



Corrigendum to: "Analisis Peran Na, K, Ca, dan Fe Terhadap Potensi Slagging dan Fouling pada Pembakaran Lignit, Sub-Bituminus, dan Ampas Tebu"

Dhafin Umara^{1*}, Shofa Rijalul Haq¹, Rizki Khoiriah Nasution¹, Ratna Mustika Dewi², Muhammad Faiz Shafiyurrahman³

¹*Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta dan Jl. Padjajaran Jl. Ring Road Utara No.104, Ngropoh, Condongcatur, Kec. Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55283.*

²*Universitas Atma Jaya Yogyakarta dan Jl. Babarsari No.6, Janti, Caturtunggal, Kec. Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55281.*

³*Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta dan Jl. Padjajaran Jl. Ring Road Utara No.104, Ngropoh, Condongcatur, Kec. Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55283.*

**Corresponding author: dhafinumara@gmail.com*

Pada proses produksi naskah, terjadi kesalahan editorial yang menyebabkan informasi pada bagian Metode tidak ditampilkan sebagaimana mestinya. Versi yang benar dari bagian Metode disajikan di bawah ini. Koreksi ini tidak mengubah interpretasi hasil maupun kesimpulan artikel yang telah diterbitkan.

Nota ralat ini merujuk pada artikel "Analisis Peran Na, K, Ca, dan Fe Terhadap Potensi Slagging dan Fouling pada Pembakaran Lignit, Sub-Bituminus, dan Ampas Tebu" yang telah terbit di Volume 10, No 2 (2025) pada tautan <https://doi.org/10.12962/aki.v10i2.8869>

II. METODOLOGI

2.1 Perhitungan Indeks B/A

Indeks B/A pertama kali dikembangkan untuk batubara dan kemudian diadaptasi untuk biomassa [8]. Rasio ini membandingkan kandungan oksida basa terhadap oksida asam yang terdapat pada Persamaan 1.

$$\frac{B}{A} = \frac{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2} \dots\dots\dots (1)$$

Oksida basa (Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O) menurunkan titik leleh abu karena membentuk senyawa eutektik bertitik leleh rendah. Sebaliknya, oksida asam (SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2) meningkatkan titik leleh abu [6]. Interpretasi nilai B/A tercantum pada Tabel 1. Klasifikasi B/A dan kecenderungan slagging diadaptasi berdasarkan rentang yang dilaporkan oleh Hariana *et al.* (2021) [12] dan Akar *et al.* (2009) [13].

Nilai B/A yang tinggi, yaitu lebih dari 0,7, menunjukkan bahwa abu batubara

bersifat lebih basa dan cenderung mudah melebur pada rentang suhu sekitar 1200–1300 °C. Kondisi ini membuat abu menjadi lengket sehingga berpotensi besar menimbulkan *slagging*, yaitu pembentukan kerak atau lelehan padat di dinding tungku pembakaran [6]. Sebaliknya, jika nilai B/A rendah, yaitu kurang dari 0,5, abu bersifat lebih asam dan memiliki titik leleh yang tinggi, umumnya di atas 1500 °C, sehingga abu cenderung tetap kering dan tidak mudah menempel pada permukaan logam [4].

Batubara dengan kandungan tinggi CaO , Fe_2O_3 , atau alkali (Na_2O , K_2O) biasanya punya kecenderungan *slagging* lebih besar. Pengaruh sifat asam atau basa dari unsur-unsur kimia yang terdapat pada batubara tercantum pada Tabel 2.

Tabel 1. Interpretasi Nilai B/A [12-13].

Nilai B/A	Klasifikasi	Kecenderungan <i>Slagging</i>
< 0,5	Asam	Rendah – abu bersifat non-lekat
0,5 – 0,7	Netral	Sedang
> 0,7	Basa	Tinggi – potensi <i>slagging</i> besar

Tabel 2. Relevansi Terhadap Unsur Kimia pada Batubara.

Unsur	Bentuk Oksida	Sifat	Pengaruh
Na, K	Na_2O , K_2O	Basa Kuat	Menurunkan titik leleh abu drastis
Ca, Mg	CaO , MgO	Basa Menengah	Menstabilkan abu tapi bisa mempercepat <i>slag</i>

Fe	Fe ₂ O ₃	Amfoter (tapi cenderung basa)	Memicu lelehan oksida pada suhu tinggi.
Si, Al	SiO ₂ , Al ₂ O ₃	Asam	Meningkatkan titik leleh abu, mencegah <i>slag</i>
Ti	TiO ₂	Asam Lemah	Kontributor kecil, tapi ikut dalam matriks abu

2.2 Perhitungan Nilai B/As

Simplified Base to Acid Ratio merupakan bentuk penyederhanaan dari rasio basa terhadap asam (*Base to Acid Ratio, B/As*) yang digunakan untuk menilai kecenderungan *slagging* pada abu batubara berdasarkan komposisi kimia utamanya. Rasio ini berfokus pada empat oksida dominan, yaitu Fe₂O₃, CaO, SiO₂, dan Al₂O₃, yang paling berpengaruh terhadap titik leleh dan perilaku peleburan abu [14]. Dengan mengabaikan oksida minor seperti MgO, Na₂O, K₂O, dan TiO₂, metode ini menjadi lebih cepat dan sederhana, sehingga sering digunakan dalam analisis awal atau *screening* kualitas batubara [15]. Nilai B/As dihitung dengan Persamaan 2.

$$B/As = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3} \dots\dots\dots(2)$$

Meskipun kandungan MgO dalam abu batubara umumnya lebih rendah dibandingkan oksida utama seperti SiO₂, Al₂O₃, CaO, dan Fe₂O₃, keberadaannya tetap memberikan pengaruh terhadap jaringan silikat dalam fase lelehan abu [16].

Nilai B/As < 0,75 umumnya menunjukkan bahwa abu didominasi oleh oksida asam sehingga memiliki kecenderungan *slagging* yang rendah. Pada rentang 0,75–1,00, komposisi oksida basa dan asam mulai seimbang, menunjukkan risiko *slagging* sedang karena sebagian komponen mineralnya mulai membentuk fase leleh pada temperatur menengah. Jika nilai B/As > 1,00, oksida basa seperti CaO, MgO, dan Fe₂O₃ menjadi dominan sehingga abu lebih mudah melebur dan membentuk kerak pada dinding tungku, menandakan potensi *slagging* tinggi [6].

2.3 Perhitungan Nilai BAI

Nilai BAI digunakan untuk menilai kecenderungan terjadinya aglomerasi atau penggumpalan partikel pada sistem pembakaran *fluidized bed*, yang dapat menurunkan efisiensi operasi dan menyebabkan kerusakan pada tungku. Indeks ini dihitung menggunakan perbandingan antara kandungan oksida besi terhadap oksida

alkali dalam abu [17]. *Bed Agglomeration Index* dihitung dengan Persamaan 3.

$$BAI = \frac{Fe_2O_3}{Na_2O+K_2O} \dots\dots\dots (3)$$

Nilai BAI yang rendah (<0,15) menunjukkan dominasi unsur Na dan K yang membentuk senyawa silikat bertitik leleh rendah seperti Na_2SiO_3 dan K_2SiO_3 , sehingga abu mudah melebur dan partikel *bed* cenderung menggumpal. Sebaliknya, nilai BAI tinggi (>1) menandakan kandungan Fe_2O_3 yang cukup untuk menstabilkan abu dan meningkatkan titik lelehnya, sehingga risiko aglomerasi menjadi rendah [18].

2.4 Perhitungan Nilai Sr

Nilai Sr merupakan salah satu parameter empiris yang digunakan untuk memperkirakan kecenderungan *slagging*, yaitu pembentukan kerak leleh di zona suhu tinggi pada proses pembakaran batubara atau biomassa [6]. Indeks ini dihitung berdasarkan perbandingan antara kandungan oksida silika terhadap total oksida yang memengaruhi viskositas lelehan abu. Perhitungan dari nilai Sr dapat dihitung menggunakan Persamaan 4.

$$Sr = \left(\frac{SiO_2}{SiO_2+CaO+MgO+Fe_2O_3} \right) \times 100 \dots\dots\dots (4)$$

Nilai Sr mencerminkan keseimbangan antara oksida asam (SiO_2) yang meningkatkan viskositas lelehan dan oksida basa (CaO , MgO , Fe_2O_3) yang menurunkannya. Abu dengan Sr tinggi (>72) memiliki viskositas

tinggi dan cenderung tidak mudah melebur, sehingga risiko *slagging* rendah. Nilai Sr sedang (65–72) menunjukkan kecenderungan *slagging* moderat, sedangkan Sr rendah (<65) menandakan abu bersifat lebih cair dan mudah membentuk kerak [6].

2.5 Perhitungan Nilai Fu

Nilai Fu adalah parameter empiris yang digunakan untuk memprediksi kecenderungan terjadinya *fouling*, yaitu pengendapan partikel abu halus dan kondensasi uap alkali pada permukaan perpindahan panas, khususnya di bagian *superheater* dan *economizer*. *Fouling* menyebabkan penurunan efisiensi perpindahan panas, peningkatan suhu gas buang, serta mempercepat korosi logam boiler. Nilai B/A menunjukkan keseimbangan antara oksida basa dan oksida asam dalam abu, sedangkan Na_2O dengan penambahan K_2O merepresentasikan kandungan total unsur alkali yang mudah menguap [6]. Nilai Fu dapat dihitung dengan Persamaan 5.

$$Fu = \frac{B}{A} \times (Na_2O + K_2O) \dots\dots\dots (5)$$

Nilai Fu yang tinggi menandakan kecenderungan *fouling* yang besar karena kombinasi kandungan oksida basa tinggi dan volatilitas alkali yang menyebabkan pembentukan senyawa Na_2SO_4 , K_2SO_4 , dan KCl di permukaan perpindahan panas. Secara umum, $Fu < 0.6$ dikategorikan *low fouling*,

0.6–40 *medium fouling*, dan > 40 *severe fouling* [8], [19].

2.6 Perhitungan Indeks *Dolomite Ratio* (Dol)

Dolomite Ratio (Dol) adalah salah satu indeks empiris yang digunakan untuk menilai stabilitas termal abu dan kecenderungan *slagging* pada proses pembakaran batubara maupun biomassa. Indeks ini menggambarkan proporsi oksida basa utama (CaO dan MgO) terhadap total oksida yang berperan dalam pembentukan lelehan abu [6]. Secara matematis, Dol dihitung dengan Persamaan 6.

$$\text{Dol} = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{SiO}_2 + \text{K}_2\text{O}} \dots\dots\dots (6)$$

Nilai Dol yang tinggi menunjukkan bahwa abu mengandung dominasi oksida basa seperti CaO dan MgO, yang cenderung membentuk senyawa silikat bertitik leleh tinggi, misalnya CaSiO_3 dan MgAl_2O_4 . Hal ini menjadikan abu lebih stabil terhadap suhu tinggi dan mengurangi risiko *slagging*. Sebaliknya, nilai Dol rendah mengindikasikan dominasi unsur alkali (terutama K_2O) atau silika (SiO_2) yang membentuk eutektik leleh rendah, sehingga abu lebih mudah melebur dan menempel di dinding tungku [3]. Secara umum, abu dengan Dol > 0.25 dikategorikan memiliki *slagging* rendah, 0,10 – 0,25 menengah, dan < 0,10 tinggi [6].