

Analisis Pengaruh Co-Firing Biomassa Terhadap Kinerja Peralatan Boiler PLTU Batubara Unit 1 PT. XYZ

Miftahol Arifin^{a,*}

^aProgram Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana, Jakarta, Indonesia

Informasi Naskah/ Article

History

Received : 17 Agustus 2022
Revised : 3 Januari 2023
Accepted : 20 Mei 2023
Published : 22 Mei 2025

Kata Kunci/Keywords

Co-firing;
Biomass;
Boiler;
coal fired thermal power plant;

Abstract

To support policies related to the renewable energy mix, PLN has implemented a biomass co-firing program at power plants. It is not known how much it will affect the performance of boiler equipment, if the biomass co-firing is carried out continuously and at different generating load conditions. This study purpose to determine the impact of continuous biomass co-firing on the performance of boiler equipment at different generating load conditions. The method of data collection was carried out by observation and interview methods. For data analysis using calculations starting from finding the calculation value of specific fuel consumption and net plant heat rate is done manually using Microsoft Excel software, then the operating parameters of the boiler equipment performance are compared with standard or commissioning data. The co-firing process does not affect the performance of boiler equipment (Medium Speed Mill, boiler fan, Air Preheater) and all parameters of boiler equipment are still within limits. The performance of boiler equipment during the co-firing process is lighter, as can be seen from the Medium Speed Mill motor and boiler fan flows which decreased although not significantly. Despite changes in load, the performance of boiler equipment is still within limits and there is a decrease in the boiler furnace temperature. With co-firing, the average total production cost decreased from 485.324 Rp/Kwh to 484.585 Rp/Kwh. Meanwhile, the average Net Plant Heat Rate during the co-firing process during the study decreased from 2862.85 kcal/kwh to 2866.35 kcal/kwh.

1. Pendahuluan

Perkembangan pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) menggunakan bahan bakar utama berupa batubara yang merupakan energi fosil. Sedangkan salah satu persoalan yang muncul dalam penggunaan energi adalah masih banyaknya penggunaan energi fosil, padahal energi ini sangat terbatas di muka bumi. Oleh karena itu perlunya efisiensi penggunaan energi di seluruh lini bidang kehidupan, termasuk pada lembaga pemerintah, swasta maupun masyarakat [1]. Pada tahun 2017 terdapat kebijakan baru yang berisi adanya bauran energi terbarukan, pemerintah menargetkan pencapaian Energi Baru dan Terbarukan (EBT) dalam bauran energi nasional yang tertuang pada Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) mencapai 23% pada tahun 2025 yang di *break down* menjadi listrik dan non listrik [2]. Pada PLTU diterapkan sebuah strategi yaitu *co-firing* yang harus diimplementasikan pada semua PLTU. *Co-firing* adalah penambahan biomassa sebagai bahan bakar pengganti parsial ke dalam boiler PLTU batubara. *Co-firing* dijadikan sebagai salah satu *green booster* dalam program percepatan peningkatan penggunaan energi terbarukan dengan minimum investasi dikarenakan menggunakan fasilitas yang ada pada PLTU eksisting [3].

Dengan adanya proses *co-firing* pada boiler tentunya akan memberikan dampak secara langsung maupun tidak langsung terhadap boiler dan alat bantuannya. Hal tersebut didukung dengan adanya penelitian tentang dampak *co-firing* terhadap peralatan PLTU pada tahun-tahun sebelumnya.

*Penulis Korespondensi

E-mail: miftah.arifin99@gmail.com (Miftahol Arifin)

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license



Substitusi bahan bakar alternatif dalam sistem *co-firing* sebanyak 3% sampai dengan 10%, semakin tinggi komposisi bahan bakar alternatif berarti semakin rendah gas rumah kaca yang dihasilkan. Biomasa juga mengandung lebih sedikit sulfur jika dibandingkan dengan batubara. Oleh karena itu, *co-firing* batubara dan biomasa berpotensi menurunkan emisi CO₂, NO_x dan SO_x. Dalam penelitiannya dilakukan analisa pada emisi pada saat proses *co-firing* dengan kondisi beban stabil [4].

Co-firing sawdust dengan rasio 5% pada *pulverized coal boiler* berkontribusi terhadap penurunan FEGT (*Furnace Exit Gas Temperature*) sebesar 4,2 °C atau 0,4% lebih rendah dari kondisi menggunakan bahan bakar batubara. Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan pada saat pembebanan pembangkit dikontrol pada kondisi *steady state* (Beban Maksimum) selama enam jam. Selain itu pada penelitian ini juga melakukan perhitungan *specific fuel consumption* [5].

Secara umum pada proses *co-firing*, tidak ada biaya investasi untuk peralatan khusus dengan metode ini, tetapi memiliki risiko mengganggu kemampuan pembakaran unit boiler. Penyebab gangguan tersebut adalah tingkat korosi yang tinggi akibat penumpukan alkali atau aglomerasi pada permukaan boiler yang menyebabkan berkurangnya keluaran panas dan waktu kerja. Penggunaan beberapa opsi pembakaran bersama termasuk opsi baru pembakaran eksternal (tidak langsung) menggunakan pembakaran atau gasifikasi di pembangkit listrik tenaga batu bara atau minyak yang ada [6].

Berdasarkan uraian yang telah dipaparkan, dapat diindikasikan adanya pengaruh yang ditimbulkan oleh proses *co-firing* terhadap boiler PLTU, namun belum diketahui seberapa besar pengaruh terhadap kinerja peralatan boiler. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak *co-firing* terhadap kinerja peralatan boiler. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah pengambilan data variabel yang berkelanjutan dan variasi daya pembangkit yang berbeda-beda (menyesuaikan permintaan dari APB). Metode pengumpulan data dilakukan dengan metode observasi. Untuk analisis data menggunakan perhitungan dimulai dari menemukan nilai perhitungan *specific fuel consumption* (SFC) dan *net plant heat rate* (NPHR) dilakukan secara manual menggunakan *software* microsoft excel, selanjutnya parameter operasi kinerja peralatan boiler dibandingkan dengan standard atau data *commissioning*. Studi kasus yang digunakan dalam penelitian ini adalah pada satu unit PLTU dengan bahan bakar batubara dengan kapasitas 300 MW.

2. Metode dan Bahan

Terdapat tiga teknologi pendekatan *co-firing* biomassa dengan batubara atau gas alam pada pembangkit listrik. Pendekatannya berbeda dalam hal desain sistem boiler serta persentase biomassa yang akan dibakar bersama, tiga metode atau teknologinya adalah *direct co-firing*, *indirect co-firing*, dan *parallel co-firing* [7].

2.1 Direct Co-Firing

Direct Co-firing adalah pilihan yang paling sederhana, termurah dan paling umum. Biomassa dapat digiling bersama-sama dengan batubara (yaitu biasanya kurang dari 5% dalam hal kandungan energi) atau pra-giling dan kemudian dimasukkan secara terpisah ke dalam boiler yang sama. Pembakaran umum atau terpisah dapat digunakan, dengan yang kedua opsi yang memungkinkan lebih banyak fleksibilitas sehubungan dengan jenis dan kuantitas biomassa [8]. *Direct co-firing* adalah pendekatan sederhana dan yang paling umum dan metode paling murah untuk pembakaran bersama biomassa dengan batubara dalam boiler, biasanya PC boiler. Tingkat *co-firing* biasanya dalam kisaran 3-5%. Tingkat *co-firing* dapat naik menjadi 20% ketika boiler siklon digunakan, meskipun hasil terbaik dicapai dengan PC boiler [9].

Subjek dalam penelitian ini terdiri dari seluruh operator lokal, operator *central control room* (CCR) dan supervisor operasi. Untuk subjek pengambilan data pada operator lokal dilakukan pada operator bertugas di area boiler dan *ground floor*. Teknik yang digunakan dalam mengumpulkan data pada penelitian ini teknik observasi, serta sebagai data pendukung digunakan dokumentasi.

2.2 Alat Dan Bahan

Untuk memudahkan pengambilan parameter kinerja peralatan boiler, maka dalam penelitian ini menggunakan alat dan bahan sebagai berikut:

- *Digital clamp meter* berfungsi untuk mengukur arus pada motor-motor peralatan boiler.
- *Thermocouple* adalah jenis sensor temperatur yang digunakan untuk mendeteksi atau mengukur temperature pada peralatan-peralatan boiler.
- *Anemometer* adalah sebuah perangkat untuk mengukur kecepatan angin pada fan-fan boiler.
- Microsoft Excel berfungsi untuk membantu proses perhitungan nilai-nilai SFC dan NPHR, serta digunakan untuk rekapitulasi parameter peralatan.

Adapun data-data yang digunakan dalam penelitian yaitu:

- Data *commissioning* pada saat unit atau mesin melakukan uji coba (pengetesan) operasional pada tahun 2010. Data tersebut dapat digunakan untuk acuan operasional unit atau mesin. Tabel 1 merupakan beberapa parameter saat *commissioning* yang digunakan dalam penelitian ini.

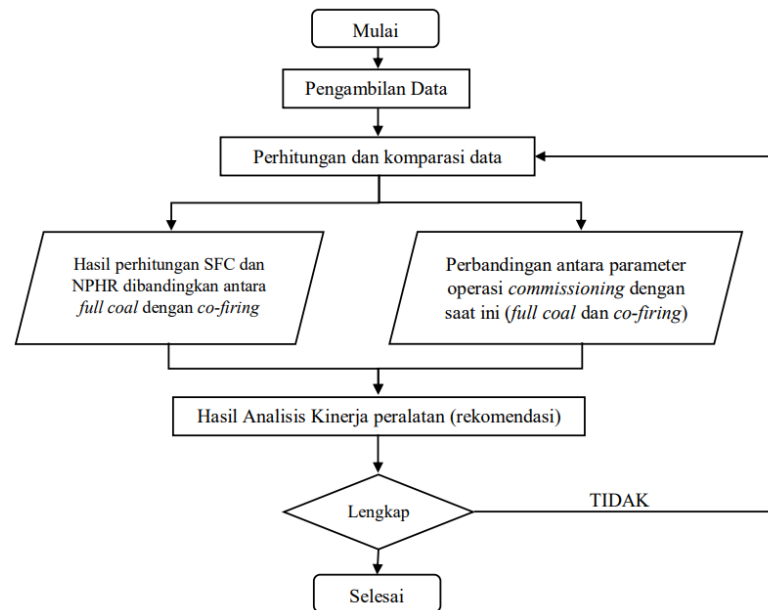
Tabel 1. Parameter peralatan saat *commissioning*

Medium speed mill	
Arus motor	<60 A
Differential pressure MSM	<3 KPa
Outlet temperature	52-57 °C
Air Preheater	
Arus motor	<13 A
Inlet Fluegas Temperature	360°C
Outlet Fluegas Temperature	150-170°C
Forced Draft Fan	
Arus motor	<30 A
Primary Air Fan	
Arus Motor	<180 A
Induced Draft Fan	
Arus Motor	<230 A
Persentase Damper	50-100%
Main Boiler	
Boiler Furnace Temperatur	<1000 °C

- **Data *heat balanced* PLTU 300 MW** merupakan data/parameter mesin pada saat kondisi dimana energi panas yang masuk sama 35 dengan energi panas yang meninggalkan atau keluar dari sistem tersebut.
- **Data desain peralatan** adalah data yang memuat informasi spesifikasi dan kapasitas peralatan.
- **Manual book** adalah buku panduan yang sering digunakan pada produk baru, untuk memberikan informasi mengenai produk tersebut.
- **Data pengoperasian peralatan** merupakan data baik berupa parameter pada saat peralatan sedang beroperasi.

2.3 Analisis Data

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam analisis data ditunjukkan pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Diagram Alir Analisis Data

Pada proses analisis data ada beberapa tahapan antarlain:

- a. Pengambilan data merupakan proses pengumpulan data-data parameter operasi peralatan boiler serta data pendukung lainnya (data untuk perhitungan NPHR dan SFC). Pengambilan data dilakukan sebelum *co-firing* dan saat proses *co-firing*. Untuk mengetahui pengaruh *co-firing* biomassa pada biaya produksi, dilakukan perbandingan SFC dan biaya produksi pada saat menggunakan batubara dan saat *co-firing*. Untuk perhitungan SFC didapat dengan menggunakan persamaan (1),(2) berikut [10].

$$SFC = \frac{\text{Total Fuel}}{\text{kWh Terbangkit}} \quad (1)$$

dimana:

- SFC = *Specific Fuel Consumption* [kg/kWh]
- Total fuel = Total Konsumsi Bahan Bakar [kg]
- kWh terbangkit = Total energi listrik yang dihasilkan [kWh]

$$\text{Biaya Produksi} = \text{Harga BB} \times \text{SFC} \quad (2)$$

dimana:

- Biaya Produksi = Biaya Komponen C Pembangkit [Rp/kWh]
- Harga BB = Harga Bahan Bakar [Rp/kg]
- SFC = *Specific Fuel Consumption* [kg/kWh]

NPHR merupakan indikator kehandalan dan efisiennya sebuah pembangkit thermal khususnya PLTU. Semakin kecil nilai NPHR maka PLTU dinyatakan semakin efisien dan sebaliknya. Untuk perhitungan NPHR dapat menggunakan persamaan (3) berikut [11].

$$NPHR = \frac{\text{Pemakaian Bahan Bakar} \times \text{Nilai Kalori}}{\text{Gen.Output} - \text{Aux.Power}} \quad (3)$$

NPHR = *Net Plant Heat Rate* [kcal/kwh]

Pemakaian bahan bakar = Pemakaian batu bara [kg]

Nilai Kalori= Nilai kalori yang terkandung di bahan bakar [kcal/kg]

Gen. Output= Energi listrik yang dihasilkan oleh generator [kWh]

Aux. Power= Energi listrik yang digunakan untuk pemakaian sendiri [kWh]

- b. Perhitungan data adalah melakukan perhitungan NPHR dan SFC dengan menggunakan data yang sudah diambil, setelah selesai perhitungan dilakukan proses komparasi data.
- c. Komparasi data adalah membandingkan data sebelum *co-firing* dan sesudah *co-firing* yang hasilnya berupa nilai deviasi pada setiap proses *co-firing*. Data-data yang dibandingkan adalah parameter operasi peralatan boiler saat *commissioning* dengan saat ini (*full coal* dan *co-firing*) Hasil perhitungan SFC dan NPHR dibandingkan antara *full coal* dengan *co-firing*.
- d. Nilai hasil komparasi data akan dianalisa setiap peralatan sesuai dengan standarnya masing-masing, apabila tidak sesuai standar dicari penyebabnya dan diberikan rekomendasi agar peralatan boiler bekerja optimal.

3. Hasil dan Pembahasan

Biomassa merupakan salah satu bahan bakar alternatif terbarukan dan termasuk dalam bauran energi nasional untuk mengurangi emisi CO₂ sebesar 26% pada tahun 2021. Dalam kasus Indonesia, potensi biomassa terbesar berasal dari sampah kota dan serbuk gergaji, tetapi hanya 2% dari potensi biomassa yang telah dimanfaatkan [12]. Proses *co-firing* pada PLTU batubara unit 1 PT.XYZ menggunakan bahan bakar biomassa berupa *sawdust* (serbuk gergaji). Untuk Standar Nasional Indonesia (SNI) terkait biopellet yang sedang dalam proses penyusunan RSN1 XXXX:2021 *sawdust* untuk *co-firing* pada pembangkit listrik [13].

Proses *co-firing* pada PLTU unit 1 PT.XYZ sesuai dengan Perdir PLN Nomor 001 Tahun 2020 yang mengatur pedoman pelaksanaan *co-firing* pembangkit listrik tenaga uap berbahan batubara dengan bahan bakar biomassa. Adapun spesifikasi minimal biomassa yang digunakan *co-firing* yang sudah diatur dalam Perdir PLN Nomor 001 Tahun 2020 sebagai berikut:

- a. *Moisture* =< 20%
- b. Komposisi material organik minimal 95%
- c. Tidak mengandung material B3 dan senyawa klorida
- d. Persentase biomassa sebanyak 5% dari total bahan bakar sesuai dengan hasil uji coba oleh PLN Puslitbang di PLTU PT.XYZ

Dalam proses pembakaran di dalam boiler baik *co-firing* maupun *coal firing*, bahan bakar yang digunakan harus melewati proses pengukuran kandungan zat dalam bahan bakar termasuk *sawdust* yang akan digunakan *co-firing*. Selain itu proses pengukuran bertujuan untuk mengetahui zat hasil pembakaran sehingga memudahkan perkiraan terbentuknya *slagging* dan *fouling*. Pengukuran dilakukan dengan uji laboratorium, dimana uji laboratorium yang diperlukan adalah *Proximate analysis*, *Ultimate analysis*, *analisa abu*, dan *Ash Fusion Temperature*. Pada tabel 2. merupakan hasil uji laboratorium bahan bakar yang digunakan pada proses penelitian yaitu batubara *bituminous*, batubara *subbituminous* dan *biomass sawdust*.

Tabel 2. Karakter Batubara Dan Biomassa

Analisis	Parameter	Batubara <i>Bituminous</i>	Batubara <i>Subbituminous</i>	Biomassa <i>Sawdust</i>
<i>Proximate Analysis</i>	<i>Moisture</i>	26,41	35,82	8,56
	<i>Volatile Matter</i>	33,29	32,59	73,16
(% wt)	<i>Fixed Carbon</i>	33,31	28,64	15,87
	<i>Ash</i>	6,98	2,95	1,1
<i>Ultimate Analysis</i>	<i>Carbon</i>	49,88	44,03	44,7
	<i>Hydrogen</i>	3,9	3,17	5,43
(% wt)	<i>Oxygen</i>	11,65	13,27	10,75
	<i>Sulfur</i>	0,38	0,12	0,09
	<i>Nitrogen</i>	0,79	0,65	0
	<i>Hardgrove Grindability Index</i>	47	55	< 32
	<i>Gross Caloric Value (kcal/kg)</i>	4750	4157	2295
	<i>Bulk Density (kg/m³)</i>	900	800	-

Selain data parameter pada peralatan-peralatan boiler, data parameter bahan bakar juga digunakan pada penelitian ini. Tabel 3. merupakan data parameter bahan bakar yang digunakan

adalah rata-rata nilai kalor batubara dan jumlah total bahan bakar batubara (*coal flow*) pada semua *Medium Speed Mill* (MSM) yang sedang beroperasi.

Tabel 3. Bahan Bakar Yang Digunakan

Tanggal	Coal Flow (T/H)		Nilai Kalor BB (Kcal)	Harga BB* (Rp.)
	Sebelum	Proses Co-firing		
1	181	129	4467,5	800
2	177	158	4675,0	800
3	185	164	4675,0	800
4	168	162	4403,5	800
5	133	136	4403,5	800
6	156	139	4403,5	800
7	177	176	4547,8	800
8	175	175	4412,0	800
9	168	183	4420,5	800
10	169	165	4539,3	800

*Keterangan: Kisaran Harga BB yang ditetapkan oleh PLN

3.1 Hasil Pengambilan Data Peralatan Boiler

Proses pengambilan data dilakukan di ruang *central control room* (CCR) PLTU batubara PT. XYZ. Pengambilan data parameter peralatan-peralatan boiler dilakukan dengan cara mencatat parameternya pada saat kondisi *coal firing* dan *co-firing*. Data parameter tersebut diperoleh dari *distributed control system* (DCS) yang berada di ruang CCR.

a. Data Parameter Peralatan Boiler

Pengambilan data parameter peralatan boiler dilakukan selama 10 hari yaitu tanggal 1 Juni 2022 sampai 10 Juni 2022. Setiap tanggalnya dilakukan dua kali pengambilan data parameter peralatan boiler yaitu saat proses sebelum (*coal firing*) dan *co-firing*. Data parameter peralatan boiler yang diambil antara lain *medium speed mill*, *fan boiler*, dan *air preheater*. Adapun daya pembangkit pada saat proses pengambilan data seperti pada tabel 4. di bawah

Tabel 4. Daya Pembangkit PLTU Unit 1 PT. XYZ

Tanggal (Juni 2022)	Sebelum	Proses (Co-firing)	Pemakaian Sendiri		Keterangan
			Sebelum	Proses Co-firing	
1	278 MW	201 MW	13	13	Permintaan Turun Beban
2	286 MW	279 MW	13	13	
3	287 MW	266 MW	13	13	
4	285 MW	268 MW	13	13	Permintaan Turun Beban
5	214 MW	214 MW	13	13	Permintaan Turun Beban
6	279 MW	242 MW	13	13	Permintaan Turun Beban
7	290 MW	291 MW	13	13	
8	288 MW	293 MW	13	13	
9	292 MW	287 MW	13	13	
10	288 MW	285 MW	13	13	

Pada penelitian ini tidak semua parameter pada *medium speed mill* (MSM) dilakukan pengambilan/pencatatan. Melainkan ada tiga parameter penting yang mengindikasikan kinerja pada MSM antara lain Arus Motor, *Mill Outlet Temperature*, dan *Mill Differential Pressure*. Saat pengambilan data unit berjalan normal dengan pengoperasian 4 MSM operasi 1 MSM *standby* [14]. Pada tabel 5, tabel 6, tabel 7 merupakan hasil pengambilan data MSM.

Tabel 5. Arus motor MSM

Tanggal (Juni 2022)	Sebelum (Ampere)					Proses <i>co-firing</i> (Ampere)				
	1A	1B	1C	1D	1E	1A	1B	1C	1D	1E
1	52	STOP	44	48	45	46	STOP	43	37	36
2	48	STOP	50	48	46	43	STOP	47	45	42
3	51	STOP	45	45	46	42	STOP	43	46	45
4	57	STOP	50	52	48	52	STOP	50	51	43
5	40	STOP	39	43	39	41	46	39	39	STOP
6	45	STOP	44	45	40	38	STOP	39	38	40
7	47	45	STOP	50	44	50	50	STOP	45	43
8	51	55	STOP	51	42	49	50	STOP	46	43
9	54	57	STOP	42	41	49	52	STOP	43	44
10	53	47	45	44	STOP	54	55	46	41	STOP

Tabel 6. Mill Differential Pressure

Tanggal (Juni 2022)	Sebelum (KPa)					Proses <i>co-firing</i> (KPa)				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
1	2,2	STOP	ERROR	1,77	1,52	2	STOP	ERROR	1,3	1,3
2	2,4	STOP	ERROR	1,8	1,6	2,3	STOP	ERROR	1,5	1,3
3	2,5	STOP	ERROR	2,1	1,7	2,3	STOP	ERROR	1,8	1,8
4	2,1	STOP	ERROR	1,8	1,5	2,3	STOP	ERROR	1,7	1,7
5	1,9	STOP	ERROR	1,4	1,3	1,7	1,15	ERROR	1,48	STOP
6	1,9	STOP	ERROR	1,5	1,4	1,9	STOP	ERROR	1,4	1,5
7	2,3	1,4	ERROR	1,9	1,59	2,5	1,3	ERROR	1,8	1,48
8	2,7	1,3	ERROR	2	1,6	2,4	1,3	ERROR	2	1,5
9	2,5	1,3	ERROR	2,1	1,6	3,1	1,8	ERROR	2,3	1,6
10	2,7	1,3	ERROR	1,9	STOP	2,7	1,3	ERROR	1,87	STOP

Tabel 7. Mill Outlet Temperature

Tanggal (Juni 2022)	Sebelum (°C)					Proses <i>co-firing</i> (°C)				
	a	b	c	d	e	a	b	c	d	e
1	56	STOP	53	53	55	56	STOP	54	52	55
2	55	STOP	53	53	54	55	STOP	52	54	54
3	54	STOP	56	54	55	55	STOP	55	55	55
4	55	STOP	56	55	56	54	STOP	55	55	56
5	55	STOP	54	55	54	55	55	54	55	STOP
6	55	STOP	55	55	55	55	STOP	55	55	55
7	55	54	STOP	55	55	55	55	STOP	55	55
8	55	54	STOP	54	55	55	54	STOP	54	55
9	54	55	STOP	53	54	55	55	STOP	55	54
10	54	53	53	55	STOP	52	54	53	53	STOP

Pengambilan data parameter *fan boiler* meliputi arus motor FDF, arus motor PAF, arus motor IDF dan persentase *open damper* IDF. Beberapa parameter tersebut mewakili kinerja *fan boiler*. Berikut tabel 8 dan tabel 9. adalah data parameter *fan boiler*

Tabel 8. Parameter PAF dan FDF

Tanggal Juni '22	Sebelum				Proses <i>co-firing</i>			
	FDF 1A	FDF 1B	PAF 1A	PAF 1B	FDF 1A	FDF 1B	PAF 1A	PAF 1B
1	25	26	153	156	22	21	155	155
2	26	26	153	152	26	26	155	154
3	26	26	154	154	26	26	154	157
4	26	26	154	154	24	25	156	158
5	20	21	157	158	22	21	159	163
6	26	25	157	160	24	23	159	160
7	26	26	154	157	26	26	155	154
8	26	26	153	155	26	26	153	155
9	25	25	154	156	27	24	154	154
10	25	24	152	154	25	24	151	155

Tabel 9. Parameter IDF

Tanggal	Sebelum				Proses <i>co-firing</i>			
	IDF 1A	IDF 1B	%IDF 1A	%IDF 1B	IDF 1A	IDF 1B	%IDF 1A	%IDF 1B
1	174	183	82	78	156	140	72	57
2	156	195	74	82	158	195	77	82
3	183	179	90	78	184	179	90	78
4	178	181	87	78	166	169	78	63
5	157	158	76	68	156	161	76	62
6	182	183	89	76	173	183	83	76
7	174	188	86	80	186	193	92	83
8	179	187	89	76	180	184	89	76
9	169	178	84	77	169	188	84	80
10	170	192	85	83	182	197	92	77

Penggunaan *Air Preheater* (APH) dalam boiler sangat penting dan berpengaruh sekali terhadap kinerja boiler dan efisiensi unit [15]. Pengambilan data parameter APH antara lain arus motor APH, temperatur *inlet fluegas* dan temperatur *outlet fluegas* APH. Beberapa parameter yang diambil tersebut merupakan parameter penting yang terdapat pada APH. Data parameter APH akan ditampilkan pada tabel 10.

Tabel 10 Data Parameter APH

Tanggal	Sebelum (°C)						Proses Co-firing (°C)					
	1A	1B	In 1A	In 1B	Out 1A	Out 1B	1A	1B	In 1A	In 1B	Out 1A	Out 1B
1	10	10	357	358	153	156	10	10	351	352	149	151
2	10	10	362	364	151	156	10	10	363	365	158	160
3	10	10	358	361	154	157	10	10	360	362	154	156
4	10	10	355	358	156	160	10	10	353	355	155	157
5	10	10	354	355	144	155	10	10	354	353	155	155
6	10	10	361	360	156	159	10	10	362	362	158	161
7	10	10	363	359	156	155	10	10	366	361	160	159
8	10	10	361	356	156	155	10	10	362	358	158	158
9	10	10	364	360	157	157	10	10	367	364	156	158
10	10	10	357	355	164	165	10	10	361	358	165	166

Selain itu pengambilan data juga dilakukan pada *boiler furnace temperature*. Untuk mengetahui pembakaran pada boiler sudah sesuai atau melebihi batasan. Data parameter *boiler furnace temperature* dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 11 Boiler Furnace Temperature

Tanggal	Sebelum (°C)		Proses Co-firing (°C)	
	Sisi A	Sisi B	Sisi A	Sisi B
1	929	973	872	866
2	938	975	933	962
3	955	976	937	965
4	942	961	939	962
5	878	882	864	853
6	945	964	915	937
7	978	917	988	916
8	974	908	987	913
9	950	930	966	936
10	888	937	898	937

b. Data Perhitungan

Setelah data-data bahan bakar dan daya pembangkit terkumpul, selanjutnya dapat digunakan untuk mencari data perhitungan SFC, total biaya produksi dan NPHR. Data SFC dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan 1. Tabel 12. adalah perolehan perhitungan SFC selama penelitian dilakukan.

Tabel 12. Perhitungan SFC

Tanggal	sebelum	Proses co-firing
1	0,65	0,64
2	0,62	0,57
3	0,64	0,62
4	0,59	0,60
5	0,62	0,64
6	0,56	0,57
7	0,61	0,60
8	0,61	0,60
9	0,58	0,64
10	0,59	0,58

Kemudian data hasil perhitungan dari SFC dapat digunakan untuk perhitungan total biaya produksi. Total biaya produksi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2. Hasil perhitungan total biaya produksi dapat dilihat pada tabel 12. berikut ini.

Tabel 12. Perhitungan Biaya Produksi

Tanggal	Sebelum (Rp/kwh)	Proses <i>co-firing</i> (Rp/kwh)
1	520,86	513,43
2	496,50	452,76
3	515,68	493,23
4	471,58	483,58
5	497,20	508,41
6	447,31	459,50
7	488,28	483,85
8	486,11	477,82
9	460,27	510,10
10	469,44	463,16

Selanjutnya untuk menghitung NPHR menggunakan data-data yang sudah terkumpul yaitu data pembebanan (daya pembangkit), data pemakaian sendiri, data penggunaan bahan bakar, dan nilai kalor bahan bakar. Perhitungan NPHR menggunakan persamaan 3. Untuk hasil perhitungan selama penelitian dapat dilihat pada tabel 13 di bawah ini.

Tabel 13. Hasil Perhitungan NPHR

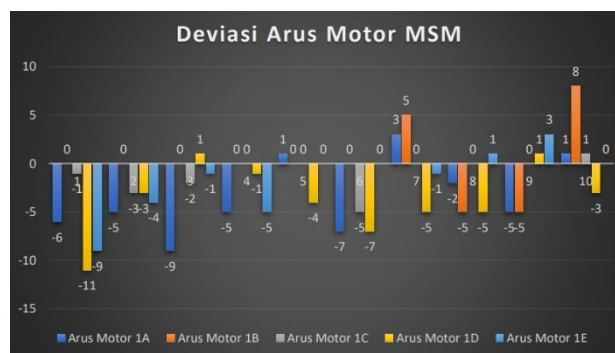
Tanggal	Sebelum (kcal/kwh)	Proses <i>co-firing</i> (kcal/kwh)
1	3051,39	3065,47
2	3039,61	2775,12
3	3156,48	3030,43
4	2719,81	2797,52
5	2913,76	2979,48
6	2582,50	2672,87
7	2905,96	2879,15
8	2807,64	2757,50
9	2661,81	2952,38
10	2789,58	2753,59

3.2 Analisis Komparasi Data

Tahap selanjutnya yang dilakukan setelah pengambilan data dan perhitungan adalah membandingkan data antara sebelum *co-firing* dan saat *co-firing*. Data yang akan digunakan adalah data-data parameter kinerja peralatan boiler dan data-data perhitungan. Hasil komparasi data akan dianalisa setiap peralatan sesuai dengan standarnya masing-masing, apabila tidak sesuai standar dicari penyebabnya dan diberikan rekomendasi agar peralatan boiler bekerja optimal.

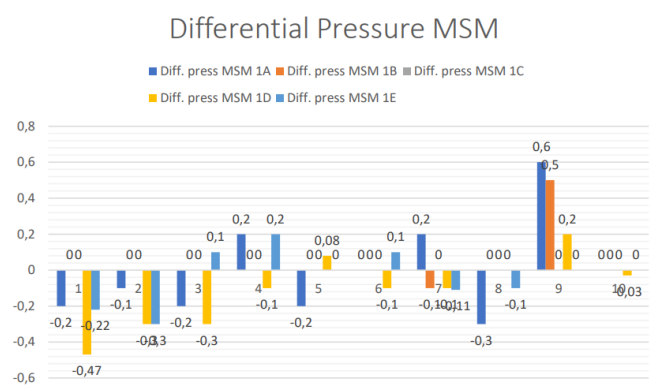
a. Analisis Kinerja MSM

Dari data yang di peroleh pada saat pengambilan data, diperoleh deviasi parameter peralatan MSM ketika proses sebelum dan saat cofiring. Pada gambar 4.1. merupakan deviasi parameter arus motor pada semua MSM saat sebelum *co-firing* dan saat proses *co-firing*.

**Gambar 3.** Deviasi Arus Motor MSM

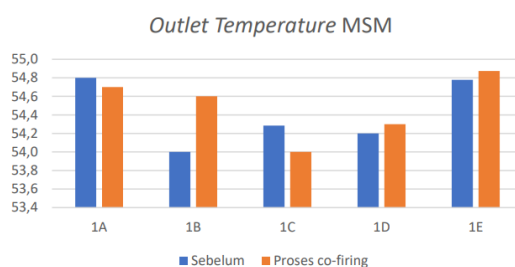
Pada gambar 3 menunjukkan tanggal 1 Juni terjadi penurunan nilai arus motor MSM 1D dan 1E. Hal tersebut disebabkan adanya perubahan pembebanan dari beban maksimum ke beban minimum, sehingga bahan bakar yang masuk ke dalam MSM juga lebih sedikit terutama pada MSM 1D dan 1E (*layer* atas) diisi bahan bakar seminim mungkin. Bahan bakar masuk ke dalam MSM akan mempengaruhi besar kecilnya arus motor MSM.

Pada tanggal 10 Juni terdapat kenaikan arus motor MSM 1B yang cukup tinggi. Kenaikan arus motor MSM 1B dapat terjadi karena ada banyak batu *pyrite* yang menumpuk di dalam MSM yang belum dibuang operator lokal. Apabila dilihat secara keseluruhan dari tanggal 1-10 Juni 2022 kecenderungan adanya penurunan arus motor pada saat *co-firing* dan semua arus motor masih masuk di dalam standar <60 A.



Gambar 4. Deviasi *Differential Pressure* MSM

Gambar 4. merupakan deviasi dari *Differential Pressure* (DP) pada setiap MSM. Pada gambar 4. terlihat hampir semua MSM mengalami penurunan DP saat proses *co-firing* yang mengindikasikan bagus proses *milling* di dalam MSM. Pada tanggal 9 Juni 2022 MSM 1A mengalami kenaikan yang cukup tinggi dan melewati batas standar 2 KPa, hal tersebut menunjukkan adanya *block* di dalam MSM dikarenakan tingginya DP pada MSM 1A sejak dari awal penelitian berlangsung. Hal tersebut juga dapat disebabkan *blending* biomassa yang terlalu banyak dan tidak merata tercampur dengan batubara.

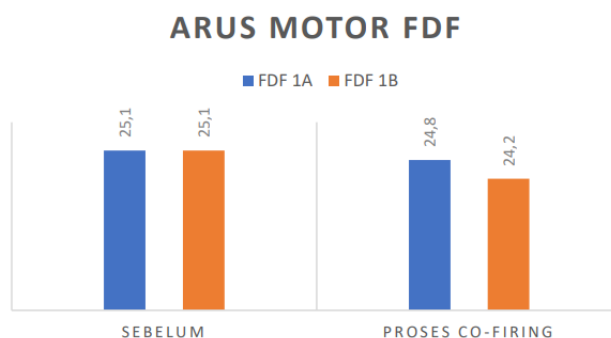


Gambar 5. *Outlet Temperature* MSM

Pada gambar 4.3. menunjukkan tidak terjadi perubahan yang signifikan pada *outlet temperature* MSM selama proses *co-firing* berlangsung. Adapun perubahan temperatur masih <60°C.

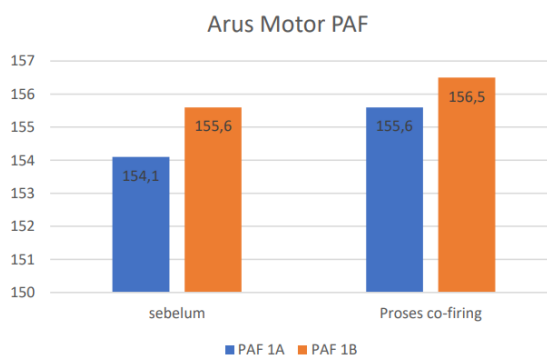
b. Analisis Kinerja Fan Boiler

Forced Draft Fan (FDF) merupakan *fan* yang digunakan sebagai penambah udara sekunder. Kebutuhan udara pembakaran pada proses *co-firing* cenderung lebih sedikit dibandingkan dengan *coal firing*. Hal tersebut dapat terlihat pada gambar 6. Kebutuhan udara sekunder yang lebih sedikit saat proses *co-firing*, sehingga pembukaan *control damper* FDF harus diturunkan yang berakibat pada turunya arus motor FDF. Pengoperasian FDF selama proses *co-firing* masih dalam standar <30 A.



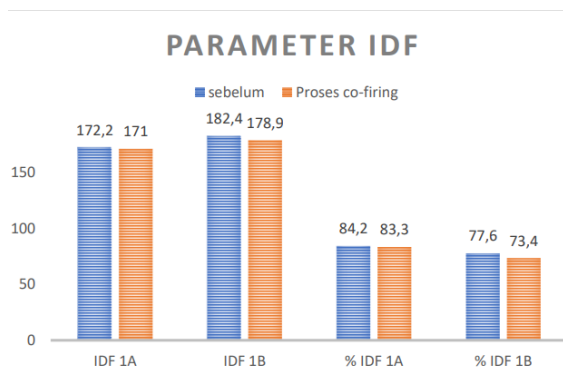
Gambar 6. Arus motor FDF

Sedangkan *Primary Air Fan* (PAF) adalah *fan* yang berfungsi untuk mentransportasikan bahan bakar dari MSM menuju ke ruang bakar. Pada saat proses *co-firing* dilakukan, arus motor PAF hanya mengalami kenaikan 1 A. Kenaikan arus motor 1 A tidak terlalu berpengaruh pada kinerja PAF karena kenaikan arus tersebut masih terbilang sangat kecil dan arus motor masih masuk standar < 180 A.



Gambar 7. Arus Motor PAF

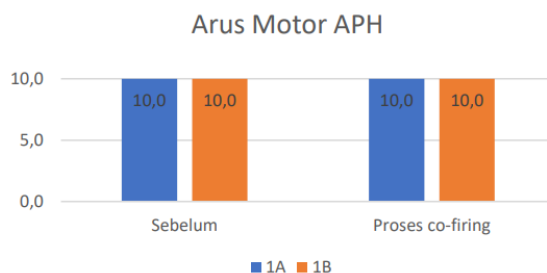
Induced Draft Fan (IDF) adalah *fan* yang berfungsi menghisap gas sisa hasil pembakaran. Kinerja IDF pada saat proses *co-firing* berlangsung masih sangat baik, hal itu ditunjukkan pada gambar 8 dengan adanya penurunan arus motor dan penurunan pembukaan *control damper* IDF. Kinerja IDF masih masuk standar arus motor <230 A.



Gambar 8. Parameter IDF

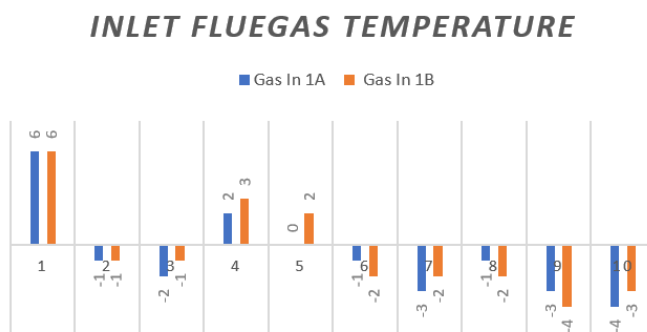
c. Analisis Kinerja Air Preheater

Pada gambar 9. menunjukkan arus motor APH yang tidak berubah pada sebelum dan saat *co-firing*, hal tersebut mengindikasikan gas sisa hasil pembakaran proses *co-firing* tidak mempengaruhi beban pada motor APH.

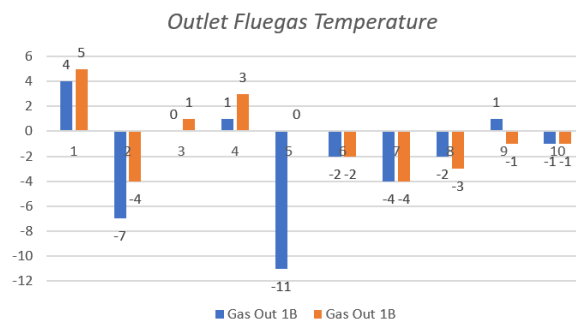


Gambar 9. Arus Motor APH

Selain arus motor APH data parameter yang diambil temperatur *inlet* dan *outlet fluegas* APH. Jika dilihat pada gambar 10 dan gambar 11 cenderung adanya penurunan temperatur baik sisi *inlet fluegas* maupun *outlet fluegas*. Penurunan temperatur *inlet* dan *outlet fluegas* APH berbanding lurus menunjukkan bahwa perpindahan panas pada APH masih normal. Untuk parameter *inlet* dan *outlet fluegas temperature* selama penelitian masih masuk dalam batasan normal sisi *inlet fluegas* 150-170°C

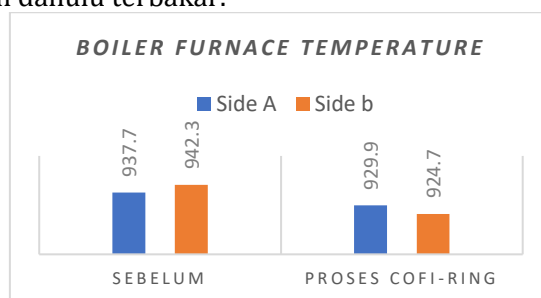


Gambar 10. Inlet Fluegas Temperature



Gambar 11. Outlet Fluegas Temperature

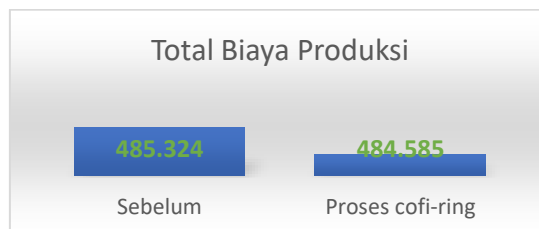
Penurunan temperatur rata-rata selama *co-firing* sebesar 10-15°C dibandingkan dengan kondisi operasi menggunakan bahan bakar semua batubara dari 940 °C menjadi 930 °C. Hal ini sebanding dengan kandungan *volatile matter* sawdust yang lebih besar daripada batubara eksisting menyebabkan sawdust lebih dahulu terbakar.



Gambar 12. Boiler Furnace Temperature

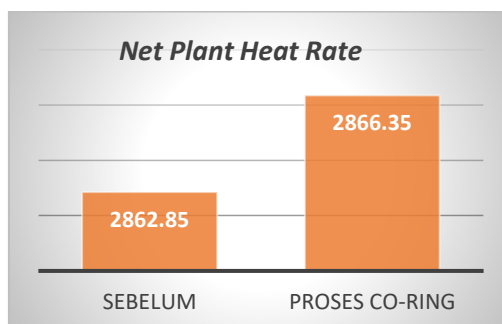
d. Analisis Perhitungan Kinerja

Biaya produksi dalam proses produksi tenaga listrik sangat dipengaruhi penggunaan bahan bakar. Dengan adanya proses *co-firing* ini tentu biaya total produksi menjadi menurun dari sebelumnya (semua batubara). Jika pada saat penggunaan 100% batubara sebesar 485,324 Rp/Kwh menjadi 484,585 Rp/Kwh dengan adanya *co-firing* terjadi penurunan sebesar 0,15%, hal tersebut selaras dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Fefria, dkk juga mengalami penurunan sebesar 0,97% dengan proses pengambilan data hanya pada beban maksimum [16]. Gambar 13 adalah rata-rata total biaya produksi selama penelitian.



Gambar 13. Total Biaya Produksi

Pada Gambar 14. terlihat adanya kenaikan nilai rata-rata *Net Plant Heat Rate* (NPHR) pada saat proses *co-firing* dilakukan selama penelitian berlangsung. Saat pengambilan data terjadi tiga kali perubahan pembebanan yaitu pada tanggal 1,4,5,6 Juni 2022, hal tersebut tentu mempengaruhi kenaikan nilai NPHR.



Gambar 14. NPHR

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, maka dapat disimpulkan hasil dari penelitian ini antarlain

1. Proses *co-firing* tidak mempengaruhi kinerja peralatan boiler (MSM, *fan boiler*, APH) dan semua parameter peralatan boiler masih dalam batasan. Kinerja peralatan boiler pada saat proses *co-firing* lebih ringan terlihat dari nilai arus motor MSM dan *fan boiler* yang menurun tetapi masih masuk dalam batasan nilai.
2. Saat terjadi perubahan pembebanan pada tanggal 1,4,5, dan 6 Juni 2022 proses *co-firing* tetap berlangsung. Untuk kinerja peralatan boiler masih dalam batasan dan adanya penurunan dalam *boiler furnace temperature*.
3. Dengan adanya *co-firing* rata-rata total biaya produksi mengalami penurunan dari 485,324 Rp/Kwh menjadi 484,585 Rp/Kwh. Sedangkan nilai rata-rata *Net Plant Heat Rate* (NPHR) pada saat proses *co-firing* dilakukan selama penelitian mengalami penurunan dari 2862,85 kcal/kwh menjadi 2866,35 kcal/kwh.

Referensi

- [1] A.W. Biantoro, and D. S. Permana, "Analisis Audit Energi Untuk Pencapaian Efisiensi Energi Di Gedung Ab, Kabupaten Tangerang, Banten," *Jurnal Teknik Mesin Mercu Buana*, 6(2), 85-93, 2017.
- [2] Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 Tentang Rencana Umum Energi

- Nasional
- [3] PT PLN (Persero). (2021). Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (Rupltl) 2021-2030. https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/38622-rupltl-pln-2021-2030.pdf
 - [4] N. Cahyo, H. H. Alif, H. D. Saksono and P. Paryanto, "Performance and Emission Characteristic of Co-firing of Wood Pellets with sub-Bituminous Coal in a 330 MWe Pulverized Coal Boiler," *2020 International Conference on Technology and Policy in Energy and Electric Power (ICT-PEP)*, pp. 44-47, 2020, doi: 10.1109/ICT-PEP50916.2020.9249930.
 - [5] F. Tanbar, "Analisa Karakteristik Pengujian Co-Firing Biomassa Sawdust Pada Pltu Type Pulverized Coal Boiler Sebagai Upaya Bauran Renewable Energy." *Jurnal Offshore: Oil, Production Facilities and Renewable Energy* 5.2 2021, doi: <http://dx.doi.org/10.30588/jo.v5i2.928>
 - [6] P. Basu, J. Butler and M. A. Leon, "Biomass co-firing options on the emission reduction and electricity generation costs in coal-fired power plants", *Renewable Energy*, vol. 36, no. 1, pp. 282-288, 2011.
 - [7] F. Al-Mansour, J. Zuwala, "An evaluation of biomass co-firing in Europe." *Biomass Bioenergy*, 34:620-9, 2010. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.01.004>
 - [8] IEA-ETSAP & IRENA. Biomass co-firing. *The International Renewable Energy Agency (IRENA)*. January, 2013
 - [9] E. Agbor, X. Zhang, A. Kumar, "A review of biomass co-firing in North America." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 40. 930-943. 10.1016/j.rser.2014.07.195. 2014
 - [10] PT. PLN, "Efisiensi," *Standar Operasi Perusahaan Umum Listrik Negara 80:1989*, 11-12, Jakarta, 1989
 - [11] The American Society of Mechanical Engineers, "Fired Steam Generator", *Performance Test Code (PTC) 4*, New York, 2008.
 - [12] S. Hasibuan, C. Jaqin, Hermawan, I. Yunita, & B. Nugroho, "Barriers And Drivers Of Biomass Renewable Energy As Co-Firing In Industrial Supply Chain With Bibliometric Analysis." *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. 1279-1287, 2022
 - [13] Humas BSN. (2021, September 21). *Standardisasi Biobriket dan Biopellet untuk Meningkatkan Sumber Energi*. melalui <https://bsn.go.id/main/berita/detail/12376>
 - [14] Donfang Electric. "Instruction Manual for Installation and Operation Boiler." *Donfang Boiler Group, Co. Ltd.* 2010
 - [15] PT. PLN. "Modul Operasi 3: Diklat Pengoperasian PLTU," *PT. PLN persero*, 2013
 - [16] F. Tanbar, "Analisa Karakteristik Pengujian Co-Firing Biomassa Sawdust Pada Pltu Type Pulverized Coal Boiler Sebagai Upaya Bauran Renewable Energy." *Jurnal Offshore: Oil, Production Facilities and Renewable Energy* 5.2 2021, doi: <http://dx.doi.org/10.30588/jo.v5i2.928>