12), 5171–5189. <https://doi.org/10.3390/en5125171>
- Yang, G., Gou, Y., Liu, X., Zhang, X., & Zhang, T. (2018). Failure analysis of the corroded water wall tube in a 50 MW thermal power plant. *High Temperature Materials and Processes*, 37(9–10), 995–999. <https://doi.org/10.1515/htmp-2017-0133>
- Liu, J., Zhao, J., Wang, Q., Duan, L., Zhang, C., & Sun, L. (2017). Investigation on the heat transfer characteristics of a 600 MWe supercritical CFB boiler. *Energy & Fuels*, 31(12), 13877–13886. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.7b02815>
- Zhang, M., Zhao, W., Liu, J., & Zhang, H. (2015). Heat flux distribution in the furnace of a 300 MWe CFB boiler. *Applied Thermal Engineering*, 75, 523–532.

- Wu, H., Dong, L., & Zhang, L. (2020). Study on the slagging characteristics and influencing factors of high alkali coal in CFB. *Fuel*, 259, 116232.
- RS Refractory Group. (2020). Analysis of the wear-prone parts and wear mechanism of circulating fluidized bed boiler lining. <https://www.rsrefractorygroup.com/analysis-of-the-wear-prone-parts-and-wear-mechanism-of-circulating-fluidized-bed-boiler-lining>
- Zhao, Y., Feng, B., & He, Z. (2019). Chemical corrosion and erosion behavior of refractory materials in CFB boilers. *Progress in Green Technology*, 5(3), 45–52. <https://www.pgtjournal.com/EN/abstract/abstract731.shtml>
- Utomo, S. W. (2023). Simulasi CFD distribusi kecepatan dan temperatur pada boiler CFB. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 3(2), 101–108. <https://unsada.e-journal.id/jst/article/view/235>
- Li, J., Zhang, Y., Wei, J., Song, H., Sun, H., & Li, Y. (2022). The effect of control parameters on thermal behavior in supercritical CFB boilers. *Energies*, 15(11), 4049. <https://doi.org/10.3390/en15114049>
- Zhou, W., He, H., & Zhuang, H. (2023). Experimental study on denitration transformation of CFB boiler burning Fujian anthracite. *Energies*, 16(25), 2535. <https://doi.org/10.3390/en16062535>
- Chen, Y., Zhu, J., Wang, H., & Zhang, J. (2013). Optimal operating temperature of large CFB boilers based on combustion efficiency and environmental impact. *Advanced Materials Research*, 732–733, 291–295. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.732-733.291>
- Onifade, M., Lawal, A. I., Bada, S. O., & Shivute, A. P. (2023). Effects of proximate analysis on coal ash fusion temperatures: An application of artificial neural network. *ACS Omega*, 8, 39080–39095. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c04113>
- Zhang, H., Yu, C., Luo, Z., & Li, Y. (2020). Investigation of ash deposition dynamic process in an industrial biomass CFB boiler burning high-alkali and low-chlorine fuel. *Energies*, 13(5), 1092. <https://doi.org/10.3390/en13051092>
- PT. BEST. (2019). Tentang Perusahaan. Tersedia: <https://bestpower1.co.id/tentang-perusahaan/>