

Perbandingan Data Hasil Metode B&W dan GWC untuk Klasifikasi Slagging Abu Batu Bara LRC

Denny Murdany Muchsin

PT PLN (Persero)

*d3nnny354@gmail.com
denny.murdany@pln.co.id*

ABSTRACT

Slagging classification is generally listed in coal COA in coal trading transactions using one of the methods of determining slagging classification so that coal is ensured boiler friendly (low/medium classification). The paper aims to prove the tendency of two methods of determining slagging classification (B&W and GWC) on the results of certain classifications in LRC coal. The research method uses a quantitative method by collecting LRC coal COA data on a coal-fired steam power plant for a year of coal receipt (81 lots) issued by a laboratory that has been accredited by KAN (National Accreditation Committee). According to the method of GWC, ashes of entire lots are classified as LRC ash. While the method of B&W, there are 62 lots of ash classified as lignitic ash and 19 lots of ash classified as bituminous ash. This research has shown that the GWC method shows 79 lots of ash (97.53%) has low and medium classification and 2 lots of ash (2.47%) have a high classification; the method from B&W shows 19 lots of ash (23.46%) has a low classification and 62 lots of ash (76.54%) has a severe classification.

Keywords: *slagging, George Waterhouse Consultants, Babcock & Wilcox*

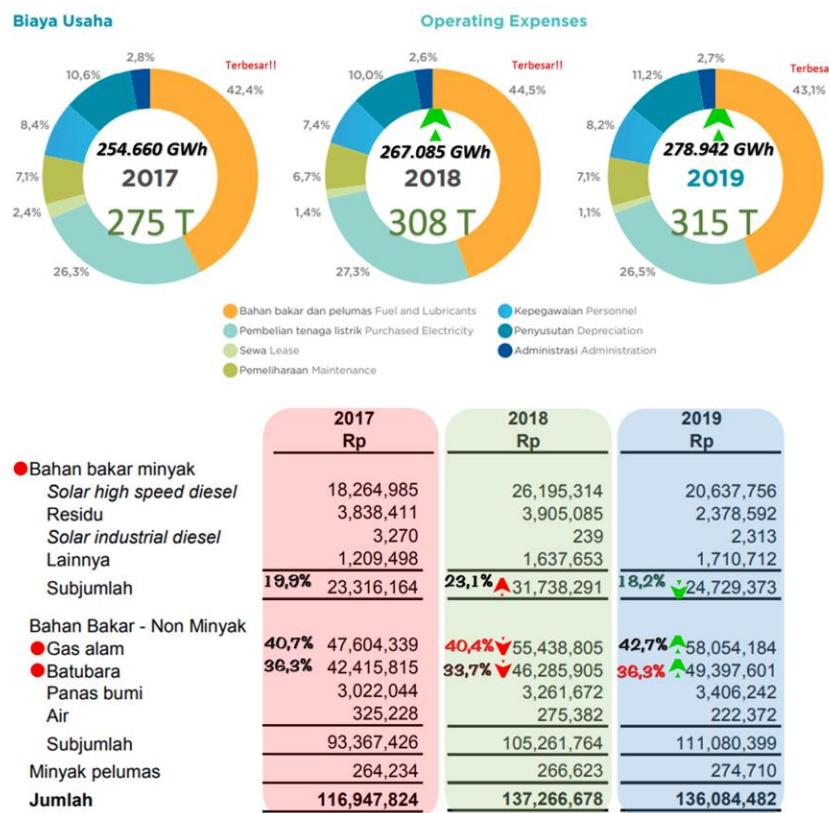
ABSTRAK

Klasifikasi slagging umumnya dicantumkan dalam COA batu bara dalam transaksi jual-beli batu bara dengan menggunakan salah satu metode penentuan klasifikasi slagging sehingga batu bara dipastikan boiler friendly (klasifikasi low/medium). Penulisan bertujuan untuk membuktikan kecenderungan dua metode penentuan klasifikasi slagging (B&W dan GWC) pada hasil klasifikasi tertentu pada batu bara LRC. Metode penelitian menggunakan metode kuantitatif dengan mengumpulkan data COA batu bara LRC pada suatu PLTU selama setahun penerimaan batu bara (81 lot) yang diterbitkan oleh laboratorium yang telah terakreditasi KAN (Komite Akreditasi Nasional). Menurut metode dari GWC, abu seluruh lot termasuk abu LRC. Sedangkan metode dari B&W, terdapat 62 lot abunya tergolong abu lignitic dan 19 lot abunya tergolong abu bituminous. Pada tulisan ini telah menunjukkan hasil bahwa metode dari GWC menunjukkan 79 lot abunya (97,53%) memiliki klasifikasi Low dan Medium dan 2 lot abunya (2,47%) memiliki klasifikasi High; metode dari B&W menunjukkan 19 lot abunya (23,46%) memiliki klasifikasi Low dan 62 lot abunya (76,54%) memiliki klasifikasi Severe.

Kata kunci: *slagging, George Waterhouse Consultants, Babcock & Wilcox*

1. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara berkembang masih sangat bergantung pada pembangkit termal PLTU berbahan bakar batu bara setidaknya hingga sepuluh tahun ke depan. Hal ini dapat diketahui dari data bauran energi, bahan bakar batu bara masih memiliki kontribusi energi listrik lebih dari 50% dari seluruh energi listrik yang diproduksi untuk kepentingan umum se-Indonesia. Berdasarkan data keuangan PLN tiga tahun terakhir (2017-2019), pembelian bahan bakar dan pelumas memiliki komposisi 42,4% s.d. 44,5% dari seluruh biaya operasional dimana pembelian bahan bakar batu bara berada pada range 33,7% - 36,3% dari biaya pembelian bahan bakar dan pelumas. Hal ini menunjukkan bahwa efisiensi penggunaan bahan bakar menjadi sesuatu hal yang tidak bisa ditawarkan. Oleh karena itu, tara kalor menjadi salah satu KPI (Key Performance Indicator) unit pelaksana pembangkit supaya efisiensi tersebut dapat diukur dan dievaluasi. Salah satu variabel yang berpengaruh terhadap pencapaian KPI tersebut adalah kualitas batu bara berupa *slagging factor* atau *slagging indice* yaitu besaran potensi batu bara untuk membentuk *slagging* di dalam boiler PLTU. [1] [2] [3] [4]



Gambar 1. Komposisi Biaya Operasional dan Biaya Bahan Bakar dan Pelumas PLN tiga tahun terakhir

Telah banyak peneliti yang mempelajari *slagging indice* untuk menemukan korelasi yang sesuai baik dari titik leleh, viskositas abu dalam boiler, maupun partikel abu itu sendiri. Informasi karakteristik *slagging* abu tersebut sangat membantu dalam hal memprediksi besaran potensi *slag sticking* di dalam boiler. Komponen mineral dalam abu batu bara tidak sama sehingga diperlukan kajian oleh pengguna batu bara untuk menyimulasikan pertumbuhan slag. Pada rasio basa/asam dan rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang sama dengan rasio $\text{CaO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ yang berbeda menunjukkan hasil bahwa pada rasio $\text{CaO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ yang rendah mengakibatkan kenaikan AFT (Ash Fusion Temperature). Oleh karena itu, kurang tepat ketika potensi slagging hanya diindikasikan oleh rasio basa/asam. Pada penelitian

yang dilakukan oleh Nor Jauhara Sophia et. al. terhadap delapan buah sampel batu bara sub-bituminous, formula B/A ratio menunjukkan hasil yang selalu selaras dengan formula Ash Fusion Temperature. Ketika B/A ratio menunjukkan potensial slagging yang low/medium, maka formula AFT pun menunjukkan hal yang sama. Hal tersebut konsisten pada delapan sampel batu bara sub-bituminous yang tergolong LRC. [5] [6] [7]

Babcock & Wilcox (selanjutnya disingkat B&W) sebagai perusahaan manufaktur boiler yang berasal dari negara USA telah mengembangkan beberapa *slagging indice* untuk berbagai aspek pada desain boiler. Slagging *indice* akan menentukan kriteria desain furnace dan area radiasi lainnya. Karakteristik deposisi diklasifikasikan menjadi empat kategori yaitu: *Low*, *Medium*, *High*, dan *Severe*. Indeks tersebut dihitung berdasarkan analisis *sulphur content* dan abu (*ash analysis: mineral composition & ash fusion temperature*) menggunakan standar ASTM. Indeks-indeks ini juga dapat digunakan secara komparatif untuk memberi peringkat batu bara sehubungan dengan potensi *slagging* dan *fouling* mereka ketika mengevaluasi pasokan batu bara baru. Dalam penentuan *slagging indice*, secara garis besar formulanya dibagi atas dua jenis abu: abu lignit dan abu bituminous. Pada beberapa pembangkit besar milik PLN, penentuan *slagging indice* dan klasifikasinya menggunakan metode dari B&W. [8]

George Waterhouse Consultants Ltd. (selanjutnya disingkat GWC) sebagai perusahaan konsultan berasal dari UK pada bidang utilisasi bahan bakar padat, cair, dan gas, menyampaikan juga metode penentuan *slagging indice* dan klasifikasi *slagging* di dalam handbook yang mereka telah susun. *Slagging indice* dihitung berdasarkan analisis *sulphur content* dan abu (*mineral composition*) tanpa menyebutkan standar analisis yang digunakan. Dalam penentuan *slagging indice*, secara garis besar formulanya dibagi atas dua jenis abu: abu LRC dan abu bituminous. Sebagian besar pembangkit milik PLN menggunakan metode yang disampaikan oleh GWC untuk menentukan *slagging indice/factors* dan klasifikasinya. [9]

2. METODE PENELITIAN

Proses penelitian ini meliputi pengambilan data sekunder, pengolahan data, dan analisis statistik. Penelitian ini dilakukan pada PLTU (Pusat Listrik Tenaga Uap) Sebalang 2 x 115 MW yang berlokasi di Lampung Selatan, Provinsi Lampung. PLTU berbahan bakar batu bara jenis LRC (Low Rank Coal) ini disuplai batu baranya dari lebih dari satu pemasok dalam negeri dengan nilai tipikal *Gross Caloric Value* 4.200 kKal/kg (*as received basis*).

2.1. Pengambilan Data Sekunder

Data-data sekunder yang digunakan di dalam penelitian ini adalah *Total Sulfur (%)*, *db*, *Ash Analysis*, dan *AFT*. Data tersebut diperoleh dari dokumen COA *unloading* pada setiap lot penerimaan yang diterbitkan oleh lembaga surveyor independen yang telah terakreditasi KAN (Komite Akreditasi Nasional). Data sekunder yang diambil berasal dari proses penerimaan batu bara oleh PLTU Sebalang selama tahun 2018 sebanyak 81 lot penerimaan.

Pengambilan sampel oleh surveyor independen dilakukan di jetty PLTU Sebalang dengan jenis *non-probability sampling* secara manual di *belt conveyor* bergerak (kondisi C menurut ASTM D2234). Metode *sampling* ini dilakukan hanya jika *mechanical sampling* terpaksa tidak bisa dilakukan oleh karena belum tersedia atau kondisi *sampling*-nya rusak. [10] [11]

Pengujian *total sulphur* oleh surveyor independen dilakukan menggunakan metode ASTM D4239 (*sulphur content*) yaitu metode pembakaran dan dianalisis dengan *infrared absorption detector*. Adapun pengujian komposisi mineral pada abu batu bara menggunakan metode ASTM D3682 yaitu menentukan komposisi (mayor dan minor) komponen pembentuk abu batu bara dengan

prinsip *Atomic Absorption Spectroscopy* (spektroskopi serapan atom). Pada pengujian yang lain yaitu AFT menggunakan metode ASTM D1857 yaitu memanaskan sampel berbentuk *cone* hingga mencapai temperatur yang mengubah bentuk *cone* dengan dialirkan gas tertentu supaya tercapai *reducing atmosphere* dan *oxidizing atmosphere*. [12] [13] [14]

2.2. Pengolahan Data

Semua tahapan penentuan *slagging indice* dan klasifikasi *slagging* tersebut dilakukan dengan dua metode (B&W dan GWC) pada data tiap-tiap lot penerimaan batu bara sehingga mendapatkan 81 data *slagging indice* dan klasifikasi *slagging* dari tiap-tiap metode.

2.2.1. Metode dari B&W

Data yang dibutuhkan dari COA (*Certificate of Analysis*) adalah *sulphur content (dry basis)*, *Hemispherical Temperature (reducing & oxidizing atmosphere)*, *Initial Deformation Temperature (reducing & oxidizing atmosphere)*, komposisi mineral dalam abu (SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , K_2O , MgO , Na_2O).

Tahapan pertama adalah menentukan jenis abu secara formula sebagai berikut:

- Jika $\text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{CaO} + \text{MgO}$, maka tergolong abu Bituminous.
- Jika $\text{Fe}_2\text{O}_3 < \text{CaO} + \text{MgO}$, maka tergolong abu Lignit.

Tahap kedua adalah menghitung *slagging indice* (R_s atau R_s^*) secara formula sebagai berikut

$$\bullet \text{ Bagi abu Bituminous: } R_s = \frac{B}{A} \times S \quad (1)$$

yang B sebagai jumlah persentase komposisi mineral bersifat basa ($\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$); A sebagai jumlah persentase komposisi mineral bersifat asam ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$); dan S sebagai nilai persentase total sulfur pada *dry basis*

$$\bullet \text{ Bagi abu Lignit: } R_s^* = \frac{\text{HT}_{\text{terbesar}} + (4 \times \text{IDT}_{\text{terkecil}})}{5} \quad (2)$$

yang $\text{HT}_{\text{terbesar}}$ sebagai nilai *Hemispherical Temperature* terbesar di antara kondisi *reducing atmosphere* dan *oxidizing atmosphere*; $\text{IDT}_{\text{terkecil}}$ sebagai *Initial Deformation Temperature* terkecil di antara kondisi *reducing atmosphere* dan *oxidizing atmosphere*.

Tahap ketiga adalah menentukan klasifikasi *slagging*-nya berdasarkan jenis abu dan nilai *slagging indice*-nya:

- Bagi abu Bituminous: *Low* jika $R_s < 0,6$; *Medium* jika $0,6 < R_s < 2$; *High* jika $2 < R_s < 2,6$; *Severe* jika $R_s > 2,6$.
- Bagi abu Lignit: *Low* jika $R_s^* > 2450$; *Medium* jika $2250 < R_s^* < 2450$; *High* jika $2100 < R_s^* < 2250$; *Severe* jika $R_s^* < 2100$.

Hasil pengolahan data dengan metode dari B&W dapat dilihat pada Tabel 1:

Tabel 1. Hasil Pengolahan Data Menggunakan Metode dari B&W

No.	Sulfur (db)	IDT Red, °C	IDT Ox, °C	HT Red, °C	HT Ox, °C	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Jenis Abu	Slagging Indice	Klasifikasi Slagging
1	0,25	1240	1300	1260	1320	10,11	15,59	1,78	0,39	0,56	0,83	44,83	18,11	Lignitic Ash	1.452,00	Severe
2	0,25	1250	1310	1270	1330	10,45	17,99	5,90	0,32	0,29	0,92	37,9	18,82	Lignitic Ash	1.463,60	Severe
3	0,32	1270	1330	1290	1350	11,26	17,17	1,22	0,21	0,36	1,86	36,72	25,31	Lignitic Ash	1.486,80	Severe
4	0,26	1170	1230	1190	1250	12,53	22,96	2,54	0,34	0,35	0,88	28,8	24,70	Lignitic Ash	1.370,80	Severe
5	0,33	1260	1320	1280	1340	10,41	22,90	1,46	0,35	0,58	2,08	25,38	25,74	Lignitic Ash	1.475,20	Severe
6	0,20	1160	1220	1180	1240	15,36	30,80	2,77	0,34	0,41	1,10	17,40	23,90	Lignitic Ash	1.359,20	Severe
7	0,21	1230	1290	1250	1310	13,41	27,51	2,21	0,36	0,47	0,97	26,96	18,79	Lignitic Ash	1.440,40	Severe
8	0,29	1250	1310	1270	1330	13,75	16,83	2,26	0,36	0,61	2,28	34,20	21,47	Lignitic Ash	1.463,60	Severe
9	0,20	1210	1270	1230	1290	14,28	20,39	2,61	0,41	0,45	0,78	35,27	17,40	Lignitic Ash	1.417,20	Severe
10	0,26	1250	1310	1270	1330	12,47	14,09	0,78	0,25	0,29	0,98	43,62	19,24	Lignitic Ash	1.463,60	Severe
11	0,41	1260	1320	1280	1340	15,63	5,19	1,05	0,53	0,17	1,35	51,90	20,61	Bituminous Ash	0,13	Low
12	0,21	1200	1260	1220	1280	13,95	14,17	2,21	0,43	0,35	0,63	34,48	25,40	Lignitic Ash	1.405,60	Severe
13	0,21	1180	1240	1200	1260	11,91	10,28	2,61	0,30	0,38	0,58	38,96	24,33	Lignitic Ash	1.382,40	Severe
14	0,25	1250	1310	1270	1330	12,96	10,18	2,25	0,22	0,26	1,12	41,77	23,98	Bituminous Ash	0,10	Low
15	0,30	1290	1350	1310	1370	9,82	9,94	2,50	0,39	0,37	1,26	45,53	25,02	Lignitic Ash	1.510,00	Severe
16	0,34	1250	1310	1270	1330	1,67	15,71	1,28	0,21	0,39	1,27	35,68	24,01	Lignitic Ash	1.463,60	Severe
17	0,26	1290	1350	1320	1370	15,57	13,99	2,15	0,41	0,36	0,93	36,81	20,41	Lignitic Ash	1.513,60	Severe
18	0,31	1260	1320	1280	1340	13,53	13,16	1,65	0,21	0,29	1,19	43,48	18,46	Lignitic Ash	1.475,20	Severe
19	0,33	1250	1310	1270	1330	18,67	15,81	2,07	0,32	0,52	2,21	32,75	18,83	Bituminous Ash	0,23	Low
20	0,32	1270	1330	1290	1350	19,17	14,07	2,52	0,42	0,74	2,04	32,70	20,20	Bituminous Ash	0,22	Low
21	0,27	1260	1320	1280	1340	11,10	12,23	1,21	0,18	0,31	0,96	43,09	23,50	Lignitic Ash	1.475,20	Severe
22	0,29	1270	1330	1290	1350	10,74	15,12	1,02	0,27	0,29	0,78	43,01	19,07	Lignitic Ash	1.486,80	Severe
23	0,31	1300	1360	1320	1380	12,23	6,47	1,27	0,28	0,41	1,24	43,99	24,43	Bituminous Ash	0,09	Low
24	0,29	1260	1320	1280	1340	10,86	13,92	1,40	0,23	0,51	1,25	36,90	23,70	Lignitic Ash	1.475,20	Severe
25	0,31	1250	1310	1270	1330	14,37	17,99	0,63	0,26	0,46	1,49	30,65	26,77	Lignitic Ash	1.463,60	Severe
26	0,19	1300	1360	1320	1380	10,42	27,91	5,86	0,38	0,71	0,61	23,61	16,12	Lignitic Ash	1.521,60	Severe
27	0,30	1180	1240	1200	1260	13,77	11,63	0,66	0,39	0,24	1,08	41,49	24,63	Bituminous Ash	0,12	Low
28	0,43	1230	1290	1250	1310	10,72	7,30	0,70	1,12	0,67	1,10	52,55	21,87	Bituminous Ash	0,12	Low
29	0,26	1210	1270	1230	1290	22,06	11,33	0,90	0,58	0,78	0,86	35,93	20,47	Bituminous Ash	0,16	Low
30	0,28	1260	1320	1280	1340	13,48	15,35	0,72	0,28	0,46	1,28	42,05	20,04	Lignitic Ash	1.475,20	Severe
31	0,30	1250	1320	1270	1340	7,14	11,17	1,12	0,29	0,72	0,67	54,60	17,42	Lignitic Ash	1.463,60	Severe
32	0,37	1230	1290	1250	1310	10,51	12,79	1,17	0,90	0,66	0,44	45,77	22,54	Lignitic Ash	1.440,40	Severe
33	0,31	1260	1320	1280	1340	11,63	16,88	0,96	0,35	0,50	1,69	34,71	25,57	Lignitic Ash	1.475,20	Severe
34	0,27	1270	1330	1290	1350	12,64	12,89	0,52	0,39	0,40	0,84	38,10	27,05	Lignitic Ash	1.486,80	Severe
35	0,28	1250	1310	1270	1330	10,46	22,99	6,96	0,24	0,62	1,47	29,57	20,15	Lignitic Ash	1.463,60	Severe
36	0,45	1230	1290	1250	1310	9,04	16,72	5,66	0,36	0,88	1,02	36,53	20,42	Lignitic Ash	1.440,40	Severe
37	0,30	1270	1330	1290	1350	6,92	24,64	1,37	0,31	0,74	0,94	40,75	16,70	Lignitic Ash	1.486,80	Severe
38	0,39	1290	1350	1310	1370	11,01	10,03	1,12	0,64	0,42	1,20	45,28	24,12	Lignitic Ash	1.510,00	Severe
39	0,28	1270	1330	1290	1350	13,67	15,47	1,17	0,26	0,33	1,39	39,72	19,95	Lignitic Ash	1.486,80	Severe
40	0,29	1240	1300	1260	1320	10,77	12,21	0,77	0,29	0,22	0,70	42,22	24,47	Lignitic Ash	1.452,00	Severe
41	0,27	1260	1320	1280	1340	14,30	16,87	0,93	0,23	0,24	1,62	39,75	19,86	Lignitic Ash	1.475,20	Severe
42	0,28	1260	1320	1280	1340	12,56	15,27	1,47	0,38	0,35	1,37	37,55	24,41	Lignitic Ash	1.475,20	Severe
43	0,28	1250	1310	1270	1330	15,52	5,25	0,66	0,47	0,86	1,39	49,53	22,40	Bituminous Ash	0,09	Low
44	0,26	1270	1330	1290	1350	13,88	16,75	1,62	0,35	0,39	1,23	35,18	21,59	Lignitic Ash	1.486,80	Severe
45	0,28	1370	1430	1390	1450	6,21	2,45	0,54	0,94	1,47	1,50	55,43	29,31	Bituminous Ash	0,04	Low
46	0,28	1270	1330	1290	1350	13,91	18,21	1,27	0,30	0,35	1,20	41,71	16,58	Lignitic Ash	1.486,80	Severe
47	0,26	1250	1310	1270	1330	14,70	18,22	1,81	0,30	0,31	1,45	35,02	21,36	Lignitic Ash	1.463,60	Severe
48	0,51	1300	1360	1320	1380	12,77	5,88	0,48	0,71	0,35	0,76	49,94	24,21	Bituminous Ash	0,14	Low
49	0,26	1280	1340	1300	1360	12,84	15,34	1,97	0,30	0,50	1,41	39,87	19,32	Lignitic Ash	1.498,40	Severe
50	0,26	1270	1330	1290	1350	13,77	18,95	1,76	0,35	0,32	2,15	33,10	21,08	Lignitic Ash	1.486,80	Severe

No.	Sulfur (db)	IDT Red, °C	IDT Ox, °C	HT Red, °C	HT Ox, °C	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Jenis Abu	Slagging Indice	Klasifikasi Slagging	
51	0,37	1250	1310	1270	1330	11,97	6,37	0,75	0,81	0,35	1,37	47,34	24,68	Bituminous Ash	0,10	Low	
52	0,27	1290	1350	1310	1370	13,41	16,79	1,98	0,27	0,33	1,39	38,92	19,23	Lignitic Ash	1.510,00	Severe	
53	0,32	1330	1390	1350	1410	5,82	3,51	1,28	1,32	1,31	0,75	54,94	28,23	Bituminous Ash	0,05	Low	
54	0,26	1290	1350	1310	1370	13,59	15,41	1,75	0,50	0,41	1,55	37,57	17,67	Lignitic Ash	1.510,00	Severe	
55	0,30	1260	1320	1280	1340	14,39	19,52	1,60	0,33	0,44	1,87	36,06	21,81	Lignitic Ash	1.475,20	Severe	
56	0,31	1330	1390	1350	1410	13,40	12,22	1,59	0,28	0,43	1,93	41,60	21,56	Lignitic Ash	1.556,40	Severe	
57	0,30	1260	1320	1280	1340	12,53	10,62	1,45	0,25	0,51	2,15	41,17	19,59	Bituminous Ash	0,12	Low	
58	0,26	1270	1330	1290	1350	10,77	14,17	1,81	0,31	0,39	2,11	36,42	23,98	Lignitic Ash	1.486,80	Severe	
59	0,25	1260	1320	1280	1340	13,44	20,44	2,29	0,27	0,29	2,06	3,06	33,71	19,23	Lignitic Ash	1.478,80	Severe
60	0,40	1190	1260	1210	1280	8,01	1,05	0,41	0,59	0,59	2,05	41,70	21,73	Bituminous Ash	0,18	Low	
61	0,27	1250	1350	1290	1370	12,65	18,83	1,65	0,42	0,46	1,90	33,47	23,41	Lignitic Ash	1.470,80	Severe	
62	0,25	1270															

2.2.2. Metode dari GWC

Data yang dibutuhkan dari COA (Certificate of Analysis) adalah *sulphur content* (dry basis), dan komposisi mineral dalam abu (SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , K_2O , MgO , Na_2O).

Tahapan pertama adalah menentukan jenis abu berdasarkan klasifikasi batu baranya:

- Abu Bituminous: abu yang berasal dari batu bara bituminous yang berada pada rank antara batu bara sub-bituminous dan batu bara semi-anthracite.
- Abu LRC (*Low Rank Coal*): abu yang berasal dari batu bara lignit dan batu bara sub-bituminous yang memiliki *high moisture* sehingga kalorinya pun rendah.

Tahap kedua adalah menghitung *slagging indice* (R_s atau R_s^*) secara formula sebagai berikut

- Bagi abu Bituminous: $R_s = \frac{B}{A} \times S$ (3)

yang B sebagai jumlah persentase komposisi mineral bersifat basa ($\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$); A sebagai jumlah persentase komposisi mineral bersifat asam ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$); dan S sebagai nilai persentase total sulfur pada *dry basis*

- Bagi abu LRC: $R_s^* = \frac{B}{A}$ (4)

Tahap ketiga adalah menentukan klasifikasi *slagging*-nya berdasarkan jenis abu dan nilai *slagging indice*-nya:

- Bagi abu Bituminous: Low jika $R_s < 0,6$; Medium jika $0,6 < R_s < 2$; High jika $2 < R_s < 2,6$; Severe jika $R_s > 2,6$.
- Bagi abu LRC: Low jika $R_s^* < 0,5$; Medium jika $0,5 < R_s^* < 1,0$; High jika $1,0 < R_s^* < 1,75$.

Hasil pengolahan data dengan metode dari GWC dapat dilihat pada Tabel 2:

Tabel 2. Hasil Pengolahan Data Menggunakan Metode dari GWC

No.	Sulfur (db)	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Jenis Abu	Slagging Indice	Klasifikasi Slagging
1	0,25	10,11	15,59	1,78	0,39	0,56	0,83	44,83	18,11	LRC	0,45	Low
2	0,25	10,45	17,99	5,90	0,32	0,29	0,92	37,9	18,82	LRC	0,61	Medium
3	0,32	11,26	17,17	1,22	0,21	0,36	1,86	36,72	25,31	LRC	0,47	Low
4	0,26	12,53	22,96	2,54	0,34	0,35	0,88	28,8	24,70	LRC	0,71	Medium
5	0,33	10,41	22,90	1,46	0,35	0,58	2,08	25,38	25,74	LRC	0,67	Medium
6	0,20	15,36	30,80	2,77	0,34	0,41	1,10	17,40	23,90	LRC	1,17	High
7	0,21	13,41	27,51	2,21	0,36	0,47	0,97	26,96	18,79	LRC	0,94	Medium
8	0,29	13,75	16,83	2,26	0,36	0,61	2,28	34,20	21,47	LRC	0,58	Medium
9	0,20	14,28	20,39	2,61	0,41	0,45	0,78	35,27	17,40	LRC	0,71	Medium
10	0,26	12,47	14,09	0,78	0,25	0,29	0,98	43,62	19,24	LRC	0,44	Low
11	0,41	15,63	5,19	1,05	0,53	0,17	1,35	51,90	20,61	LRC	0,31	Low
12	0,21	13,95	14,17	2,21	0,43	0,35	0,63	34,48	25,40	LRC	0,51	Medium
13	0,21	11,91	10,28	2,61	0,30	0,38	0,58	38,96	24,33	LRC	0,4	Low
14	0,25	12,96	10,18	2,25	0,22	0,26	1,12	41,77	23,98	LRC	0,39	Low
15	0,30	9,82	9,94	2,50	0,39	0,37	1,26	45,53	25,02	LRC	0,32	Low
16	0,34	1,67	15,71	1,28	0,21	0,39	1,27	35,68	24,01	LRC	0,32	Low
17	0,26	15,57	13,99	2,15	0,41	0,36	0,93	36,81	20,41	LRC	0,56	Medium
18	0,31	13,53	13,16	1,65	0,21	0,29	1,19	43,48	18,46	LRC	0,46	Low
19	0,33	18,67	15,81	2,07	0,32	0,52	2,21	32,75	18,83	LRC	0,7	Medium
20	0,32	19,17	14,07	2,52	0,42	0,74	2,04	32,70	20,20	LRC	0,67	Medium
21	0,27	11,10	12,23	1,21	0,18	0,31	0,96	43,09	23,50	LRC	0,37	Low
22	0,29	10,74	15,12	1,02	0,27	0,29	0,78	43,01	19,07	LRC	0,44	Low
23	0,31	12,23	6,47	1,27	0,28	0,41	1,24	43,99	24,43	LRC	0,3	Low
24	0,29	10,86	13,92	1,40	0,23	0,51	1,25	36,90	23,70	LRC	0,44	Low
25	0,31	14,37	17,99	0,63	0,26	0,46	1,49	30,65	26,77	LRC	0,57	Medium
26	0,19	10,42	27,91	5,86	0,38	0,71	0,61	23,61	16,12	LRC	1,12	High
27	0,30	13,77	11,63	0,66	0,39	0,24	1,08	41,49	24,63	LRC	0,4	Low
28	0,43	10,72	7,30	0,70	1,12	0,67	1,10	52,55	21,87	LRC	0,27	Low
29	0,26	22,06	11,33	0,90	0,58	0,78	0,86	35,93	20,47	LRC	0,62	Medium
30	0,28	13,48	15,35	0,72	0,28	0,46	1,28	42,05	20,04	LRC	0,48	Low
31	0,30	7,14	11,17	1,12	0,29	0,72	0,67	54,60	17,42	LRC	0,28	Low
32	0,37	10,51	12,79	1,17	0,90	0,66	0,44	45,77	22,54	LRC	0,38	Low
33	0,31	11,63	16,88	0,96	0,35	0,50	1,69	34,71	25,57	LRC	0,49	Low
34	0,27	12,64	12,89	0,52	0,39	0,40	0,84	38,10	27,05	LRC	0,41	Low
35	0,28	10,46	22,99	6,96	0,24	0,62	1,47	29,57	20,15	LRC	0,81	Medium
36	0,45	9,04	16,72	5,66	0,36	0,88	1,02	36,53	20,42	LRC	0,56	Medium
37	0,30	6,92	24,64	1,37	0,31	0,74	0,94	40,75	16,70	LRC	0,58	Medium
38	0,39	11,01	10,03	1,12	0,64	0,42	1,20	45,28	24,12	LRC	0,33	Low
39	0,28	13,67	15,47	1,17	0,26	0,33	1,39	39,72	19,95	LRC	0,51	Medium
40	0,29	10,77	12,21	0,77	0,29	0,22	0,70	42,22	24,47	LRC	0,36	Low
41	0,27	14,30	16,87	0,93	0,23	0,24	1,62	39,75	19,86	LRC	0,53	Medium
42	0,28	12,56	15,27	1,47	0,38	0,35	1,37	37,55	24,41	LRC	0,47	Low
43	0,28	15,52	5,25	0,66	0,47	0,86	1,39	49,53	22,40	LRC	0,31	Low
44	0,26	13,88	16,75	1,62	0,35	0,39	1,23	35,18	21,59	LRC	0,57	Medium
45	0,28	6,21	2,45	0,54	0,94	1,47	1,50	55,43	29,31	LRC	0,13	Low
46	0,28	13,91	18,21	1,27	0,30	0,35	1,20	41,71	16,58	LRC	0,57	Medium
47	0,26	14,70	18,22	1,81	0,30	0,31	1,45	35,02	21,36	LRC	0,61	Medium
48	0,51	12,77	5,88	0,48	0,71	0,35	0,76	49,94	24,21	LRC	0,27	Low
49	0,26	12,84	15,34	1,97	0,30	0,50	1,41	39,87	19,32	LRC	0,51	Medium
50	0,26	13,77	18,95	1,76	0,35	0,32	2,15	33,10	21,08	LRC	0,62	Medium

No.	Sulfur (db)	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Jenis Abu	Slagging Indice	Klasifikasi Slagging
51	0,37	11,97	6,37	0,75	0,81	0,35	1,37	47,34	24,68	LRC	0,28	Low
52	0,27	13,41	16,79	1,98	0,27	0,33	1,39	38,92	19,23	LRC	0,55	Medium
53	0,32	5,82	3,51	1,28	1,32	1,31	0,75	54,94	28,23	LRC	0,16	Low
54	0,26	13,59	15,41	1,75	0,50	0,41	1,55	37,57	17,67	LRC	0,56	Medium
55	0,30	14,39	19,52	1,60	0,33	0,44	1,87	36,06	21,81	LRC	0,61	Medium
56	0,31	13,40	12,22	1,59	0,28	0,43	1,93	41,60	21,56	LRC	0,43	Low
57	0,30	12,53	10,62	1,45	0,25	0,51	2,15	41,17	19,59	LRC	0,4	Low
58	0,26	10,77	14,17	1,81	0,31	0,39	2,11	36,42	23,98	LRC	0,44	Low
59	0,25	13,44	20,44	2,29	0,27	0,29	2,06	33,71	19,23	LRC	0,67	Medium
60	0,40	20,12	8,01	1,05	0,41	0,59	2,05	41,70	21,73	LRC	0,46	Low
61	0,27	12,65	18,83	1,65	0,42	0,46	1,90	33,47	23,41	LRC	0,58	Medium
62	0,25	13,46	12,96	2,00	0,26	0,33	2,09	37,92	22,01	LRC	0,47	Low
63	0,22	10,90	8,16	1,62	0,28	0,30	1,04	42,26	23,70	LRC	0,32	Low
64	0,22	11,15	18,75	1,97	0,29	0,55	1,14	33,61	20,67	LRC	0,59	Medium
65	0,27	12,37	14,77	2,06	0,29	0,57	1,46	36,86	20,87	LRC	0,51	Medium
66	0,28	10,70	21,77	1,21	0,39	0,48	2,44	33,89	20,92	LRC	0,6	Medium
67	0,29	11,45	19,37	1,77	0,43	0,62	2,38	33,14	22,94	LRC	0,58	Medium
68	0,42	11,52	14,24	1,44	0,46	0,97	2,23	38,78	23,82	LRC	0,44	Low
69	0,30	11,09	17,76	1,51	0,44	0,73	2,48	31,87	24,73	LRC	0,53	Medium
70	0,32	11,14	20,41	1,97	0,51	0,59	2,04	32,22	22,95	LRC	0,61	Medium
71	0,34	13,58	11,88	1,30	0,75	0,63	1,45	39,38	23,96	LRC	0,43	Low
72	0,48	12,44	8,81	1,21	1,08	0,96	1,75	40,11	27,46	LRC	0,35	Low
73	0,26	13,53	19,14	2,71	0,51	0,62	2,16	32,33	20,96	LRC	0,66	Medium
74	0,28	13,64	18,54	2,50	0,50	0,67	2,11	31,97	23,47	LRC	0,62	Medium
75	0,54	13,17	10,60	0,99	0,51	0,43	1,41	36,95	24,49	LRC	0,41	Low
76	0,35	13,31	12,47	1,53	0,44	0,96	2,21	37,50	26,00	LRC	0,44	Low
77	0,28	11,13	16,54	1,74	0,50	0,63	2,44	34,81	24,96	LRC	0,49	Low
78	0,26	10,72	17,60	1,72	0,45	0,60	2,03	35,15	23,70	LRC	0,51	Medium
79	0,33	12,62	14,43	1,09	0,47	0,66	1,28	37,46	22,79	LRC	0,48	Low
80	0,37	14,76	15,71	1,68	0,56	0,62	1,68	33,92	22,69	LRC	0,57	Medium
81	0,36	10,52	17,95	2,04	0,40	0,94	2,07	36,78	21,46	LRC	0,53	Medium

2.3. Analisis Statistik

Analisis secara statistik menggunakan tools formula dari Microsoft Excel 2019 “countifs” untuk menghitung jumlah klasifikasi *slagging* masing-masing pada tiap-tiap jenis abu, kemudian dihitung persentasenya pada tiap-tiap jenis abu. Hasil analisis statistik pada tiap-tiap metode dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 3. Komposisi Klasifikasi Slagging dengan Metode dari B&W

Deskripsi	Jenis Abu				Total	
	Lignite Ash		Bituminous Ash			
Jumlah Lot	62	76,54%	19	23,46%	81	100,00%
Klasifikasi Slagging						
- Low	0	0,00%	19	100,00%	19	23,46%
- Medium	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
Low/Medium	0	0,00%	19	100,00%	19	23,46%
- High	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
- Severe	62	100,00%	0	0,00%	62	76,54%
High/Severe	62	100,00%	0	0,00%	62	100,00%

Tabel 4. Komposisi Klasifikasi Slagging dengan Metode dari GWC

Deskripsi	Jenis Abu				Total	
	LRC Ash		Bituminous Ash			
Jumlah Lot	81	100,00%	0	0,00%	81	100,00%
Klasifikasi Slagging						
- Low	41	50,62%	0	#DIV/0!	41	50,62%
- Medium	38	46,91%	0	#DIV/0!	38	46,91%
Low/Medium	79	97,53%	0	#DIV/0!	79	97,53%
- High	2	2,47%	0	#DIV/0!	2	2,47%
- Severe	0	0,00%	0	#DIV/0!	0	0,00%
High/Severe	2	2,47%	0	#DIV/0!	2	2,47%

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan *slagging indice* dan klasifikasi *slagging* pada kedua metode tersebut memiliki kesamaan yaitu jika abu batu baranya digolongkan sebagai abu bituminous. Sedangkan, pada abu jenis lainnya (abu LRC dan abu Lignit), penentuannya sama sekali berbeda.

Pada metode dari B&W, jenis abu ditentukan berdasarkan formula sehingga batu bara jenis LRC yang diterima oleh PLTU bisa memiliki kemungkinan dua jenis abu: Lignit atau Bituminous. Oleh karena itu, menurut metode dari B&W pada tahun 2018 didapatkan bahwa abunya yang tergolong Lignit sebanyak 62 lot (76,54%) dan tergolong Bituminous sebanyak 19 lot (23,46%). Batu bara yang memiliki abu Lignit, seluruhnya diklasifikasikan *Severe* menurut metode dari B&W. Namun, pada batu bara yang memiliki abu Bituminous, seluruhnya diklasifikasikan *Low* menurut metode dari B&W. Oleh karena itu, secara statistik 62 lot batu bara yang diterima selama tahun 2018 tergolong bukan *boiler friendly* dari aspek potensi *slagging*-nya dan 19 lot batu bara tergolong *boiler friendly*.

Pada metode dari GWC, jenis abu ditentukan berdasarkan klasifikasi batu baranya, sehingga batu bara jenis LRC yang diterima oleh PLTU secara langsung digolongkan sebagai abu LRC. Oleh karena itu, menurut metode dari GWC pada tahun 2018 didapatkan bahwa seluruh batu bara yang diterima tergolong abu LRC. Sebanyak 41 lot batu bara diklasifikasikan potensi *slagging Low* dan 38 lot batu bara diklasifikasikan potensi *slagging Medium* menurut metode dari GWC. Namun, sebanyak 2 lot batu bara diklasifikasikan potensi *slagging High*. Oleh karena itu, secara statistik 79 lot (97,53%) batu bara yang diterima selama tahun 2018 tergolong *boiler friendly* dari aspek potensi *slagging*-nya dan 2 lot (2,47%) batu bara tergolong bukan *boiler friendly*.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian ini telah membuktikan bahwa metode klasifikasi *slagging* dari B&W terhadap batu bara LRC sangat cenderung mengklasifikasikan potensi *slagging*-nya menjadi *Severe*. Sebaliknya, metode dari GWC sangat cenderung mengklasifikasikan potensi *slagging*-nya menjadi *Low/Medium*. Secara kuantitatif, tulisan ini telah menunjukkan hasil bahwa metode dari GWC menunjukkan 79 lot abunya (97,53%) memiliki klasifikasi *Low* dan *Medium* dan 2 lot abunya (2,47%) memiliki klasifikasi *High*; metode dari B&W menunjukkan 19 lot abunya (23,46%) memiliki klasifikasi *Low* dan 62 lot abunya (76,54%) memiliki klasifikasi *Severe*.

Terkait dengan hal tersebut di atas, penulis menyampaikan saran supaya dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mempelajari korelasi antara klasifikasi *slagging* tersebut di atas dan kondisi aktual kejadian *slagging* pada boiler pada kurun waktu yang sama. Selain itu, untuk keperluan pembelian batu bara seluruh PLTU milik PLN se-Indonesia dan untuk meningkatkan efisiensi penyediaan

energi listrik, maka diperlukan penelitian lebih lanjut tentang skema penyesuaian harga dengan prinsip *win-win solution* antar kedua belah pihak.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT PLN (Persero) UIK Sumatera Bagian Selatan UPK Sebalang dan Institut Teknologi PLN yang telah memberi dukungan yang membantu pelaksanaan penelitian hingga terwujud.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT PLN (Persero), Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT PLN (Persero) 2019-2028, Jakarta: PT PLN (Persero), 2019.
- [2] PT PLN (Persero), Laporan Keuangan Konsolidasian Untuk Tahun-tahun yang Berakhir pada Tanggal 31 Desember 2017 dan 2016, Jakarta: PT PLN (Persero), 2018.
- [3] PT PLN (Persero), Laporan Keuangan Konsolidasian Untuk Tahun-tahun yang Berakhir pada Tanggal 31 Desember 2018 dan 2017, Jakarta: PT PLN (Persero), 2019.
- [4] PT PLN (Persero), Laporan Keuangan Konsolidasian Untuk Tahun-tahun yang Berakhir pada Tanggal 31 Desember 2019, 2018, dan 2017, Jakarta: PT PLN (Persero), 2020.
- [5] S. Balakrishnan, R. Nagarajan and K. Karthick, "Mechanistic modeling, numerical simulation and validation of slag-layer growth in a coal-fired boiler," Energy, vol. 81, pp. 462-470, 3 2015.
- [6] W. J. Shi, L. X. Kong, J. Bai, J. Xu, W. C. Li, Z. Q. Bai and W. Li, Effect of CaO/Fe2O3 on fusion behaviors of coal ash at high temperatures, vol. 181, 2018.
- [7] N. J. Sophia and H. Hasini, "Investigation on Coal Slagging Characteristics and Combustion Behaviour in Furnace," in MATEC Web of Conference, Malaysia, 2017.
- [8] The Babcock & Wilcox Company, Steam/ Its Generation and Use, 41 ed., USA: The Babcock & Wilcox Company, 2005.
- [9] George Waterhouse Consultants Ltd., GWC Coal Handbook, United Kingdom: George Waterhouse Consultants Ltd., 1991.
- [10] ASTM International, ASTM D2234 / D2234M-16, Standard Practice for Collection of a Gross Sample of Coal, West Conshohocken, PA: ASTM International, 2016.
- [11] ASTM International, ASTM D6609-08(2015), Standard Guide for Part-Stream Sampling of Coal, West Conshohocken, PA: ASTM International, 2015.
- [12] ASTM International, ASTM D4239-17, Standard Test Method for Sulfur in the Analysis Sample of Coal and Coke Using High-Temperature Tube Furnace Combustion, West Conshohocken, PA: ASTM International, 2017.
- [13] ASTM International, ASTM D3682-13, Standard Test Method for Major and Minor Elements in Combustion Residues from Coal Utilization Processes, West Conshohocken, PA: ASTM International, 2013.
- [14] ASTM International, ASTM D1857 / D1857M-17, Standard Test Method for Fusibility of Coal and Coke Ash, West Conshohocken, PA: ASTM International, 2017.