

## BAB V

### PEMBAHASAN

Kegiatan penelitian tugas akhir ini dilaksanakan di PT Anindya Wiraputra Konsult, Banjarbaru - Kalimantan Selatan, merupakan penentuan kuantitas dan kualitas pada batubara sebagai acuan standar yang diterapkan berdasarkan ASTM / ISO pada umumnya, sehingga perusahaan tersebut dapat mengeluarkan sertifikat kuantitas ataupun kualitas batubara yang layak dipergunakan ataupun dimanfaatkan dengan kebutuhan tertentu. Kuantitas serta kualitas tersebut dimuat dengan sejumlah analisis batubara yang dilakukan meliputi *general analysis (moisture, ash, volatile matter, fixed carbon, calorific value)*, analisis ultimat (*Carbon, nitrogen, hidrogen*) analisis khusus meliputi *Ash analysis, Ash fusion temperature*.

Khusus pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui komposisi *ash* batubara terhadap *ash fusion temperature* ataupun faktor *slagging and fouling*, berdasarkan metode evaluasi *Babcock and Wilcox* serta mengetahui karakteristik residu batubara pada pembakaran *furnace* dengan analisis-*analisis* yang telah dilakukan sebelumnya.

#### 5.1 Analisis Proksimat

Analisis ini untuk mengetahui nilai *moisture, ash, volatile matter*, dan *fixed carbon*. Penilaian ini merupakan hal yang penting diperhatikan berdasarkan standar kriteria bahan bakar menurut *Babcock and Wilcox*, tujuan standar kriteria agar pembakaran batubara yang dihasilkan berupa pembakaran batubara sempurna seperti pada tabel 3.5. Berikut nilai hasil pengujian pada 5 sampel batubara

didapatkan, rata-rata *inherent moisture* 17,3%, rata-rata *Ash* 2,85%, rata-rata *volatile matter* 41%, dan rata-rata *fixed carbon* 38,9%.

## 5.2 Analisis Ultimat

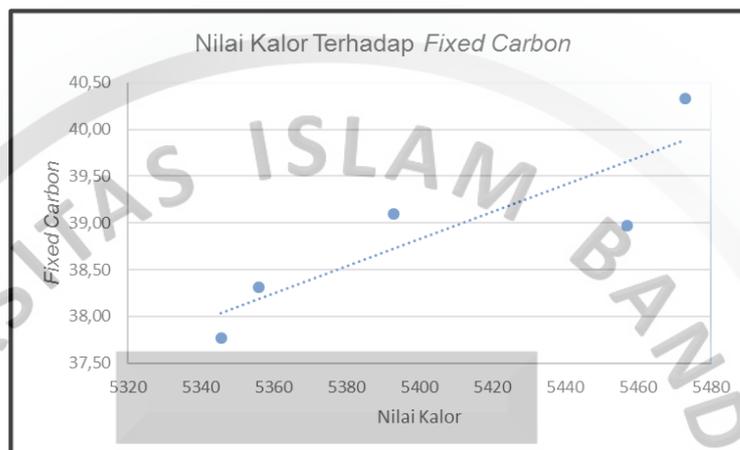
Analisis ultimat yang dilakukan ini untuk mengetahui komposisi organik pada batubara berupa senyawa kimia karbon, hidrogen, nitrogen, dan sulfur. Permasalahan yang penting adalah unsur nitrogen serta unsur sulfur pada batubara tersebut sebagai penggunaan bahan bakar, dimana nilai ambang batas unsur nitrogen <1,1% serta sulfur <1,0% (Arbie Yakub, Pengambilan preparasi, dan pengujian contoh batubara). Kadar nitrogen yang tinggi pada nitrogen ini memicu untuk pembentuk NOx sebagai pencemaran udara, begitupula dengan unsur sulfur yang berakumulasi dengan uap air sisa pembakaran akan menghasilkan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, seperti diketahui asam sulfat dapat menyebabkan korosi, sementara untuk hasil pengamatan pada tabel 4.2 didapatkan nilai rata-rata sulfur 0,15%, untuk rata-rata karbon 57,8%, hidrogen 4,24%, dan nitrogen 0,95%, yang memiliki nilai dibawah ambang batas sulfur dan nitrogen.

## 5.3 Nilai Kalor

Sejumlah energi yang dihasilkan pada batubara hasil pengamatan ini rata-rata senilai 5405 kcal/kg pada kondisi adb tabel 4.2. Batubara yang digunakan sebagai bahan bakar standarnya yang memiliki *range* 5736 – 5975 kcal/kg pada kondisi adb (Arbie Yakub, Pengambilan, preparasi, dan pengujian contoh batubara) untuk nilai *gross calorific value*. Spesifikasi batubara yang diteliti termasuk pada kriteria spesifikasi PLTU di Banten dengan nilai kalor 3895,8 – 4701,2 kcal/kg kondisi adb, dan pengamatan didapatkan range 5346 – 5473 kcal/kg.

### 5.3.1 Nilai Kalor Terhadap *Fixed Carbon*

Secara teoritis nilai kalor batubara dipengaruhi nilai *fixed carbon*, semakin besar nilai kandungan *fixed carbon* maka semakin bisa peningkatan nilai kalor pada batubara, berikut gambar hubungan *fixed carbon* terhadap nilai kalor batubara.

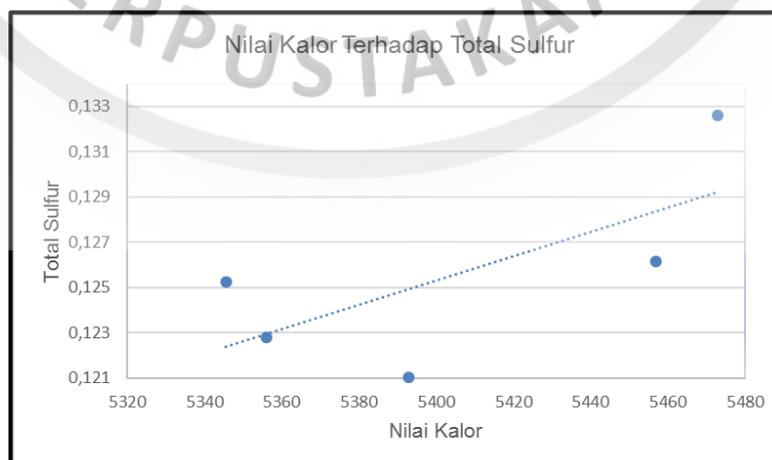


Sumber : Hasil Pengamatan Tugas Akhir PT Anindya Wiraputra Konsult, 2019

**Gambar 5.1**  
Hubungan Nilai Kalor Terhadap *Fixed Carbon*

### 5.3.2 Nilai Kalor Terhadap Total Sulfur

Hubungan nilai kalor terhadap total sulfur ini menentukan pengaruh nilai kalor terhadap potensi terjadinya *slagging*, karena diketahui apabila nilai total sulfur mengalami kenaikan potensi *slagging* akan semakin mungkin terjadi. penelitian terdahulu Nur, Windu, Harjuni Hubungan Total Sulfur terhadap GCV, 2019.



Sumber : Hasil Pengamatan Tugas Akhir PT Anindya Wiraputra Konsult, 2019

**Gambar 5.2**  
Hubungan Nilai Kalor Terhadap Total Sulfur

#### 5.4 **Ash Fusion Temperature**

Pengujian ini digunakan untuk mengetahui pengaruh komposisi *ash* batubara terhadap *ash fusion temperature* batubara dengan kenaikan temperatur secara bertahap, pengamatan ini dilakukan pada kelima sampel (Tabel 4.4) pada kondisi reduksi secara simplo. Pada kondisi reduksi ini sampel berdasarkan empat profil perubahan profil *ash* *Initial deformation* (DT), *Spherical* (ST), *Hemispherical* (HT), *Flow* (FT). Dari sejumlah pengamatan tersebut temperatur terendah pada perubahan DT (*Initial Deformation*) – FT (*Flow Deformation*) 1205-1281°C, pada sampel 5 dan tertinggi pada *temperature* 1294 – 1351°C pada sampel 4. *Ash fusion* terendah merupakan salah satu kemungkinan akan terjadinya potensi *slagging*. Menurut (Arbie Yakub, Pengambilan, preparasi, dan pengujian contoh batubara) standar pengujian *ash fusion temperature* haruslah >1200°C.

#### 5.5 **Kajian Slagging dan Fouling Berdasarkan Babcock dan Wilcox**

Kajian ini memperkirakan besar ataupun kecilnya kemungkinan potensi *slagging* dan *fouling* menurut metode evaluasi *Babcock* dan *Wilcox* yang dikaji berdasarkan tipe *ash* batubara, dari persentase senyawa basa berbanding dengan asam yang sudah dijelaskan pada sub-bab 4.4 terkandung pada *ash*, dari 5 sampel ini dapat dilihat potensi *slagging* maupun *fouling* pada tabel 4.6

##### 5.5.1 **Kajian Slagging dan Fouling Sampel 1**

Berdasarkan nilai *ash* dari tabel 4.5 sampel 1 merupakan kondisi  $\text{CaO} + \text{MgO} < \text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $3,82\% + 9,30\% < 35,03\%$  maka nilai ini merupakan nilai *ash bituminous*, nilai komposisi *ash based acid ratio* ini termasuk pada kategori *severe* nilainya 1,1 pada tabel lampiran E.1. Kandungan  $\text{Na}_2\text{O}$  beserta  $\text{K}_2\text{O}$  akan membentuk senyawa dengan *ash fusion temperature* yang rendah, apabila terikat dengan unsur lain.

Kecenderungan ini akan mempengaruhi nilai *fouling* yang berdasarkan komposisi  $\text{Na}_2\text{O}$ , sehingga mempengaruhi penempelan *ash* pada dinding ruang bakar.

Keseimbangan unsur basa dan asam sangat mempengaruhi rasio. Sampel 1 ini termasuk kategori *slagging factor Low* dan kategori *fouling Medium* pada tabel lampiran E.1.

### 5.5.2 Kajian *Slagging* dan *Fouling* Sampel 2

Berdasarkan nilai *ash* dari tabel 4.5 sampel 2 merupakan kondisi  $\text{CaO} + \text{MgO} < \text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $4,71 \% + 10 \% < 29,06 \%$  maka nilai ini merupakan nilai *ash* batubara *bituminous*, nilai komposisi *ash based acid ratio* ini termasuk pada kategori *severe* nilainya 0,93 pada tabel lampiran E.2. Kandungan  $\text{Na}_2\text{O}$  beserta  $\text{K}_2\text{O}$  akan membentuk senyawa dengan *ash fusion temperature* yang rendah, apabila terikat dengan unsur lain. Kecenderungan ini akan mempengaruhi nilai *fouling* yang berdasarkan komposisi  $\text{Na}_2\text{O}$ , sehingga mempengaruhi penempelan *ash* pada dinding ruang bakar.

Berdasarkan metode evaluasi *Babcock and Wilcox* semakin rendah nilai *based acid ratio* maka potensi terjadinya *slagging* ataupun *fouling* akan semakin rendah. Keseimbangan unsur basa dan asam sangat mempengaruhi rasio. pada sampel 2 ini termasuk kategori *slagging factor Low* dan kategori *fouling Low*, pada tabel lampiran E.2.

### 5.5.3 Kajian *Slagging* dan *Fouling* Sampel 3

Berdasarkan nilai *ash* dari tabel 4.5 sampel 3 merupakan kondisi  $\text{CaO} + \text{MgO} < \text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $4,56 \% + 14,32 \% < 30,12 \%$  maka nilai ini merupakan nilai *ash* batubara *bituminous*, nilai komposisi *ash based acid ratio* ini termasuk pada kategori *severe* nilainya 1,15 pada tabel lampiran E.3. Menurut Metode evaluasi *Babcock and Wilcox* semakin rendah nilai *based acid ratio*, maka potensi terjadinya *slagging* ataupun

*fouling* semakin rendah. Pada sampel 3 ini termasuk kategori *slagging factor Low* dan kategori *fouling Low*, pada tabel lampiran E.3.

#### 5.5.4 Kajian *Slagging* dan *Fouling* Sampel 4

Berdasarkan nilai *ash* dari tabel 4.5 sampel 4 merupakan kondisi  $\text{CaO} + \text{MgO} < \text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $4,21 \% + 10,58 \% < 28,97 \%$  maka nilai ini merupakan nilai *ash* batubara *bituminous*, nilai komposisi *ash based acid ratio* ini termasuk pada kategori *severe* nilainya 0,91 pada tabel lampiran E.4. Menurut Metode evaluasi *Babcock and Wilcox* semakin rendah nilai *based acid ratio*, maka potensi terjadinya *slagging* ataupun *fouling* semakin rendah. Pada sampel 4 ini termasuk kategori *slagging factor Low* dan kategori *fouling Low*, pada tabel lampiran E.4.

#### 5.5.5 Kajian *Slagging* dan *Fouling* Sampel 5

Berdasarkan nilai *ash* dari tabel 4.5 sampel 5 merupakan kondisi  $\text{CaO} + \text{MgO} < \text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $4,57 \% + 8,59 \% < 30,38 \%$  maka nilai ini merupakan nilai *ash* batubara *bituminous*, nilai komposisi *ash based acid ratio* ini termasuk pada kategori *severe* nilainya 0,92 pada tabel lampiran E.5. Menurut Metode evaluasi *Babcock and Wilcox* semakin rendah nilai *based acid ratio*, maka potensi terjadinya *slagging* ataupun *fouling* semakin rendah. Pada sampel 5 ini termasuk kategori *slagging factor Low* dan kategori *fouling Low*, pada tabel lampiran E.5.

### 5.6 *Ash Analysis Terhadap Ash Fusion Temperature*

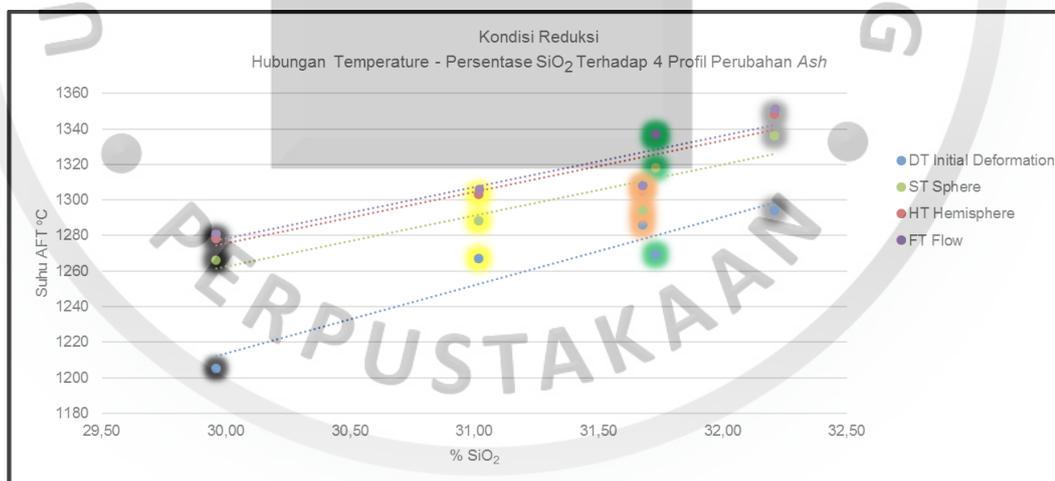
Pengujian *ash fusion temperature* yang didapat ini menunjukkan perubahan profil *ash* batubara ketika mengalami pemanasan pada *furnace* alat gambar 3.6, sebelum peleburan AFT dilakukan pengamatan *ash analysis* untuk mengetahui komposisi *ash*. Seperti diketahui *ash analysis* terdiri atas komposisi senyawa,  $\text{SiO}_2$  (Silika dioksida),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Besi oksida), Alumunium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), Magnesium oksida ( $\text{MgO}$ ), Kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ), Natrium oksida ( $\text{Na}_2\text{O}$ ), Kalium oksida ( $\text{K}_2\text{O}$ ),  $\text{MnO}_2$

(Mangan oksida),  $\text{TiO}_2$  (Titanium oksida),  $\text{SO}_3$  (Sulfit),  $\text{P}_2\text{O}_5$  (Difosforus pentaoksida), Beberapa senyawa *ash* batubara dapat mempengaruhi peningkatan suhu peleburan apabila persentase senyawa dominan seperti :  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ , berbeda dengan persentase senyawa dominan seperti :  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  kecenderungan menurunkan suhu lebur *ash*.

### 5.6.1 Hubungan Komposisi Ash Batubara Terhadap Suhu AFT

Hubungan komposisi *ash* batubara terhadap suhu peleburan bertujuan untuk mengetahui karakteristik perubahan profil berbanding dengan persentase komposisi suatu senyawa. Seperti pada gambar 5.3 menunjukkan 4 perubahan profil AFT terhadap kelima sampel pada saat peningkatan suhu dan persentase komposisi  $\text{SiO}_2$ , Kemudian dilanjut dengan senyawa lainnya seperti :  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  dan  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ .

#### 1. $\text{SiO}_2$ (Silika Dioksida)



Sumber : Hasil Pengamatan Tugas Akhir PT Anindya Wiraputra Konsult, 2019

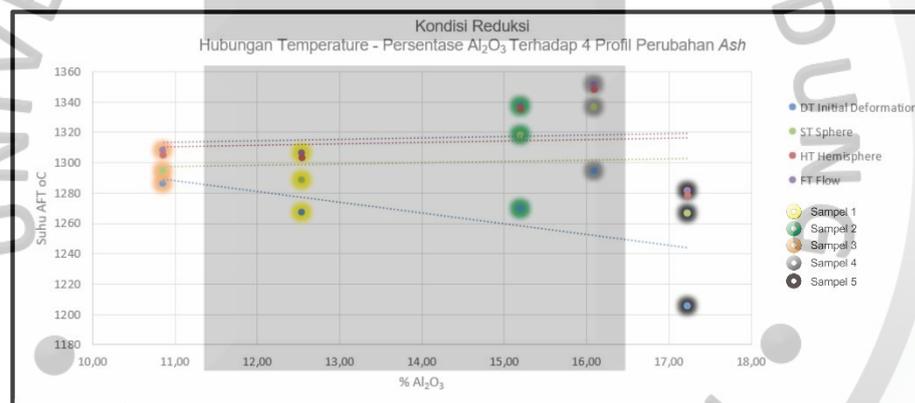
**Gambar 5.3**  
**Suhu Ash Fusion Temperature Terhadap  $\text{SiO}_2$**

Dari gambar tersebut dijelaskan bagaimana pengaruh komposisi  $\text{SiO}_2$  terhadap kenaikan perubahan temperatur *ash fusion temperature*, dari gambar 5.1 tersebut menjelaskan komposisi  $\text{SiO}_2$  yang semakin besar maka semakin tinggi perubahan profil *ash* itu terjadi, seperti diketahui Silika merupakan senyawa resisten

terhadap perubahan suhu. Sifat ini dapat menjadikan komposisi silika sebagai sifat yang sulit meleleh, berbanding terbalik jika dibandingkan dengan komposisi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Na}_2\text{O}$  lebih mudah meleleh sehingga berpotensi terjadinya *slagging* ataupun *fouling*.

## 2. $\text{Al}_2\text{O}_3$ (Alumunium Oksida)

Dari gambar 5.4 ini terlihat sejumlah komposisi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  terhadap 4 perubahan profil *ash*, dari perubahan tersebut dapat terlihat kenaikan tidak signifikan mengingat komposisi  $\%\text{Al}_2\text{O}_3$  yang berpotensi dapat meningkatkan titik leleh, akan tetapi jumlahnya jauh lebih sedikit dibandingkan dengan komposisi  $\%\text{SiO}_2$ . Pada sampel 5 di keempat profilnya dilihat adanya kecenderungan penurunan *temperature*.



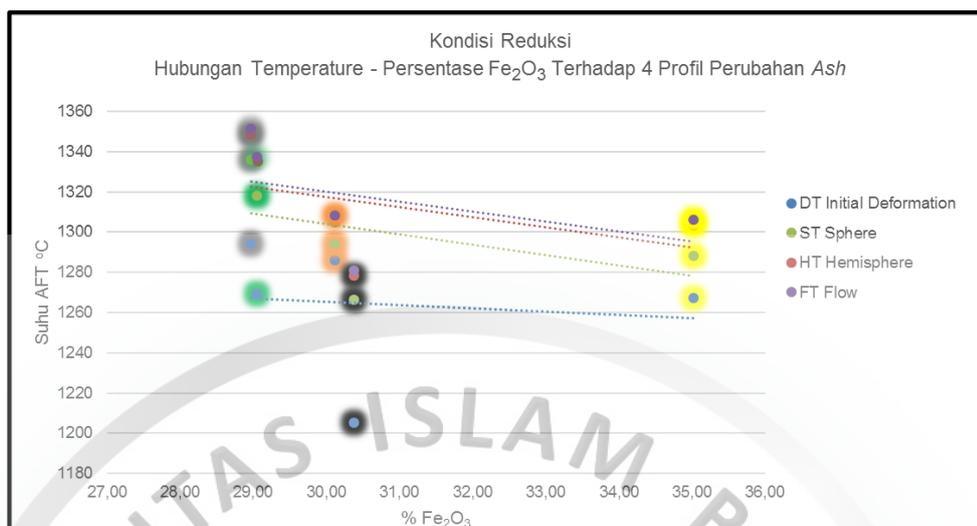
Sumber : Hasil Pengamatan Tugas Akhir PT Anindya Wiraputra Konsult, 2019

Gambar 5.4

Suhu Ash Fusion Temperature Terhadap  $\text{Al}_2\text{O}_3$

## 3. $\text{Fe}_2\text{O}_3$ (Besi Oksida)

Pada gambar 5.5 membuktikan adanya penurunan suhu *ash*, apabila komposisi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dalam jumlah banyak, berdasarkan penelitian *Babcock & Wilcox* komposisi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  sangat berperan terjadinya penurunan suhu *temperature* AFT, baik pada kondisi reduksi. Penurunan suhu *ash fusion temperature* dengan sejumlah komposisi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  akan kecenderungan terjadinya *slagging* atau *clinker*, karena meleburnya *ash* dengan komposisi  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .



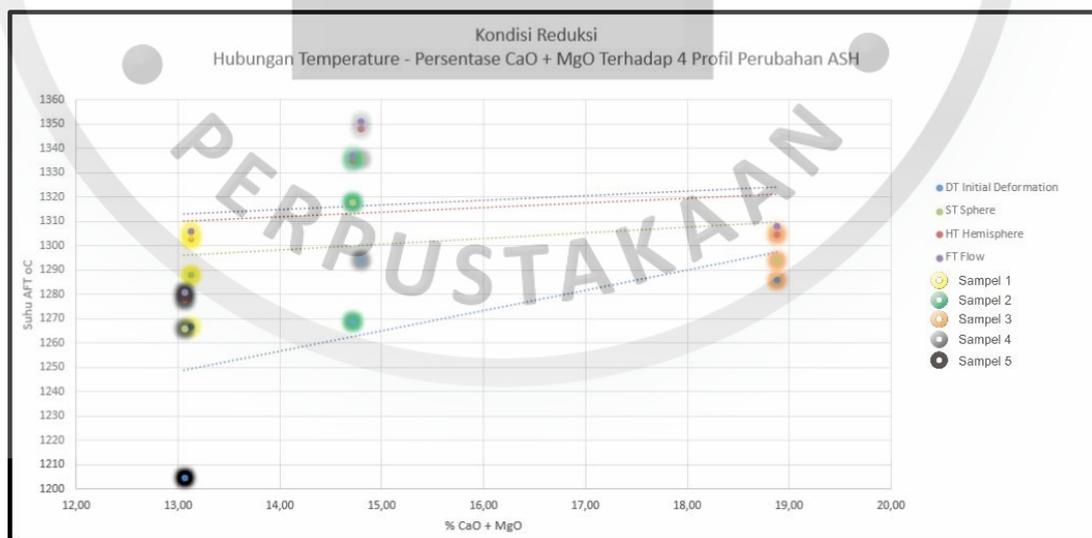
Sumber : Hasil Pengamatan Tugas Akhir PT Anindya Wiraputra Konsult, 2019

**Gambar 5.5**

**Suhu Ash Fusion Temperature Terhadap  $Fe_2O_3$**

#### 4. Cao dan MgO (Kalsium Oksida dan Magnesium Oksida)

Pada gambar 5.6 komposisi CaO ditambahkan dengan MgO, karena seringkali dijumpai dengan *ash* dolomit, berdasarkan penelitian *Babcock & Wilcox* CaO dan MgO merupakan faktor yang paling mempengaruhi kenaikan suhu *ash fusion temperature* dan *ash viscosity* apabila telah menjadi fasa lebur.



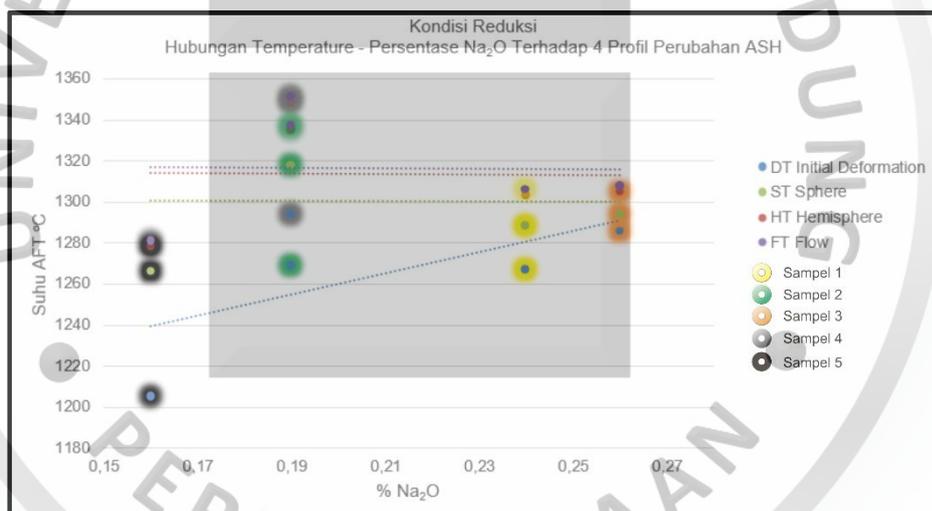
Sumber : Hasil Pengamatan Tugas Akhir PT Anindya Wiraputra Konsult, 2019

**Gambar 5.6**

**Suhu Ash Fusion Temperature Terhadap CaO dan MgO**

## 5. Na<sub>2</sub>O (Natrium Oksida)

Pada gambar 5.7 menunjukkan tidak ada penurunan ataupun kenaikan suhu secara signifikan pada sampel profil ST, HT, FT, namun kenaikan pada profil DT apabila ditarik lurus dengan regresi linear. Hal ini kemungkinan diakibatkan dari distribusi Na<sub>2</sub>O yang dinilai sangat rendah dibandingkan komposisi *ash* lainnya, untuk nilai rata-rata Na<sub>2</sub>O dari ke-5 sampel 0,23%. Berdasarkan spesifikasi PLTU PLN menjelaskan komposisi Na<sub>2</sub>O diharapkan tidak melebihi nilai dari 4,12% (PT PLN, PLTU Banten) untuk mencegah terjadinya *fouling*, karena diketahui Na<sub>2</sub>O merupakan komposisi *ash* yang mengakibatkan *fouling*.



Sumber : Hasil Pengamatan Tugas Akhir PT Anindya Wiraputra Konsult, 2019

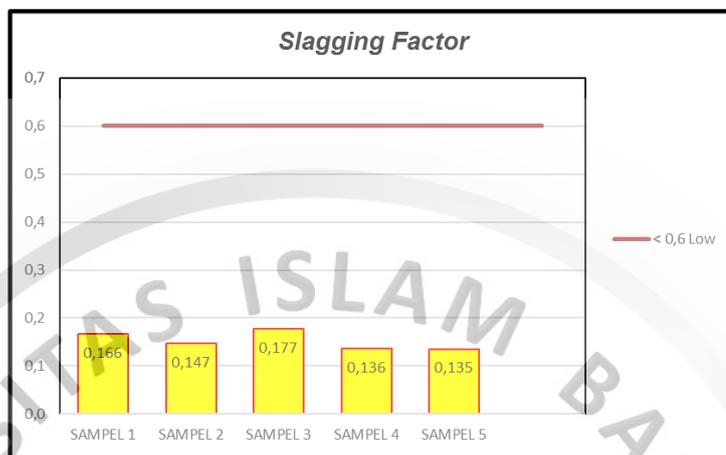
**Gambar 5.7**  
Suhu Ash Fusion Temperature Terhadap Na<sub>2</sub>O

### 5.6.2 Slagging and Fouling Terhadap Lima Sampel

#### 1. Slagging Factor

Pada gambar 5.8 ini dijelaskan dari ke-5 sampel ini memiliki nilai rata-rata faktor *slagging* 0,16, nilai tersebut merupakan nilai berdasarkan rumus perhitungan antara *Based acid ratio* dengan kandungan *total sulfur* (db), apabila nilai sulfur semakin tinggi maka potensi terjadinya *slagging* semakin besar, begitu pula nilai unsur basa komposisi *ash* jika semakin besar maka potensi terjadinya *slagging* akan

semakin besar. Dari ke-5 sampel *ash* batubara tersebut termasuk kategori *low* dengan nilai faktor dibawah 0,6.

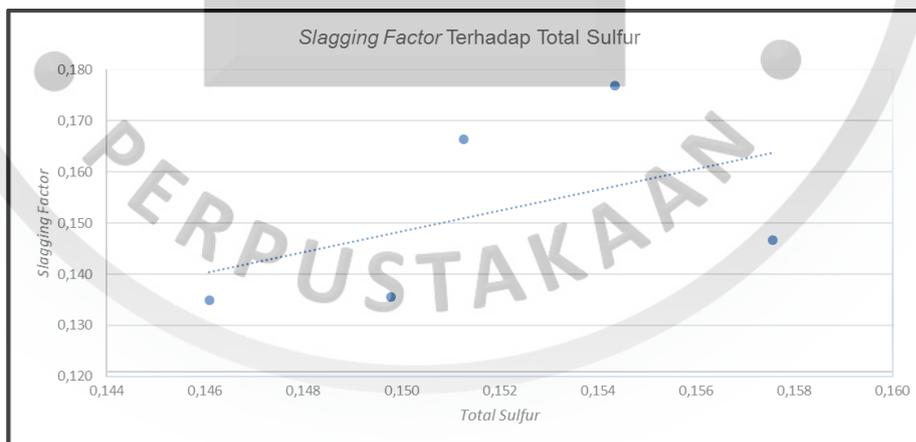


Sumber : Hasil Pengamatan Tugas Akhir PT Anindya Wiraputra Konsult, 2019

**Gambar 5.8**  
**Slagging Factor Terhadap 5 Sampel**

## 2. Slagging Factor Terhadap Total Sulfur

*Slagging factor* merupakan nilai yang dipengaruhi oleh *Based acid ratio* dan total sulfur. Berikut hubungan *slagging factor* terhadap total sulfur, karena seperti diketahui total sulfur sangat mempengaruhi penilaian *slagging factor*.



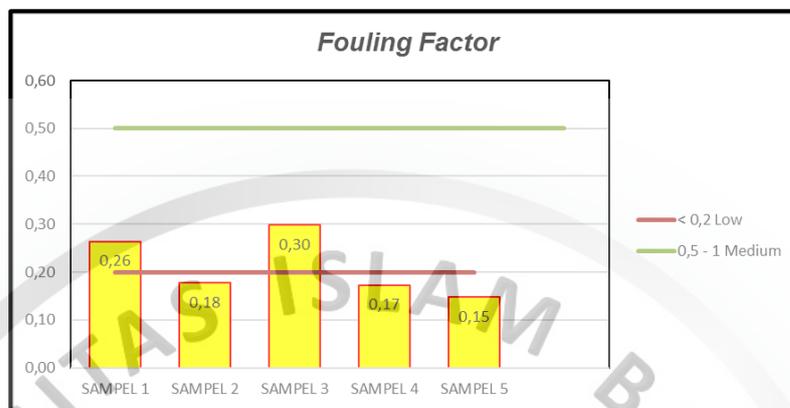
Sumber : Hasil Pengamatan Tugas Akhir PT Anindya Wiraputra Konsult, 2019

**Gambar 5.9**  
**Slagging Factor Terhadap Total Sulfur**

## 3. Fouling

Dari gambar 5.10 diketahui pada sampel 1 dan 3  $>0,2$  termasuk kategori *medium* dan untuk sampel 2, 4, dan 5 dibawah nilai 0,2 dengan kategori *low* serta

untuk rata-rata ke-5 sampel ialah 0,25, seperti diketahui nilai *fouling* merupakan nilai yang dipengaruhi oleh komposisi *ash*  $\text{Na}_2\text{O}$  serta nilai *based acid ratio*.



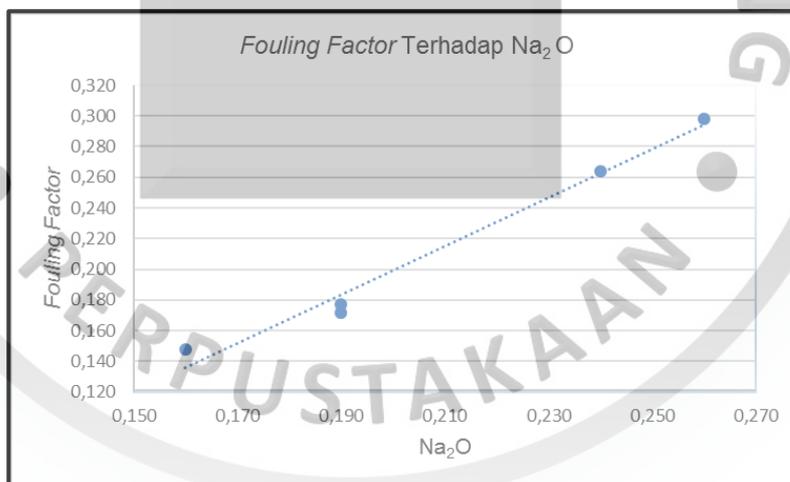
Sumber : Hasil Pengamatan Tugas Akhir PT Anindya Wiraputra Konsult, 2019

Gambar 5.10

*Fouling Factor* Terhadap Sampel

#### 4. *Fouling Factor* Terhadap $\text{Na}_2\text{O}$

*Fouling factor* merupakan *factor* yang berhubungan dengan komposisi *ash*  $\text{Na}_2\text{O}$ , berikut ini adalah gambar hubungan *fouling factor* terhadap komposisi  $\text{Na}_2\text{O}$ .



Sumber : Hasil Pengamatan Tugas Akhir PT Anindya Wiraputra Konsult, 2019

Gambar 5.11

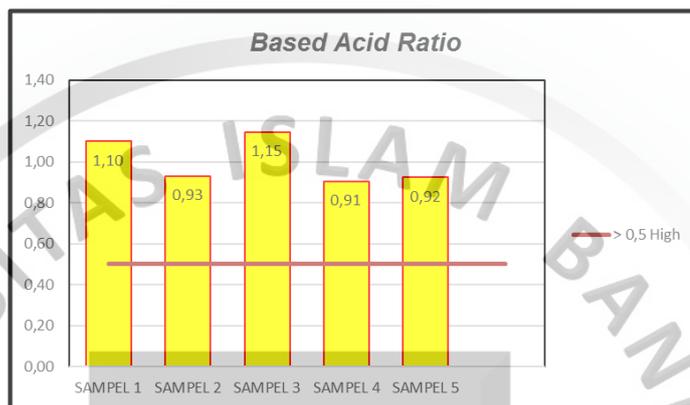
*Fouling Factor* Terhadap  $\text{Na}_2\text{O}$

### 5.7 *Based Acid Ratio* Terhadap *Slagging* dan *Fouling Factor*

#### 1. *Based Acid Ratio* Terhadap Lima Sampel

Dari ke-5 sampel *ash* batubara pada gambar 5.12 termasuk kategori *high* penyebab salah satunya ialah kandungan *ash* batubara basa tabel 3.6 yang

komposisinya CaO, MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O terlampau banyak komposisinya sebanyak pada tabel 4.3. Dari ke-5 sampel ini sampel 3 merupakan *based acid ratio* tertinggi serta terendah pada sampel 4, dan untuk rata-rata *ratio* pada kelima sampel ini 1,05.

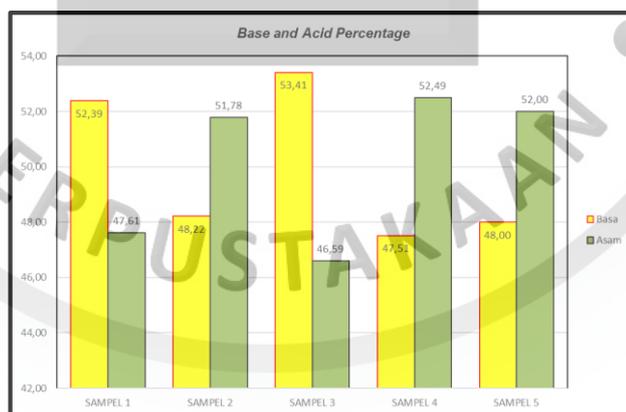


Sumber : Hasil Pengamatan Tugas Akhir PT Anindya Wiraputra Konsult, 2019

Gambar 5.12

#### **Based Acid Ratio Lima Sampel**

*Based acid ratio*, apabila komposisi basa <40% dan komposisi asam-nya lebih dari >60%, maka *based acid ratio* semakin rendah, secara garis besar perbandingan haruslah 1 : 2, begitupun dengan terjadinya *slagging* ataupun *fouling* semakin rendah.



Sumber : Hasil Pengamatan Tugas Akhir PT Anindya Wiraputra Konsult, 2019

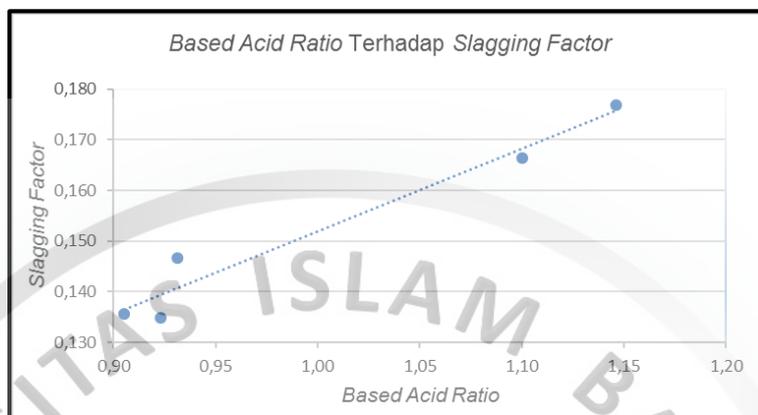
Gambar 5.13

#### **Based and Acid Percentage**

## **2. Based Acid Ratio Terhadap Slagging Factor**

*Based acid ratio* terhadap *slagging factor* ini menggambarkan hubungan pengaruh kenaikan nilai *based acid ratio* dengan kenaikan nilai *slagging factor*, karena selain dipengaruhi nilai total sulfur pada batubara komposisi *ash* pada

batubara merupakan hal penting yang berpengaruh. Berikut ini adalah gambar hubungan *based acid ratio* terhadap *slagging factor*.



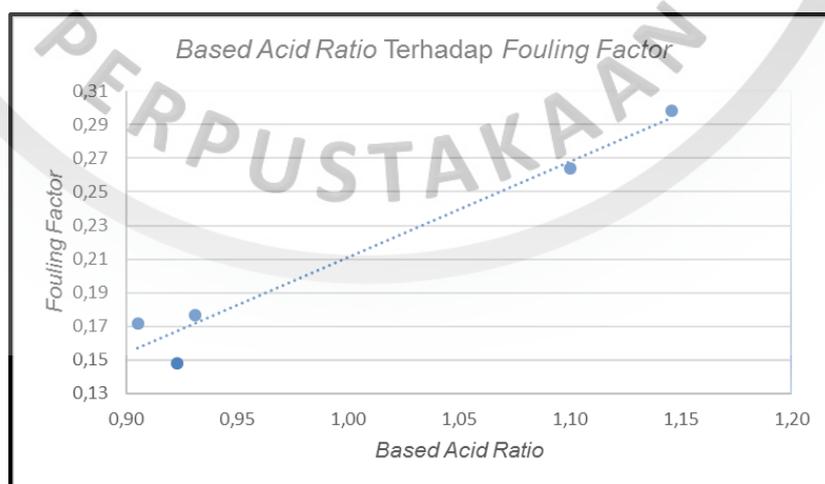
Sumber : Hasil Pengamatan Tugas Akhir PT Anindya Wiraputra Konsult, 2019

**Gambar 5.14**

**Basid Acid Ratio Terhadap Slagging Factor**

### 3. **Based Acid Ratio Terhadap Fouling Factor**

*Based acid ratio* terhadap *fouling factor* ini menggambarkan hubungan pengaruh kenaikan nilai *based acid ratio* dengan kenaikan nilai *fouling factor*, karena selain dipengaruhi komposisi  $\text{Na}_2\text{O}$  pada batubara, komposisi *ash* batubara lainnya sangat berpengaruh pada nilai *ratio*. Berikut ini adalah gambar hubungan *based acid ratio* terhadap *fouling factor*.



Sumber : Hasil Pengamatan Tugas Akhir PT Anindya Wiraputra Konsult, 2019

**Gambar 5.15**

**Basid Acid Ratio Terhadap Slagging Factor**