



Pengaruh Biomassa Terhadap Efisiensi Boiler Pada Pembangkit CFB Batubara Dalam Sistem Co-firing

Kawiarso¹, Nuryoto², Anton Irawan³

^{1,2,3}Program Studi Magister Teknik Kimia, Pascasarjana, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten

Received: 9 Januari 2023
Revised: 11 Januari 2023
Accepted: 13 Januari 2023

Abstract

The issue of global warming has gained widespread attention around the world. Warming of the atmosphere as a whole can be attributed mostly to the accumulation of more greenhouse gases (GHG). Coal is commonly used as a fuel source in steam power plants (PLTU), which results in a substantial CO₂ gas emission when burned. Cofiring is a technology that allows palm shell biomass to be used as a fuel source in place of coal, which helps reduce greenhouse gas emissions and so slows down global warming. Cofiring trials including palm kernel shells (PKS, Palm Kernel Shell) are being conducted by PT. XYZ in Ciwandan, starting with 33% PKS, 67% PKS, and finally 100% PKS fuel. The examination of generation 2's performance looks at the impact of using coal fuel with cofiring palm shell biomass at the percentage stage. After using the indirect approach (ASME PTC-4), we find that while using coal as fuel, the boiler efficiency (HHV) is 86.27%, however when using PKS, it is only 83.33%. The boiler efficiency (HHV) is 86.30% when using PKS at a 33% cofiring ratio, and it drops to 83.62% when using PKS at a 67% cofiring ratio. It can be theoretically construed as a boiler because the efficiency increases with the use of 100% PKS fuel are still near to the efficiency of the boiler design (HHV = 89.39), and the effect of using biomass does not significantly affect the boiler's efficiency. which can now be used for combustion when fueled only by PKS biomass.

Keywords: Biomassa, Boiler CFB, Cofiring, PKS

(*) Corresponding Author: antonirawan@untirta.ac.id

How to Cite: Kawiarso, K., Nuryoto, N., & Irawan, A. (2023). Pengaruh Biomassa Terhadap Efisiensi Boiler Pada Pembangkit CFB Batubara Dalam Sistem Co-firing. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 9(3), 281-296. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7625148>.

PENDAHULUAN

Topik pemanasan global telah menjadi terkenal di panggung internasional. Naiknya tingkat gas rumah kaca (GRK) di atmosfer adalah penyebab utama pemanasan global (atmosfer). Karena kemampuan gas untuk menahan dan mendistribusikan kembali panas matahari, suhu daratan dan lautan naik, akhirnya mencapai tingkat tinggi yang tidak normal (Samidjo & Suharso, 2017). Prediksi dan mitigasi dampak lingkungan dari emisi gas rumah kaca antropogenik (yang biasanya terjadi pada kegiatan industri dan pembakaran bahan bakar fosil) dianggap memiliki tingkat kerumitan yang tinggi karena atribut global yang melekat. Badan ilmiah, telah mengembangkan berbagai metrik emisi untuk memperkirakan kemungkinan dampak iklim dari berbagai gas rumah kaca.. Saat ini, potensi pemanasan global adalah metrik yang paling umum digunakan untuk membandingkan dampak berbagai gas rumah kaca. Nilai potensi pemanasan global sangat bergantung pada rentang waktu penghitungannya. Menurut Babatunde et al. (2020) dalam papernya tentang “*Prediction of global warming potential and carbon tax of a natural gas fired plan*”, jangka waktu khas untuk menghitung potensi



pemanasan global mengacu pada periode mulai dari 20 hingga 100 tahun. Setiap tolok ukur dihubungkan dengan pengali yang digunakan untuk menentukan pengaruh masing-masing gas rumah kaca terhadap karbon dioksida. Sejumlah besar badan pengatur di dunia mengadopsi tolok ukur 100 tahun.

Proses pembangkitan listrik, pasti terkait dengan produksi limbah gas dan partikulat, oleh karena itu berkontribusi besar terhadap emisi polutan lingkungan. Selain menyebabkan degradasi lingkungan, emisi polutan, khususnya gas rumah kaca, memiliki dampak eksternalitas negatif sosial yang luas dan dampak iklim yang merugikan. [2]. Pemanasan global disebabkan oleh peningkatan karbon dioksida (CO₂) dan CH₄ di atmosfer. Gas rumah kaca yang dihasilkan oleh faktor manusia, seperti CO₂ dan CH₄, mempercepat proses pemanasan global. Karena peningkatan emisi gas rumah kaca, suhu rata-rata global (Global Mean Temperature) meningkat sebesar 0,85°C dari tahun 1880 hingga 2012 (Sarofim & Giordano, 2018).

Emisi karbon dioksida (CO₂) yang sangat besar dari penggunaan bahan bakar fosil untuk pembangkit listrik telah memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pemanasan global. Mengingat hal ini, jalur teknologi telah dimulai untuk mengurangi efek emisi CO₂ melalui penangkapan, penyimpanan, dan pemanfaatan. Kegiatan antropogenik dari penggunaan bahan bakar fosil telah dilaporkan mengakibatkan implikasi kesehatan yang serius yang timbul dari emisi polutan gas. Selama bertahun-tahun berbagai tindakan telah dilakukan untuk mengurangi emisi polutan ini. Langkah-langkah tersebut meliputi penggunaan strategi teknologi seperti produksi biofuel, bahan bakar sintetik, penggunaan penangkapan, penyimpanan, dan pemanfaatan CO₂ (Ayodele et al., 2021).

Biomassa memiliki keunggulan yang berbeda dibandingkan penggunaan energi terbarukan lainnya seperti energi matahari dan tenaga angin, yang dibatasi karena pembangkitan listriknya terputus-putus. Sedangkan energi biomassa adalah satu-satunya energi terbarukan yang dapat digunakan dalam bentuk gas, cair, atau padat, sekaligus dapat menggantikan bahan bakar fosil (Loha et al., 2019). Sebagian besar ilmuwan yang mempelajari lingkungan sangat tidak setuju bahwa perubahan iklim adalah akibat dari pemanasan global. Penyebab pasti pemanasan global tidak diketahui, tetapi diyakini secara luas terkait dengan meningkatnya kadar gas rumah kaca di atmosfer bumi. Gas-gas ini termasuk karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dinitro-oksida (N₂O), perfluorokarbon (PFC), hidrofluorokarbon (HFC), dan sulfur heksafluorida (SF₆) (Sugiyono, 2006).

Emisi gas rumah kaca sebagian besar disebabkan oleh produksi listrik dan sektor transportasi, dengan produksi listrik saat ini menyumbang sekitar sepertiga dari emisi dunia. Aktivitas manusia seperti pembakaran biomassa untuk bahan bakar, penggundulan hutan, pembukaan lahan, dan proses industri lainnya bertanggung jawab atas sisa emisi gas rumah kaca yang disebabkan oleh manusia (Nuraini & Lubis, 2005). Biomassa dapat diubah menjadi beberapa bentuk energi terbarukan yang berbeda. Energi biomassa dapat berasal dari berbagai sumber, antara lain kayu bakar, limbah industri kayu, limbah perkebunan/pertanian, briket kayu, arang dan briket arang. Sumber utama energi biomassa pada industri pertambangan antara lain kayu bakar, limbah penebangan, limbah industri kayu, arang dan briket arang (Tampubolong, 2013).

Kadar air, kadar abu, nilai kalor, dan kandungan logam alkali dari biomassa semuanya berbeda secara signifikan dengan bahan bakar fosil pada umumnya. Abu dari biomassa seringkali memiliki jumlah logam alkali yang lebih tinggi termasuk kalium (K), klorin (Cl), dan silikon (Si), bersama dengan rentang kandungan air yang luas dan belerang yang sangat sedikit. Potensi perilaku kandungan abu untuk membentuk endapan pada temperatur di bawah ruang bakar dapur boiler dapat diubah secara drastis tergantung pada karakteristik bahan bakar biomassa yang digunakan. Peralatan pemanas boiler mungkin berisiko mengalami slagging, fouling, korosi, aglomerasi, dan sintering saat menggunakan berbagai jenis biomassa sebagai bahan bakar (Harnowo & Yunaidi, 2021).

Dengan potensi sebesar 146,7 juta ton per tahun, biomassa Indonesia merupakan sumber energi utama yang sangat potensial. Sedangkan dari sampah dapat dihasilkan hingga 53,7 juta ton Biomassa pada tahun 2020. Hasil samping hewan dan tumbuhan berpotensi untuk dimanfaatkan dan dikembangkan. Pertanian menghasilkan banyak produk sampingan yang dapat dimanfaatkan dengan baik, seperti biofuel dan alas tidur hewan (Parinduri & Parinduri, 2020). Untuk mendorong pembangunan berkelanjutan, pemerintah Indonesia telah merumuskan kebijakan energi nasional yang mengambil pendekatan holistik pada semua sektor pembangunan, dengan fokus pada isu konservasi dan daya dukung lingkungan. Instansi pemerintah (BATAN, BPPT, Ditjen LPE dan Migas, Kementerian ESDM, BPS, KLH, PT PLN Persero) dan perguruan tinggi di Indonesia berkolaborasi untuk melakukan studi perencanaan energi jangka panjang (Harjanto et al., 2012).

Co-firing biomassa dengan batubara memperkenalkan biofuel sebagai sumber energi tambahan dalam penggunaan boiler efisiensi tinggi. Ide *co-firing* dari biomassa dengan batubara memperoleh signifikansi khusus untuk pengurangan CO₂ dari boiler berbahan bakar batubara yang ada untuk mencari global mitigasi perubahan iklim secara terbarukan dan berkelanjutan. Ini dianggap sebagai pilihan yang terbaik (risiko terendah dan paling murah) untuk tujuan ini. Saat ini, bahan bakar biomassa berpotensi mencakup kayu, tanaman kayu rotasi pendek, limbah pertanian, rotasi pendek herba, limbah kayu, ampas tebu, limbah kertas, limbah padat kota, serbuk gergaji, rumput, limbah dari makanan tanaman air, limbah hewan dan sejumlah lainnya bahan (De & Assadi, 2009).

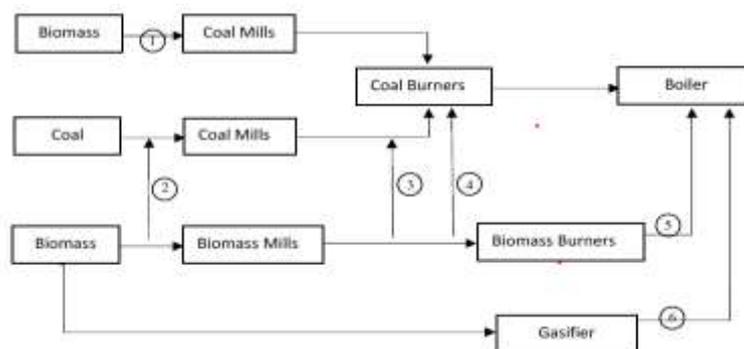
Co-firing (pembakaran Bersama), merupakan praktik penambahan bahan bakar dasar dengan bahan bakar yang berbeda, ini merupakan perpanjangan dari praktik pencampuran bahan bakar umum untuk komunitas bahan bakar padat. Baru-baru ini, ada penekanan yang cukup besar pada peluang pembakaran bersama biomassa bahan bakar dengan batubara dalam pulverized coal (PC) dan boiler siklon yang dimiliki dan dioperasikan oleh pembangkit listrik secara berurutan untuk mengatasi masalah seperti standar portofolio potensial, tindakan sukarela untuk mengurangi emisi CO₂ fosil. Bahan bakar biomassa yang dipertimbangkan untuk *co-firing* antara lain kayu limbah, tanaman berkayu rotasi pendek, tanaman herba rotasi pendek (misalnya, switchgrass), batang alfalfa, berbagai jenis pupuk kandang, gas darat dan gas pengolahan air limbah (Tillman, 2000).

Dalam *co-firing*, juga dikenal sebagai co-combustion, dua atau lebih bahan bakar dibakar dalam satu alat pembakaran, seringkali berupa ketel uap. *Co-firing* batubara dan biomassa dapat dianggap paling dasar sebagai sistem tambahan untuk boiler berbahan bakar batubara (Suganal & Hudaya, 2019).

Co-firing, dalam arti luas, mengacu pada pembakaran simultan lebih dari satu sumber bahan bakar. Sistem *co-firing* membantu mengurangi emisi gas berbahaya termasuk karbon monoksida, sulfur oksida, dan nitrogen oksida, yang semuanya dihasilkan saat membakar bahan bakar fosil. Pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batu bara mendapat manfaat dari sistem *co-firing* karena hal ini. Dari perspektif proses pembakaran, tampak bahwa setidaknya ada dua jenis *co-firing* yang berbeda: *co-firing* langsung dan *co-firing* tidak langsung. Penembakan bersama langsung, yang melibatkan pembakaran biomassa dan batu bara pada saat yang sama, adalah yang paling hemat biaya dari dua proses pembakaran. Gasifikasi biomassa datang sebelum *co-firing* tidak langsung (Suganal & Hudaya, 2019).

Upaya untuk mengatasi permasalahan sampah telah dilakukan oleh beberapa pemerintah daerah, diantaranya Pemda Klungkung (Bali) bersama Sekolah Tinggi Teknik (STT) PLN dan Indonesia Power (IP) meluncurkan program Tempat Olah Sampah Setempat (TOSS). Sampah langsung diolah menjadi briket dan Pellet dengan metode peuyeumisasi. Pellet yang berupa bulatan-bulatan kecil mengandung kalori 2500 - 4000 kkal/kg yang kemudian bisa dimanfaatkan pembangkitan listrik skala besar untuk dicampur dengan batubara (Fadli et al., 2019).

PLTU Donghae berinovasi melakukan *co-firing* batubara dengan Pellet sampah yang dikenal memiliki nilai VM (volatile matter) tinggi, dengan perbandingan 1-5% Pellet sampah. Pellet sampah yang dibutuhkan adalah 4,2 t/h. Hasilnya adalah tidak ada perubahan signifikan pada temperatur, tekanan dan emisi sebelum maupun setelah *co-firing* (Fadli et al., 2019). *Co-firing* biomassa tidak memberikan kontribusi terhadap dampak rumah kaca karena biomassa menyerap jumlah CO₂ yang sama yang dilepaskan selama pembakarannya. Karena sebagian besar bahan bakar biomassa memiliki lebih sedikit sulfur dan nitrogen daripada batu bara, emisi NO_x dan SO_x seringkali dapat diturunkan dengan pembakaran bersama biomassa. Dalam beberapa tahun terakhir, *co-firing* biomassa dan batu bara telah mendapatkan perhatian yang cukup besar karena alasan ini. Secara umum, biomassa memiliki kandungan moisture dan volatile matter yang tinggi, karbon padat dan nilai kalor yang sangat rendah, serta kadar abu yang sangat rendah yaitu kurang dari 5 % (Suganal & Hudaya, 2019).



Gambar 1. Biomass Firing And Co-Firing Technology

Contoh penggunaan biomassa dan prosedur *co-firing* yang dapat diterapkan di pembangkit listrik ditunjukkan pada gambar 1. Gambar 1 di atas menggambarkan

kemungkinan alur kerja untuk proses pembakaran biomassa, dan berikut menjelaskan teknologi co-firing yang dapat digunakan dalam proses berikut: 1. bahan baku biomassa digiling di pabrik batubara yang telah dikonversi untuk penggunaan biomassa. 2. biomassa dan batubara dicampur terlebih dahulu dan dihaluskan sebelum dikirim melalui mill pulverizer dan pipa batubara yang sudah terpasang ke pembakar batubara. 3. biomassa digiling secara terpisah dan kemudian disuntikkan ke saluran batubara menuju ke pembakar batubara. 4. Jalur biomassa khusus akan digunakan untuk menyuntikkan biomassa ke dalam tanur, yang akan memerlukan beberapa penyesuaian pada pembakar batubara. 5. Pembakar khusus biomassa dan pasokan bahan bakar biomassa yang masuk untuk tungku. 6. Gasifikasi biomassa dan pembakaran gas dalam boiler adalah metode keenam.

Co-firing biomassa dianggap sebagai salah satu opsi menarik untuk pemanfaatan biomassa dalam industri pembangkit listrik. Ini didefinisikan sebagai pencampuran dan pembakaran biomassa secara bersamaan dengan bahan bakar lain seperti batu bara dan/atau gas alam dalam boiler untuk menghasilkan listrik. Banyaknya bahan bakar biomassa yang dico-fired disebut co-firing level atau laju co-firing. Co-firing biomassa di boiler berbahan bakar batubara yang ada adalah pendekatan praktis untuk meningkatkan penggunaan biomassa sebagai bahan bakar. Ini karena memanfaatkan infrastruktur yang tersedia secara luas dan menghadirkan peluang langsung untuk produksi listrik dari biomassa dengan cara yang efisien dan bersih. Cofiring biomassa dengan batubara juga menawarkan beberapa manfaat lingkungan. Ini mengurangi emisi karbon dioksida, gas rumah kaca yang dapat berkontribusi pada efek pemanasan global. Biomassa juga mengandung belerang yang jauh lebih sedikit daripada kebanyakan batubara. Oleh karena itu, co-firing biomassa akan mengurangi emisi sulfur dioksida (Verma et al., 2017).

Bahan bakar padat (batubara, cangkang sawit, dll.) tersuspensi di udara masuk boiler tipe CFB (*Circulating Fluidized Bed*) dan dibakar bersama dengan material sistem *fluidized bed* yang bersirkulasi (oleh tekanan udara masuk). Partikel (padatan butiran) seperti pasir silika, batu kapur, dan abu bahan bakar adalah contoh bahan alas yang dimaksud. (Basu, 2015). Untuk co-firing campuran batubara dan biomassa, diperlukan kadar air biomassa harus berada dalam kisaran tertentu agar kinerja boiler dan efisiensi pembangkit meningkat. Kelembaban dalam biomassa ada tiga bentuk: uap air, air kapiler dalam pori-pori dan air terikat dalam matriks padat. Pengeringan biomassa terjadi pada suhu sekitar 100–200 °C ketika kelembapan dari biomassa dikeluarkan dan diubah menjadi uap. Kadar air optimum biomassa kayu adalah antara 10 dan 15% berat untuk pembakaran (Verma et al., 2017).

Biomassa dianggap sebagai CO₂-netral dan menarik lebih banyak perhatian dengan deteriorasi efek rumah kaca. Namun, kandungan potasium dan klorin dalam biomassa sangat tinggi, yang menyebabkan masalah terak dan korosi sehingga menjadi ancaman besar untuk pengoperasian furnace. Akibatnya, biomassa biasanya disarankan untuk dibakar bersama dengan bahan bakar fosil untuk mengurangi pengotoran. Namun demikian, kandungan nitrogen dalam biomassa lebih rendah daripada batubara dan jika kita menggabungkan pementasan udara dan pembakaran bersama biomassa, pengurangan NO_x yang lebih tinggi dapat dicapai (Wang et al., 2014). Dalam artikel ini, yang menjadi keterbaruan yang dilakukan

oleh PT. XYZ adalah melakukan pengujian penggunaan biomasa (cangkang kelapa sawit) untuk cofiring dengan prosentase 33%, 67% hingga 100% biomasa untuk mengetahui apakah secara tehnikal, boiler nya sesuai/bisa untuk 100% pembakaran biomasa cangkang kelapa sawit..

PT. XYZ yang berlokasi di wilayah Ciwandan, memiliki 2 unit Power Plant berkapasitas 2 x 151,5 MW gross atau total nett 230 MW. PT. XYZ prihatin dengan upaya global untuk mengurangi emisi dengan menggenjot penggunaan sumber energi bersih dan menurunkan persentase energi fosil, khususnya di pembangkit listrik. Untuk mencapai tujuan tersebut, digunakanlah biomasa cangkang kelapa sawit sebagai pembakaran bersama (Co-firing) pada boiler-nya dengan berbagai tahapan hingga 100% biomasa. Untuk itu analisa penggunaan bahan bakar alternatif tersebut perlu dilakukan untuk mengetahui efisiensi boiler-nya, serta mengetahui apakah boiler yang ada sekarang sesuai bila digunakan untuk pembakaran biomasa 100% PKS.

METODE

Dalam penelitian ini, pengumpulan data lapangan diambil ketika dilakukan cofiring menggunakan bahan bakar batubara 67%, 33% dan cangkang kelapa sawit 33%, 67% serta perbandingan 100% bahan bakar menggunakan Cangkang Kelapa Sawit dan batubara dengan menggunakan metode langsung dan metode tidak langsung. Adapun data yang diperlukan untuk perhitungan efisiensi boiler adalah:

- Analisis Proximate & ultimate bahan bakar (C, H, O, N, S, kadar air, kadar abu).
- Persentase oksigen atau CO₂ dalam gas buang.
- Temperatur gas buang °C (Tf)
- Temperatur udara sekitar °C (Ta) dan kelembaban udara dalam kg/kg udara kering
- GCV bahan bakar dalam kkal/kg
- Persentase bahan yang dapat terbakar dalam abu (untuk bahan bakar padat)
- GCV abu dalam kkal/kg (untuk bahan bakar padat)

Menghitung Efisiensi Boiler

Terdapat dua metode pengkajian efisiensi boiler, yaitu dengan metoda langsung dan metoda tidak langsung (Satria et al., 2021) yaitu: Metoda Langsung/Direct Method (metode input-output). Metode ini hanya memerlukan keluaran (steam) dan panas masuk (bahan bakar) untuk evaluasi efisiensi. Efisiensi ini dapat dievaluasi dengan menggunakan rumus:

Dimana :

Q = Jumlah steam yang dihasilkan per jam (T/H)

Hg = Entalpi steam jenuh dalam kkal/kg steam

Hf = Entalpi air umpan dalam kkal/kg air

B = Jumlah bahan bakar yang digunakan per jam (T/H)

HHV = Nilai kalor dari bahan bakar (Kcal/Kg)

Metode Tidak Langsung (Heat loss model)

US Standard ASME PTC-4-1 Power Test Code Unit Pembangkit Uap adalah standar referensi untuk uji efisiensi boiler di tempat yang menggunakan pendekatan tidak langsung. Teknik tidak langsung kadang-kadang disebut sebagai teknik kehilangan panas. Efisiensi boiler (η) = 100 – I + ii + iii + iv + v + vi + vii+viii). Kehilangan yang terjadi dalam boiler adalah kehilangan panas yang diakibatkan oleh:

- i. Gas cerobong yang kering
- ii. Penguapan kadar air dalam bahan bakar
- iii. Penguapan air yang terbentuk karena H₂ dalam bahan bakar
- iv. Bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu
- v. Radiasi
- vi. Kehilangan yg tidak terukur
- vii. Kehilangan Lainnya (kadar air dalam udara pembakaran)
- viii. Efek Draft Fan (Fan Heat Credits - Gains).

Kerugian yang bergantung pada bahan bakar, tidak terkendali, dan tidak dapat dirancang termasuk yang disebabkan oleh pembakaran hidrogen dan kerugian terkait bahan bakar seperti yang disebabkan oleh kelembapan.

HASIL & PEMBAHASAN

Analisa Bahan Bakar Batubara, Biomasa Dan Efisiensi Boiler

Pembangkit di PT. XYZ menggunakan batubara jenis sub-bituminous sebagai bahan bakarnya. Sesuai design, boiler nya mampu menghasilkan steam sebesar 500 T/H. Berikut adalah data panas yang masuk dan keluar dari PLTU PT. XYZ dan analisis bahan bakar batubara dan cangkang sawit (PKS, Palm Kernel Shell) yang akan digunakan dalam pendekatan persamaan tidak langsung. Berdasarkan kondisi operasi pada tanggal 6 Juli 2022 dengan beban 66 MW dan bahan bakar batubara 100%, maka perhitungan efisiensi boiler unit 2 menggunakan pendekatan tidak langsung seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Analisis Data Batubara

No	Item	Simbol	As tested	Unit
1	Coal analysis			
	Carbon (ADB)	C	61,43	%
	Hydrogen (DB)	H	4,59	%
	Nitrogen (DB)	N	1,09	%
	Sulfur (DB)	S	0,13	%
	Oxygen	O	20,44	%
	Ash content	Ash	2,07	%
	Total Moisture	TM	28,49	%
	Inherent Moisture	IM	12,90	%
GCV Batubara	HHV	4746	Kkal/kg	
2	Ambient Temp	Ta	32,3	°C
3	Suhu Gs Buang	TF	124,7	°C
4	Persentasi O ₂		10,0	%
5	Kelembaban Udara	RH	69,70	%

Tabel 3. Analisa Data Palm Kernel Shell Analysis (PKS)

No	Item	Simbol	As tested	Unit
----	------	--------	-----------	------

1	Palm Kernel Shell Analysis			
	Carbon	C	49,90	%
	Hydrogen	H	5,38	%
	Nitrogen	N	0,85	%
	Sulfur	S	0,08	%
	Oxygen	O	31,77	%
	Ash content	ASH	5,56	%
	Total Moisture	MF	20,84	%
	GCV PKS	HHV	3870	kkal/Kg
2	Ambient temperature	Ta	32,3	°C
3	Suhu Gas Buang	Tf	131,2	°C
4	Persentase oxygen		13,1	%
5	Kelembaban udara	RH	69,70	%

Berdasarkan Tabel 3 menunjukkan data analisis PKS yang digunakan untuk menghitung efisiensi unit boiler 2 melalui pendekatan tidak langsung pada tanggal 6 Juli 2022 saat boiler beroperasi pada beban 66 MW dengan satu-satunya sumber bahan bakar cangkang sawit (PKS).

Analisa Bahan Bakar

Berdasarkan kedua data (Coal dan PKS) yang diambil dari COA (Certificate Of Analysis) seperti pada Tabel 2 dan 3, diketahui bahwa batubara memiliki prosentase nilai karbon yang lebih besar, yaitu lebih tinggi 11,53% dibanding cangkang kelapa sawit. Dengan nilai karbon yang lebih besar membuat batubara memiliki potensi energi/kalori yang lebih besar, sehingga konsumsi bahan bakarnya lebih sedikit, hal ini sejalan dengan nilai kalor (GCV, Gross Calorie Value), nilai kalor batubara 4746 Kkal/kg, sedangkan PKS 3870Kkal/kg, batubara memiliki 876 Kkal lebih besar per kilo gramnya dibandingkan PKS, artinya bila menggunakan bahan bakar PKS akan dibutuhkan jumlah PKS yang lebih banyak dibandingkan dengan batubara pada beban boiler yang sama.

Efisiensi Boiler

Tabel 4. Data Efisiensi Boiler

No	Item	As tested	Unit
1	Jumlah steam yang dihasilkan (Q)	238,0	ton/jam
2	Tekanan steam	120,9	kg/cm ² .g
3	Temperatur Steam	539,4	°C
4	Entalpy Steam (Hg)	825,293	kkal/kg
5	Temperatur air umpan	148,2	°C
6	Enthalpy air umpan (Hf)	149,184	kkal/kg
7	Jumlah pemakaian batubara (B)	37,650	ton/jam
8	GCV batubara (HHV)	4746	kkal/kg

Tabel 4. Data yang digunakan untuk menentukan efisiensi boiler unit 2 dengan menggunakan metode langsung pada kondisi operasi tanggal 6 Juli 2022 pada beban 66 MW dengan bahan bakar 100% batubara. Efisiensi Boiler (**h**) = Q .

$(H_g - H_f) \cdot 100\% / (B \cdot HHV)$ Efisiensi Boiler (h) dengan metoda langsung pada penggunaan bahan bakar batubara 100% adalah sebesar 91,39%.

Tabel 5. Analisa Data Panas



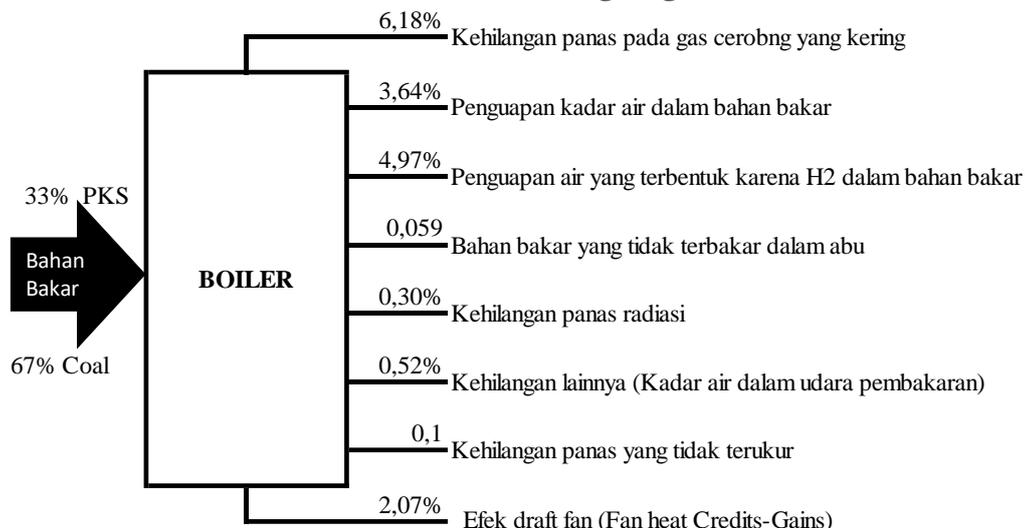
Tabel 5. Data analisa kehilangan panas yang digunakan untuk menentukan efisiensi boiler unit 2 dengan menggunakan metode tidak langsung pada kondisi operasi tanggal 6 Juli 2022 pada beban 66 MW dengan bahan bakar batubara 100%. Jadi efisiensi boiler (h) in HHV ketika menggunakan bahan bakar batubara 100 % dengan metoda tak langsung adalah: $= 100 - (i + ii + iii + iv + v + vi + vii + viii) = 100 - 13,73 = 86,27 \%$.

Tabel 6. Efisiensi Boiler Metode Langsung

No	Item	As tested	Unit
1	Jumlah steam yang dihasilkan (Q)	225,4	ton/jam
2	Tekanan steam	120,6	kg/cm2.g
3	Temperatur Steam	539,8	°C
4	Entahlpy Steam (Hg)	825,616	kkal/kg
5	Temperatur air umpan	148,8	kg/cm2.g
6	Enthalpy air umpan (Hf)	149,8	kkal/kg
7	Jumlah pemakaian bahan bakar (33% PKS dan 67% Batubara) (B)	38,50	ton/jam
8	GCV PKS (HHV)	4426,3	kkal/kg

Tabel 6. Data yang digunakan untuk menentukan efisiensi boiler unit 2 dengan menggunakan metode langsung pada kondisi operasi tanggal 6 Juli 2022 pada beban 66 MW dengan bahan bakar 33% PKS dan 67% batubara. Efisiensi Boiler (h) $= Q \cdot (H_g - H_f) \cdot 100\% / (B \cdot HHV)$ Jadi dengan metoda langsung, efisiensi Boiler (h) berbahan bakar 100% = 89,89%.

Tabel 7. Efisiensi Boiler Metode Tidak Langsung



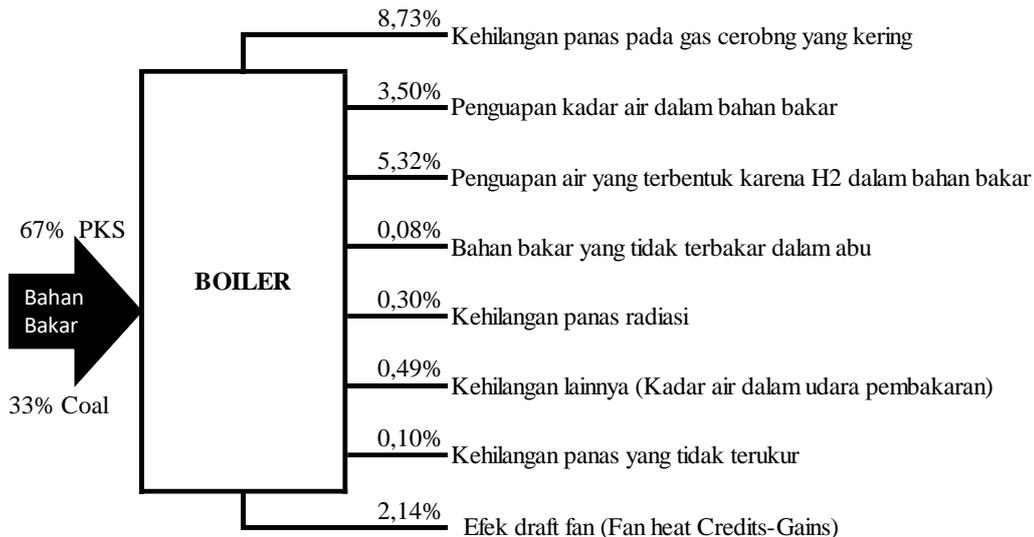
Tabel 7. Data analisa kehilangan panas yang digunakan untuk menentukan efisiensi boiler unit 2 dengan menggunakan metode tidak langsung pada kondisi operasi tanggal 6 Juli 2022 pada beban 66 MW dengan bahan bakar 33% PKS dan 67% batubara. Jadi efisiensi boiler (h in HHV dengan cofiring batubara 67% dan PKS 33% menggunakan methoda tidak langsung $= 100 - (i + ii + iii + iv + v + vi + vii + viii) = 100 - 13,70 = 86,30 \%$).

Tabel 8. Analisa Data Efisiensi Boiler Unit 2 Metode Langsung

No	Item	As tested	Unit
1	Jumlah steam yang dihasilkan (Q)	227,7	ton/jam
2	Tekanan steam	121,5	kg/cm2.g
3	Temperatur Steam	539,5	°C
4	Entahlpy Steam (Hg)	825,204	kkal/kg
5	Temperatur air umpan	148,8	kg/cm2.g
6	Enthalpy air umpan (Hf)	149,8	kkal/kg
7	Jumlah pemakaian bahan bakar (67% PKS dan 33% Batubara) (B)	41,390	ton/jam
8	GCV PKS (HHV)	4144,0	kkal/kg

Tabel 8. Data yang digunakan untuk menentukan efisiensi boiler unit 2 dengan menggunakan metode langsung pada kondisi operasi tanggal 6 Juli 2022 pada beban 66 MW dengan bahan bakar 67% PKS (33% batubara). Efisiensi Boiler (h) $= Q \cdot (H_g - H_f) \cdot 100\% / (B \cdot HHV)$ Efisiensi Boiler (h) = **90,24%**.

Tabel 9.



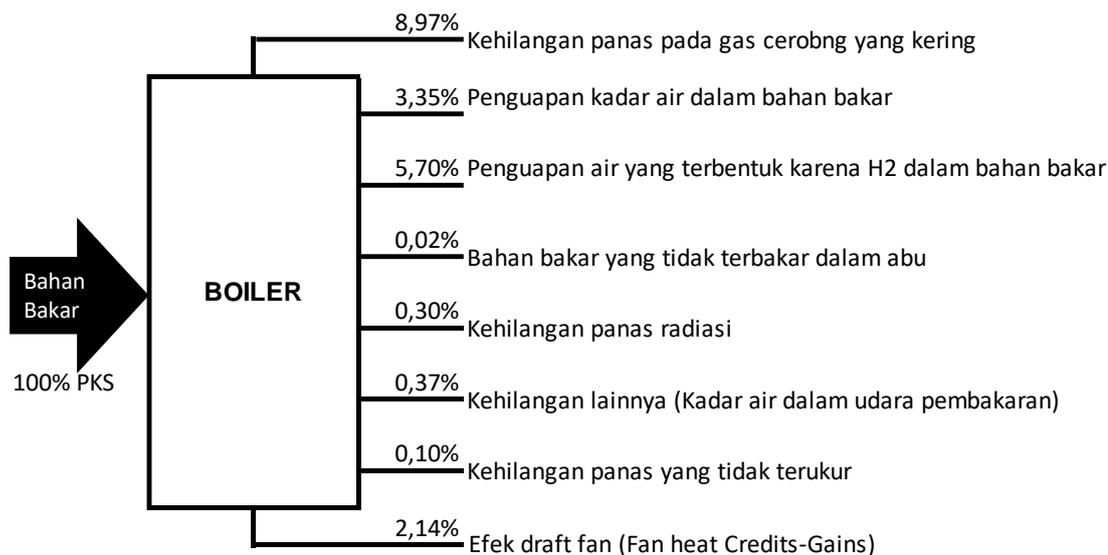
Tabel 9. Data Analisa kehilangan panas yang digunakan untuk menentukan efisiensi boiler unit 2 dengan menggunakan metode langsung pada kondisi operasi tanggal 6 Juli 2022 pada beban 66 MW dengan bahan bakar 67% PKS dan 33% batubara. Jadi efisiensi boiler (h) in HHV dengan cofiring batubara 33% dan PKS 67% dengan metoda tidak langsung sebesar = $100 - (i + ii + iii + iv + v + vi + vii + viii) = 100 - 16,38 = 83,62 \%$.

Tabel 10. Data yang digunakan untuk menentukan efisiensi boiler unit 2 dengan **metode langsung** pada kondisi operasi tanggal 6 Juli 2022 pada beban 66 MW dengan **bahan bakar 100% Cangkang Kelapa Sawit (Palm Kernel Shell/PKS)**

No	Item	As tested	Unit
1	Jumlah steam yang dihasilkan (Q)	225,1	ton/jam
2	Tekanan steam	121,5	kg/cm2.g
3	Temperatur Steam	538,8	°C
4	Entahlpy Steam (Hg)	824,6	kcal/kg
5	Tekanan air umpan	123,89	kg/cm2.g
6	Temperatur air umpan	147,87	kg/cm2.g
7	Enthalpy air umpan (Hf)	150,6	kcal/kg
8	Jumlah pemakaian PKS (B)	44,509	ton/jam
9	GCV PKS (HHV)	3870	kcal/kg

Efisiensi Boiler (h) = $Q \cdot (H_g - H_f) \cdot 100\% / (B \cdot HHV)$ **Efisiensi Boiler (h) = 88,29%.**

Tabel 11. Data yang digunakan untuk menentukan efisiensi boiler unit 2 dengan metode tidak langsung pada kondisi operasi tanggal 6 Juli 2022 pada beban 66 MW dengan bahan bakar 100% Cangkang Kelapa Sawit (Palm Kernel Shell/PKS).

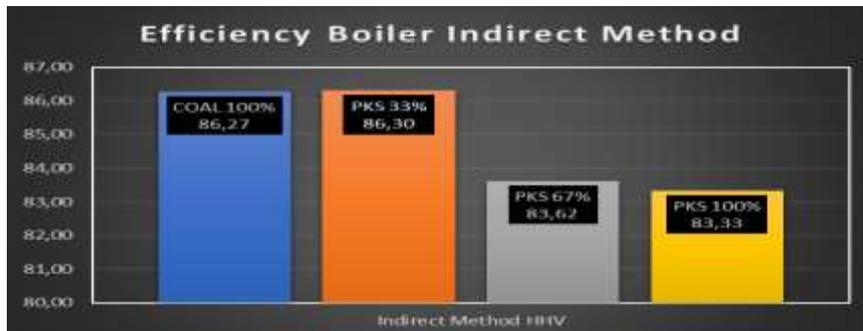


Jadi efisiensi boiler (η) in HHV dengan bahan bakar PKS 100% menggunakan metoda tidak langsung adalah sebesar = $100 - (i + ii + iii + iv + v + vi + vii + viii) = 100 - 16,67 = 83,33 \%$

Berdasarkan perhitungan efisiensi boiler dengan metoda tidak langsung seperti ditunjukkan pada Tabel 5 ketika berbahan bakar batu bara 100%, pada Tabel 11 dengan bahan bakar PKS 100% maupun dengan cofiring 33% PKS dan 67% batubara (Pada Tabel 7) serta cofiring 67% PKS dan 33% batubara (Pada Tabel 9), diketahui ada 3 kehilangan panas terbesar yang berpengaruh besar terhadap efisiensi boiler, yakni kehilangan panas yang terjadi pada gas cerobong kering, kehilangan panas karena penguapan air yang terbentuk karena H₂ dalam bahan bakar serta kehilangan panas karena penguapan kadar air dalam bahan bakar.

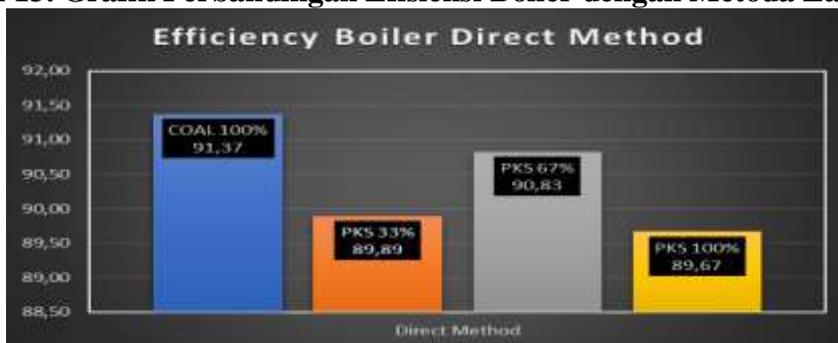
Kehilangan panas pada gas cerobong kering (heat loss due to dry gas) mendominasi kehilangan panas (Tabel 5, 7, 9 dan 11). Dari analisa berdasarkan prosentase bahan bakar tersebut, terlihat kehilangan panas pada dry gas tersebut yang terbesar adalah 8,97% (Tabel 11), terjadi pada saat penggunaan bahan bakar PKS 100%. Kehilangan panas pada gas cerobong kering (heat loss due to dry gas) dengan bahan bakar biomasa cangkang sawit (Tabel 11) lebih besar dibandingkan dengan penggunaan batubara (Tabel 5), hal ini dikarenakan ash content pada PKS lebih besar daripada batubara. Disamping itu heat loss due to dry gas tinggi karena excess air berlebih/tinggi, actual air supplied/total air flow tinggi sehingga temperatur flue gas juga tinggi. Secara teoritical, fly ash hasil pembakaran yang keluar dari boiler masih memiliki kalori yang tinggi, kalori tersebut dimanfaatkan kembali menggunakan media air heater yang fungsinya memanaskan udara dari pembakaran. Fly ash yang keluar dari air pre-heater sebetulnya masih memiliki kalor namun tidak bisa dimanfaatkan lagi sehingga dihitung sebagai kerugian panas karena terbawa gas buang kering (dry gas). Dari ke empat tabel perhitungan dengan metoda tidak langsung seperti ditunjukkan pada Tabel 5, Tabel 7, Tabel 9, Tabel 11, maka dapat digambarkan perbandingan efisiensi boilernya sebagai berikut (Tabel 12).

Tabel 12. Grafik Perbandingan Efisiensi dengan Metoda Tidak Langsung (HHV)



Dari Tabel 12 diketahui bahwa dengan menggunakan analisa indirect method (metoda tidak langsung), efisiensi boiler (in HHV) menggunakan bahan bakar batubara 100% lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar cangkang sawit 100%, hal ini karena nilai kalori dari bahan bakar batubara (Tabel 2) lebih besar dibanding cangkang sawit (table 3), sehingga konsumsi batubara nya lebih sedikit dan efisiensinya lebih besar.dibanding PKS. Adapun mengacu pada Tabel 4, Tabel 6 dan Tabel 8 hasil efisiensi boiler menggunakan metoda langsung (Direct Method) dengan kondisi operasi pada bahan bakar 100% batubara, cofiring 33% PKS, Cofiring 67% PKS dan bahan bakar 100% PKS, efeisiensi boiler nya bisa dibandingkan dalam tabel grafik berikut (Tabel 13).

Tabel 13. Grafik Perbandingan Efisiensi Boiler dengan Metoda Langsung



Dengan menggunakan analisa direct method (metoda langsung), efisiensi boiler (in HHV) menggunakan bahan bakar batubara 100% lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar cangkang sawit 100% (Tabel 13), hal ini karena nilai kalori dari bahan bakar batubara (Tabel 2) lebih besar dibanding cangkang sawit (Table 3), sehingga konsumsi batubara nya lebih sedikit dan efisiensinya lebih besar.dibanding PKS. Bila dibandingkan antara efisiensi boiler dengan menggunakan metoda langsung dan tidak langsung, hasil analisa dengan metoda langsung menunjukkan nilai efisiensi yang lebih besar (Tabel 12) dibandingkan dengan perhitungan efisiensi metoda tidak langsung (Tabel 13), hal ini karena pada metoda langsung mengambil data langsung dari DCS, tanpa memperhitungkan kehilangan panas dan nilai eror dari aliran bahan bakar batubara. Kelebihan menggunakan direct method ini adalah membutuhkan perhitungan yang lebih

sedikit, dan tidak memerlukan estimasi dari losses yang tidak terhitung, namun kekurangannya kita tidak bisa menghitung losses pada boiler, dan untuk meminimalkan error maka flow bahan bakar, heating value bahan bakar, flow uap dan properties uap harus diukur secara akurat.

ANALISA EMISI

Untuk membandingkan emisi yang dihasilkan pada saat dilakukan pengetestan dengan batubara 100% dan PKS 100%, hasil pengukuran yang dilakukan oleh Laboratorium pihak ketiga ditunjukkan data pada table 14 sebagai berikut :

Tabel 14. Hasil pengukuran emisi oleh Pihak ketiga PT. Unilab Perdana

PT UNILAB PERDANA

Parameter		Baku Mutu	100 % Coal		100 % PKS	
			Raw	Corrected	Raw	Corrected
Particulate	mg/m ³	300	14	18	53	101
SO ₂	mg/m ³	600	< 1		< 1	
Nox	mg/m ³	800	238		201	
HCL	mg/m ³	5	4		1	
Cl ₂	mg/m ³	5	< 0,05		< 0,05	
NH ₃	mg/m ³	1	0,08		0,09	
HF	mg/m ³	8	0,4		0,7	
Opacity	%	30	< 20		< 20	
CO ₂	%	-	9,7		7,1	
Velocity	m/sec	-	18,49		19,13	
O ₂	%	-	10		13,1	

Semua parameter pengukuran emisi pada Tabel 14 di atas menunjukkan hasil dibawah baku mutu, namun demikian dengan bahan bakar PKS akan menghasilkan partikulat yang lebih besar, sehingga dalam waktu yang lama akan terbentuk kerak pada boiler yang perlu mendapat perhatian serius. Kerak ini akan mempengaruhi panas pembakaran.

Menghitung Penurunan emisi CO₂

Tabel 15. Penurunan emisi CO₂ dengan bahan bakar PKS 100%

FUEL CONSUMPTION	UNIT	
BIOMASS / PKS	ton	360,24
Calory Value Coal	tCal/ton	4700
Calory Value PKS	tCal/ton	3870
Coal Equivalent	ton	296,61
Energy Conversion Factor	ton/GJ	18,9
CO ₂ Conversion Factor	tCO ₂ /GJ	0,0961
ReduceCO₂ Emission	ton	538,7

Pada saat uji coba bahan bakar PKS 100%, telah digunakan PKS sebanyak 360,24 ton atau setara dengan 296,61 ton batubara. Dengan *energy conversion factor* 18,9 ton/GJ dan CO₂ conversion factor sebesar 0,0961 tCO₂/GJ mengacu ke Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No P.73/MENLHK/SETJEN/KUM.1/12/2017 tentang Pedoman Penyelenggaraan dan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional, maka didapat penurunan emisi CO₂ sebesar 538,7 ton. Hal ini berarti dengan menggunakan PKS 100% pada

pemakaian bahan bakar PKS 360,24 ton (Tabel 15) , akan memberikan penurunan emisi CO₂ sebesar 538,7 ton.

KESIMPULAN

Design efisiensi boiler PLTU PT. XYZ unit 2 dengan menggunakan bahan bakar batubara 100% adalah 89,39% (in HHV), artinya dengan menggunakan metoda tidak langsung pada kondisi operasi 6 Juli 2022 efisiensi boiler sebesar 86,27 % (in HHV), jadi masih mendekati efisiensi desain. Dengan bahan bakar cangkang sawit 100% menggunakan metoda tidak langsung, efisiensi boiler (HHV) PLTU PT. XYZ unit 2 menunjukkan 83,33 %, dengan emisi CO₂ yang lebih rendah. Terjadi penurunan efisiensi sebesar 2,94% (menggunakan metoda tidak langsung) antara penggunaan batubara 100% dengan cangkang sawit (PKS) 100%. Dengan selisih efisiensi boiler yang tidak signifikan tersebut ketika menggunakan bahan bakar 100% cangkang kelapa sawit, artinya secara technical desain boiler yang ada sekarang cocok/sesuai untuk digunakan sebagai pembakaran dengan sumber bahan bakar cangkang kelapa sawit.

DAFTAR PUSTAKA

- Ayodele, O. F., Ayodele, B. V., Mustapa, S. I., & Fernando, Y. (2021). Effect of activation function in modeling the nexus between carbon tax, CO₂ emissions, and gas-fired power plant parameters. *Energy Conversion and Management: X*, 12, 100111. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2021.100111>
- Babatunde, D. E., Anozie, A. N., Omoleye, J. A., Oyebode, O., Babatunde, O. M., & Agboola, O. (2020). Prediction of global warming potential and carbon tax of a natural gas-fired plant. *Energy Reports*, 6, 1061–1070. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.11.076>
- Basu, P. (2015). Circulating fluidized bed boilers: Design, operation and maintenance. In *Circulating Fluidized Bed Boilers: Design, Operation and Maintenance*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-06173-3>
- De, S., & Assadi, M. (2009). Impact of cofiring biomass with coal in power plants - A techno-economic assessment. *Biomass and Bioenergy*, 33(2), 283–293. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.07.005>
- Fadli, M., Kamal, D. M., & Adhi, P. M. (2019). Analisis Swot Untuk Direct Co-Firing Batubara Dengan Pellet Sampah Pada Boiler Tipe Cfbc. *Jurnal Poli-Teknologi*, 18(3), 271–280. <https://doi.org/10.32722/pt.v18i3.2391>
- Harjanto, T. R., Fahrurrozi, M., & Made Bendiyasa, I. (2012). Life Cycle Assessment Pabrik Semen PT Holcim Indonesia Tbk. Pabrik Cilacap: Komparasi antara Bahan Bakar Batubara dengan Biomassa. *Jurnal Rekayasa Proses*, 6(2), 51.
- Harnowo, S., & Yunaidi, Y. (2021). Kinerja Boiler dengan Sistem Pembakaran Bersama antara Ampas Tebu dengan Sekam Padi dan Cangkang Kelapa Sawit. *Semesta Teknika*, 24(2), 102–110. <https://doi.org/10.18196/st.v24i2.12937>
- Loha, C., Karmakar, M., Chattopadhyay, H., & Majumdar, G. (2019). *Renewable Biomass: A Candidate for Mitigating Global Warming*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.11020-3>
- Nuraini, & Lubis, E. (2005). Kontribusi pembangkit Energi Listrik terhadap Efek Rumah Kaca. *Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi*, 41(2), 141–

149.

- Parinduri, L., & Parinduri, T. (2020). Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Journal of Electrical Technology*, 5(2), 88–92. <https://www.dosenpendidikan>.
- Samidjo, J., & Suharso, Y. (2017). Memahami Pemanasan Global dan Perubahan Iklim. *Online Journal Od Ivet University*, 24(2), 36–46.
- Sarofim, M. C., & Giordano, M. R. (2018). A quantitative approach to evaluating the GWP timescale through implicit discount rates. *Earth System Dynamics*, 9(3), 1013–1024. <https://doi.org/10.5194/esd-9-1013-2018>
- Satria, H., Haddin, M., & Nugroho, A. A. (2021). Metode Direct Untuk Mengetahui Net Plant Heat Rate Unit #10 Pltu Rembang Ketika Simple Inspection Unit #20. *Media ElektriKa*, 14(1), 42. <https://doi.org/10.26714/me.14.1.2021.42-52>
- Suganal, S., & Hudaya, G. K. (2019). Bahan bakar co-firing dari batubara dan biomassa tertorefaksi dalam bentuk briket (Skala laboratorium). *Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara*, 15(1), 31–48. <https://doi.org/10.30556/jtmb.vol15.no1.2019.971>
- Sugiyono, A. (2006). Penanggulangan Pemanasan Global Di Sektor Pengguna Energi. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 7(April), 15–19.
- Tampubolong, A. P. (2013). Kajian Kebijakan Energi Biomass kayu bakar. *Puslitbang Hasil Hutan Bogor*, V, 29–37.
- Tillman, D. A. (2000). Biomass cofiring: The technology, the experience, the combustion consequences. *Biomass and Bioenergy*, 19(6), 365–384. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(00\)00049-0](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(00)00049-0)
- Verma, M., Loha, C., Sinha, A. N., & Chatterjee, P. K. (2017). Drying of biomass for utilising in co-firing with coal and its impact on environment – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71(December 2016), 732–741. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.101>
- Wang, X., Hu, Z., Deng, S., Xiong, Y., & Tan, H. (2014). Effect of biomass/coal co-firing and air staging on NOx emission and combustion efficiency in a drop tube furnace. *Energy Procedia*, 61, 2331–2334. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.11.1196>