

## Simulasi Karakteristik *Co-Firing* Sekam Padi pada PLTU Batubara *Pulverized Coal* Kapasitas 400 MWe

Nur Cahyo<sup>a</sup> \*, Meiri Triani<sup>a</sup>, Rasgianti<sup>a</sup>, Ruly Sitanggang<sup>a</sup>, Eko Supriyanto<sup>a</sup>, Paryanto<sup>b</sup>

<sup>a</sup> PLN Puslitbang, PT. PLN (PERSERO)

Jl. Duren Tiga Raya No.102, Jakarta Selatan, Indonesia

<sup>b</sup> Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: nurcahyo3@pln.co.id

### Abstract

*A study on co-firing using coal and rice husk biomass has been carried out on a pulverized coal power plant with a capacity of 400 MWe by varying the co-firing biomass ratio from 0 to 50%. The mixing of coal fuel and rice husk biomass in the model is carried out before entering the pulverizer/mill. After the model iteration shows convergence, the output simulation is validated by comparing the simulation output value with the design and actual parameter values. The evaluation is carried out by comparing the simulation results of baseline conditions with co-firing conditions on the parameters of performance, power output, equipment condition, energy consumption itself, and the impact on emission products. The addition of 1% of the co-firing ratio using rice husks showed a decrease in the boiler efficiency (HHV) by 3.19%. Net plant heat rate and SFC increased by 5.22% and 2.53%. Gross output power decreased by 2.53%. ESP power consumption and total auxiliary power increased by 220% and 17.25%. Furthermore, co-firing using risk husk also reduces SO<sub>2</sub> emission and increases the particulate rate*

**Keywords:** *co-firing, CFB, biomass, risk husk, boiler efficiency*

### Abstrak

Studi dampak cofiring menggunakan batubara dan biomassa sekam padi telah dilakukan pada PLTU tipe pulverized coal kapasitas 400 MWe dengan memvariasikan rasio co-firing biomassa mulai dari 0 s.d. 50%. Pencampuran bahan bakar batubara dan biomassa sekam padi pada model dilakukan sebelum masuk ke pulverizer/ mill. Setelah iterasi model menunjukkan konvergen, dilanjutkan proses validasi dengan memeriksa nilai output simulasi dengan nilai desain maupun nilai parameter aktual. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi kondisi baseline dengan kondisi co-firing pada parameter performance, power output, kondisi peralatan, energi pemakaian sendiri serta dampak terhadap produk emisi. Dari sisi performance pembangkit, penambahan 1% rasio co-firing menggunakan sekam padi menunjukkan penurunan efisiensi boiler HHV sebesar 3,19 % ; kenaikan *net plant heat rate* sebesar 5,22 %; penurunan daya output gross sebesar 2,53 %, kenaikan konsumsi bahan bakar (SFC) sebesar 2,53 %; kenaikan konsumsi daya ESP sebesar 220 %; kenaikan total daya pemakaian sendiri sebesar 17,25% dan penurunan emisi SO<sub>2</sub>.

**Kata kunci:** *co-firing, CFB, biomassa, sekam padi, efisiensi boiler*

### 1. Pendahuluan

Ketersediaan potensi energi terbarukan (ET) di Indonesia diprediksi dapat menggantikan sumber energi fosil seperti batubara terutama untuk penyediaan tenaga listrik [1]. Pada Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), pemerintah telah menargetkan pemanfaatan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) dalam bauran energi nasional sebesar 23% pada tahun 2025 [2]. Dalam rangka mencapai target bauran energi tersebut, program *co-firing* menjadi salah satu strategi untuk peningkatan bauran EBT dan merupakan salah satu program terobosan PLN dalam peningkatan bauran ET yang dilakukan tanpa memerlukan biaya investasi yang signifikan. Implementasi *co-firing* PLTU secara komersial didasari pada uji coba *co-firing* yang menunjukkan hasil layak secara teknis dan tidak mengganggu keandalan operasional pembangkit [3]. Di sisi lain seiring dengan kesadaran akan terjadinya peningkatan emisi gas rumah kaca di seluruh dunia akibat penggunaan bahan bakar fosil, biomassa yang merupakan sumber energi terbarukan dianggap memiliki efek net yang nol terhadap efek gas rumah kaca karena biomassa menyerap CO<sub>2</sub> selama pertumbuhan dan mengeluarkannya selama proses pembakaran [4] atau dikenal juga dengan istilah CO<sub>2</sub> *neutral* [5]. Penggunaan cofiring biomassa juga dapat menurunkan emisi polutan lainnya seperti SO<sub>2</sub> karena kandungan sulfur pada biomassa yang lebih rendah dibandingkan dengan batubara [6].

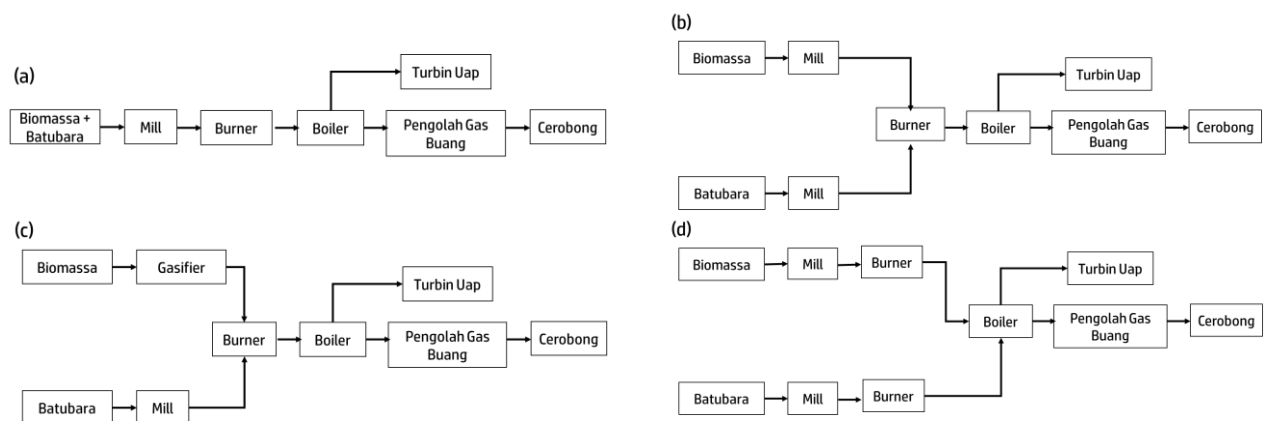
*Co-firing* merupakan proses pembakaran material bahan bakar yang berbeda pada waktu yang bersamaan. Skema dari teknologi *co-firing* ditunjukkan pada

Gambar 1. Teknologi *co-firing* terbagi menjadi tiga metode yaitu *direct co-firing* seperti ditunjukkan pada

Gambar 1a dan 1b dimana dua jenis bahan bakar langsung dicampurkan pada boiler, *indirect co-firing* seperti ditunjukkan pada

Gambar 1c dimana salah satu bahan bakar mengalami proses gasifikasi terlebih dahulu baru kemudian dicampurkan dengan bahan bakar lain pada boiler dan *parallel co-firing* seperti ditunjukkan pada

Gambar 1d dimana masing – masing bahan bakar dibakar pada burner yang berbeda dan uap hasil produksi dari kedua boiler digabungkan bersama untuk digunakan pada proses lanjut [7].



**Gambar 1.** Skema jenis teknologi *co-firing* (a) *direct co-firing* dengan mill yang sama (b) *direct co-firing* dengan mill terpisah (c) *indirect co-firing* (d) *parallel co-firing* [8].

Indonesia diperkirakan memiliki potensi konversi biomassa menjadi energi listrik lebih besar dari 32 GW dengan sumber biomassa antara lain adalah tebu, kelapa, jagung, kayu, padi, singkong dan sampah kota [9]. Beberapa jenis biomassa yang telah dilakukan uji coba pembakaran menggunakan metode *direct co-firing* di Indonesia antara lain adalah pellet kayu [10] [11], cangkang kelapa sawit [12] dan serbuk kayu [13]. Salah satu biomassa lain yang ada di Indonesia dan memiliki potensi untuk dimanfaatkan pada *co-firing* PLTU adalah sekam padi [14] yang merupakan lapisan keras limbah hasil proses penggilingan padi dan umumnya diperoleh sekitar 20 – 21 % dari berat padi yang diproses [15].

Beberapa studi telah dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik sekam padi untuk digunakan sebagai pengganti batubara secara parsial seperti yang dilakukan oleh Chen dkk [16] yang melakukan studi pada karakteristik thermal campuran batubara dan sekam padi melalui analisa thermogravimetry (TG) pada drop tube furnace (DTG) untuk aplikasi di *blast furnace*. Dari hasil studi tersebut diketahui bahwa campuran batubara dan sekam padi dapat dibakar bersama – sama bergantung pada kebutuhan *volatile matter* (VM) pada bahan bakar dan pada rasio pencampuran dibawah 50%, tidak ada perubahan signifikan terhadap karakteristik thermal dari *unburned char*. Pada studi Yunaidi dkk [17] yang melakukan *co-firing* sekam padi dengan ampas tebu pada boiler, meskipun kandungan abu pada sekam padi adalah 20,67% tetapi dari hasil analisa abu, hal tersebut tidak akan menyebabkan kerusakan seperti *slagging*, *fouling*, korosi, *sintering* dan aglomerasi. Sedangkan dari segi emisi, pada studi Kwong dkk [18] yang melakukan pengujian *co-firing* sekam padi dengan batubara pada ruang bakar skala lab, hasil pembakaran akan menghasilkan jumlah emisi CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> dan SO<sub>2</sub> yang lebih rendah jika dibandingkan jika hanya menggunakan batubara. Jika dihitung berdasarkan emisi per satuan energi (g/kWh), penurunan maksimum akan terjadi pada rasio pencampuran 30% sekam padi. Selain pengujian secara langsung, assessment karakteristik dari penggunaan biomassa pada pembangkit dapat dilakukan dengan menggunakan software simulasi seperti thermoflex [19]. Pada studi tersebut simulasi dilakukan pada pembangkit listrik dan panas dengan menggunakan bahan bakar batubara dan biomassa.

Pada studi ini akan dilakukan simulasi *co-firing* sekam padi dan batubara dengan rasio pencampuran 0 – 50 % pada PLTU dengan kapasitas desain 400 MWe untuk mengetahui pengaruh penggunaan *co-firing* sekam padi terhadap performa dan emisi PLTU tersebut.

## 2. Material dan metode penelitian

### 2.1 Spesifikasi PLTU

Studi dilakukan pada PLTU tipe boiler Pulverized Coal dengan kapasitas 400 MWe yang berlokasi di Banten. PLTU dibangun pada bulan Mei 1980 sampai dengan Juni 1985 dan telah beroperasi sejak 26 Maret 1985 menggunakan bahan bakar batubara. Adapun spesifikasi teknis detail peralatan utama pada PLTU yang digunakan sebagai salah satu data input simulasi ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

**Tabel 1.** Spesifikasi Teknis Peralatan Utama PLTU

Parameter	Satuan	Nilai
Boiler		
Manufaktur		Babcock & Wilcox, Canada
Tipe		Natural circulation single drum radiant wall out door
Kapasitas	Ton/jam	1168
Tekanan uap keluar superheater	kg/cm <sup>2</sup>	174
Suhu uap keluar superheater	°C	540
Tekanan uap keluar reheater	kg/cm <sup>2</sup>	39,9
Furnace		
Suhu gas keluar furnace (FEGT)	°C	927
Jarak level top burner terhadap Furnace outlet	m	30
Turbin		
Manufaktur		Mitsubishi Heavy Industries
Tipe		Tandem Compound Double Exhaust
Kapasitas pada MCR	kW	420.000
Kecepatan	rpm	3000
Tekanan Keluar turbin	mmHg	704,4
Tekanan main steam	kg/cm <sup>2</sup>	170
Suhu main steam	°C	538
Suhu reheat steam	°C	538
Tekanan IP Turbin	kg/cm <sup>2</sup>	38,97
Suhu IP Turbin	°C	538
Pulverizer		
Manufaktur		Babcok & Wilcox, Canada
Tipe		MPS -89N
Kapasitas/mill	kg/hr	63.000
Kelembapan udara	%	23,6
Hasil gilingan	mesh	200
Kecepatan putar	rpm	23,5
Konsumsi bahan bakar pada MCR	kg/hr	168,97
Jumlah mill	buah	4
Rasio output Pulverizer	-	0,67
Pulverizer motor power	kW	522

### 2.2 Parameter Simulasi

Simulasi karakteristik pada studi ini menggunakan software THERMOFLOW 31 yang terdiri dari STEAM PRO dan STEAM MASTER. Thermoflow STEAM PRO dapat menghitung efisiensi boiler baik dalam basis lower heating value (LHV) maupun higher heating value (HHV). Efisiensi boiler didefinisikan sebagai rasio antara laju heat transfer pada uap yang dihasilkan boiler dibagi dengan laju energi yang disuplai ke boiler yang dapat dihitung dengan persamaan :

$$\eta_b = \frac{\text{Total heat provided by Boiler}}{m_{\text{fuel}} \times \text{HV}_{\text{adj}} + m_{\text{air}} (h_{\text{air}} - h_{\text{amb}}) + Q_{\text{stmht}}}$$

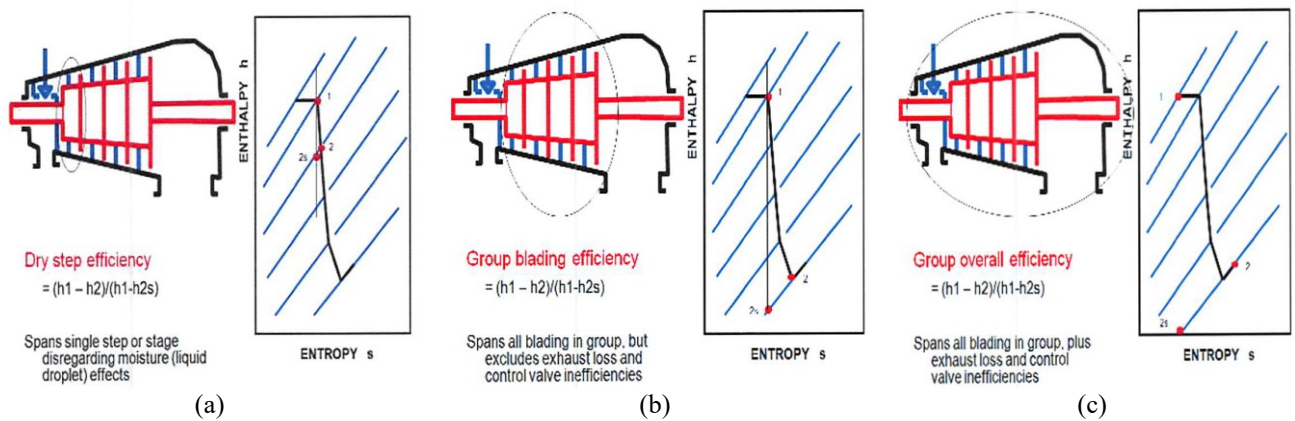
Dimana :

$m_{\text{fuel}} \times \text{HV}_{\text{adj}}$  = hasil dari laju alir bahan bakar dan nilai kalor pada temperatur suplai. Nilai kalor dapat dalam basis LHV atau HHV.

$m_{\text{air}} \times (h_{\text{air}} - h_{\text{amb}})$  = laju alir energi udara masuk pada boiler terhadap temperature ambient, dimana  $h_{\text{air}}$  adalah enthalpi pada inlet boiler dan  $h_{\text{amb}}$  adalah enthalpi udara ambient.

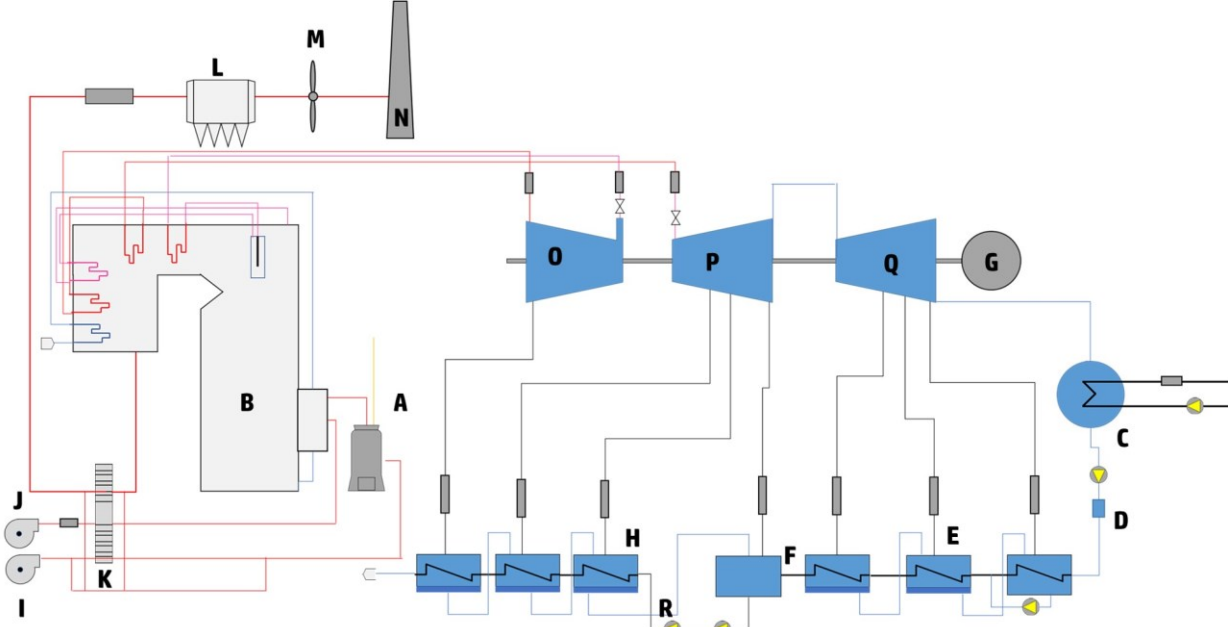
$Q_{\text{stmht}}$  = laju energi panas yang disuplai ke udara oleh steam air heater (jika ada steam air heater)

STEAM PRO akan melakukan iterasi efisiensi boiler dimulai dari nilai maksimum input (100% by default), dan semakin berkurang sampai beberapa kondisi terpenuhi antara lain: *minimum flue gas exit temperature*, *boiler minimum pinch*, *minimum steam approach to flame temperature* dan *air preheater minimum pinch*. Sementara itu, efisiensi turbin uap dalam pemodelan STEAM PRO merupakan efisiensi isentropik yang diperoleh dengan membandingkan perubahan enthalpi uap kondisi aktual dengan perubahan pada kondisi ideal, proses ekspansi uap reversible (entropi konstan) dengan kondisi energi masuk dan keluar sama (lihat Gambar 2).



**Gambar 2.** Efisiensi turbin pada STEAM PRO (a) *dry step efficiency* (b) *group blading efficiency* dan (c) *group overall efficiency*.

Bentuk model PLTU pada STEAM PRO dan STEAM MASTER terdiri dari komponen-komponen utama seperti pulverizer/mill, boiler, turbin, condenser, pompa kondensat, low pressure heater (LPH), deaerator, boiler feed pump (BFP), high pressure heater (HPH), primary air fan, secondary air fan, air heater, electrostatic precipicator, induced draft fan serta cerobong / stack (lihat Gambar 3). Pada setiap komponen diinputkan data parameter baik parameter desain maupun operasi seperti dimensi, suhu, tekanan, laju alir dan parameter input lainnya.



Gambar 3. Komponen Pemodelan PLTU pada software THERMOFLOW

Keterangan :

A	= Pulverizer/mill	F	= Deacerator	K	= Air heater
B	= Boiler	G	= BFP	L	= ESP
C	= Condenser	H	= HPH	M	= IDF
D	= Pompa kondensate	I	= Primary air fan	N	= Cerobong
E	= LPH	J	= Secondary air fan		

Salah satu data input simulasi yang dibutuhkan adalah hasil uji komposisi bahan bakar batubara dan sekam padi. Kedua sampel diuji di laboratorium terakreditasi. Secara karakteristik, sekam padi mempunyai kandungan nilai kalor dan moisture yang lebih rendah dibandingkan dengan batubara. Sementara itu, kandungan abu dan volatile matter dari sekam padi jauh lebih tinggi dibandingkan batubara. Dari komposisi kandungan alkali, SiO<sub>2</sub> dan K<sub>2</sub>O yang terkandung dalam sekam padi nilainya lebih tinggi dibandingkan dengan batubara (lihat Tabel 2).

**Tabel 2.** Komposisi Bahan Bakar Batubara dan Biomassa Sekam Padi

Parameter	Satuan	Batubara	Sekam Padi
<b>Heating Values</b>			
LHV	kJ/kg	17.668	14.155
HHV	kJ/kg	19.116	15.441
<b>Ultimate Analysis (%-berat)</b>			
Moisture	%	29,73	6,91
Ash	%	5,81	14,32
Carbon	%	49,54	40,34
Hydrogen	%	3,31	5,12
Nitrogen	%	0,68	0,38
Chlorine	%	0	0,07
Sulfur	%	0,35	0,22
Oxygen	%	10,58	32,64
Total	%	100	100
<b>Proximate Analysis (%-berat)</b>			
Moisture	%	29,73	6,91
Ash	%	5,81	14,32
Volatile Matter	%	33,47	63,37
Fixed Carbon	%	30,99	15,40
Total	%	100	100
<b>Ash Analysis (%-berat)</b>			
SiO <sub>2</sub>	%	61,84	88,56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	21,28	0,08
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	6,46	4,46
CaO	%	2,58	0,02
MgO	%	1,84	0,03
Na <sub>2</sub> O	%	1,91	0,46
K <sub>2</sub> O	%	0,91	2,89
TiO <sub>2</sub>	%	0,80	0,05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0,47	1,19
SO <sub>3</sub>	%	0,89	0,59
Other	%	1,03	1,67
Total	%	100	100
<b>Ash Characteristics</b>			
Fouling		Low/Medium	Low/Medium
Initial deformation temperature	C	1.268	1.188
Softening temperature	C	1.517	1.500
Bulk density (dry)	kg/m <sup>3</sup>	787,63	1.200

### 2.3 Metode Pemodelan Cofiring PLTU

Studi dampak cofiring menggunakan batubara dan biomassa sekam padi dilakukan pada 11 skenario dengan memvariasikan rasio co-firing dari 0 s.d. 50% yaitu 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%, 50%. Rasio 5% berarti bahan bakar yang digunakan merupakan batubara full atau kondisi base line. Penambahan bahan bakar biomassa sekam padi ditunjukkan pada skenario 5% s.d. 50%. Pencampuran bahan bakar batubara dan biomassa sekam padi pada model dilakukan sebelum masuk ke pulverizer/ mill. Tidak ada penambahan (modifikasi) peralatan ketika simulasi dilakukan pada model co-firing. Setelah iterasi model menunjukkan konvergen, validasi dilakukan dengan memeriksa nilai output simulasi dengan nilai desain maupun nilai parameter aktual. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi kondisi baseline dengan kondisi co-firing. Beberapa parameter yang dievaluasi antara lain: efisiensi boiler, net plant heat rate, power output, kondisi pulverizer mill dan fan, energi pemakaian sendiri serta dampak terhadap produk emisi.

### 3. Hasil Dan Pembahasan

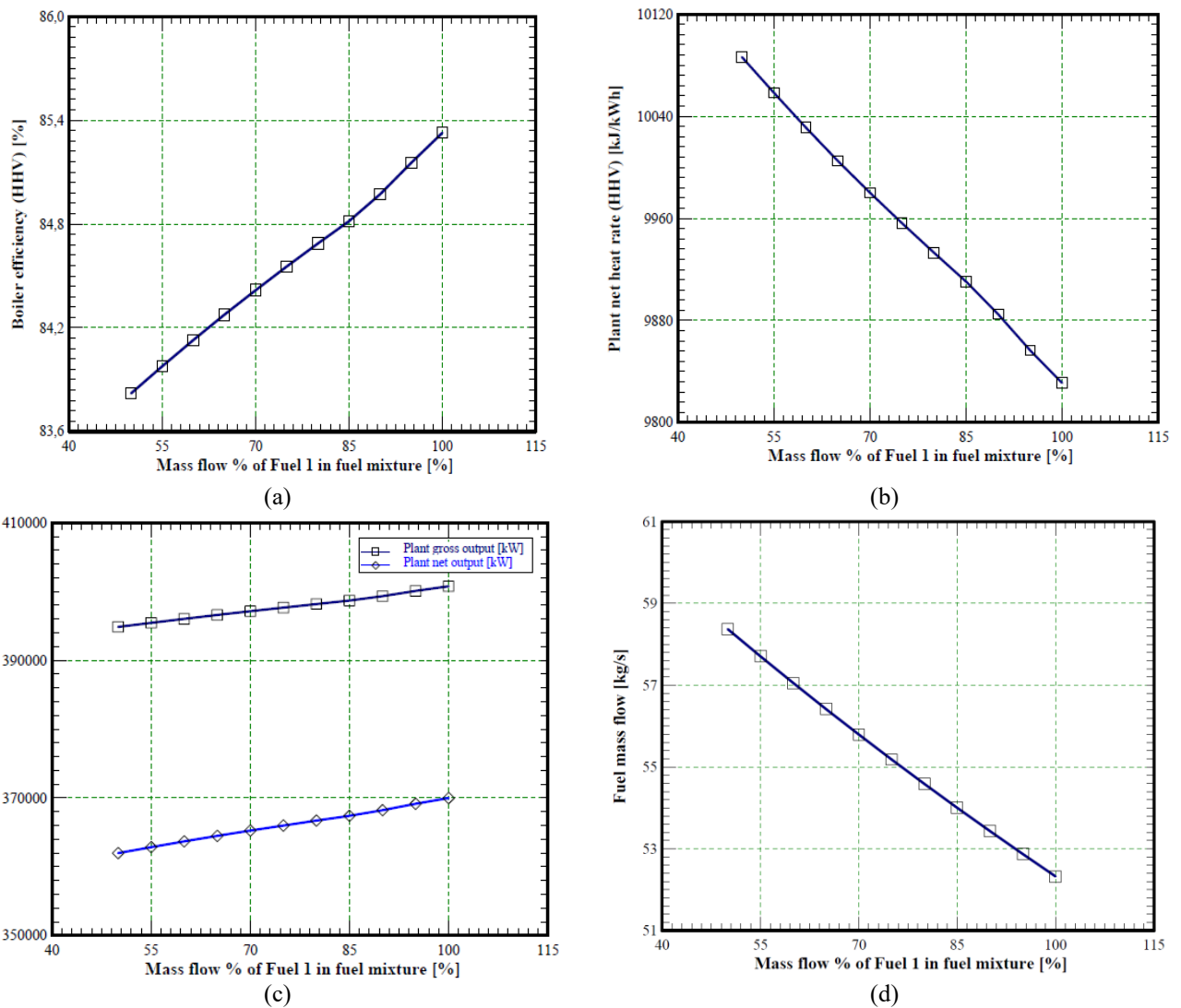
Pencampuran bahan bakar yang homogen sangat berperan penting kualitas pembakaran. Selain itu adanya perbedaan karakteristik antara batubara dan sekam padi, perlu diperhatikan besarnya % rasio cofiring sehingga pembangkit PLTU tetap aman ketika implementasi pengoperasian menggunakan mode cofiring. Semakin bertambah rasio cofiring menunjukkan kenaikan pada kandungan abu sehingga berpotensi menaikkan produk abu yang dihasilkan (lihat Tabel 3). Sementara itu kandungan chlorine juga bertambah sehingga menyebabkan peningkatan potensi terjadinya korosi pada daerah konventif. Kenaikan kandungan alkali bahan bakar juga akan berdampak pada peningkatan fouling. Perlu diperhatikan juga penurunan *Initial Deformation Temperature* (IDT) yang proporsional dengan penambahan rasio cofiring. Ketika nilai IDT sudah mendekati atau lebih rendah dari nilai Furnace Exit Gas Temperature (FEGT) maka abu hasil pembakaran akan mulai meleleh pada permukaan pipa boiler sehingga akan berdampak pada penurunan heat transfer serta terjadi hot spot pada area tertentu.

**Tabel 3.** Komposisi Bahan Bakar Campuran Batubara dan Biomassa Sekam Padi pada berbagai %-Rasio Cofiring

Parameter	Satuan	SP5	SP10	SP15	SP20	SP25	SP30	SP35	SP40	SP45	SP50
<b>Heating Values</b>											
HHV	kJ/kg	19.116	18.922	18.729	18.535	18.342	18.149	17.955	17.762	17.568	17.375
<b>Ultimate Analysis</b>											
Moisture	%	29,73	28,53	27,33	26,13	24,93	23,72	22,52	21,32	20,12	18,92
Ash	%	5,81	6,26	6,7	7,15	7,6	8,05	8,5	8,94	9,39	9,84
Carbon	%	49,54	49,05	48,57	48,08	47,6	47,12	46,63	46,15	45,66	45,18
Hydrogen	%	3,31	3,40	3,500	3,59	3,69	3,78	3,88	3,97	4,07	4,17
Nitrogen	%	0,68	0,67	0,65	0,64	0,62	0,60	0,59	0,57	0,56	0,54
Chlorine	%	0	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04
Sulfur	%	0,35	0,35	0,34	0,33	0,33	0,32	0,31	0,30	0,30	0,29
Oxygen	%	10,58	11,74	12,9	14,06	15,23	16,39	17,55	18,71	19,87	21,03
Total	%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Proximate Analysis</b>											
Moisture	%	29,73	28,53	27,33	26,13	24,93	23,72	22,52	21,32	20,12	18,92
Ash	%	5,81	6,26	6,7	7,15	7,6	8,05	8,5	8,94	9,39	9,84
Volatile Matter	%	33,47	35,05	36,62	38,19	39,77	41,34	42,91	44,49	46,06	47,64
Fixed Carbon	%	30,99	30,17	29,35	28,53	27,71	26,89	26,07	25,25	24,43	23,61
Total	%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Ash Analysis</b>											
SiO <sub>2</sub>	%	61,84	65,06	67,85	70,29	72,44	74,35	76,06	77,6	78,99	80,26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	21,28	18,73	16,51	14,58	12,87	11,35	10	8,77	7,67	6,67
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	6,46	6,22	6,01	5,83	5,67	5,52	5,39	5,28	5,18	5,08
CaO	%	2,58	2,27	2	1,77	1,56	1,38	1,22	1,07	0,94	0,82
MgO	%	1,84	1,62	1,43	1,27	1,12	0,99	0,87	0,77	0,68	0,59
Na <sub>2</sub> O	%	1,91	1,73	1,58	1,45	1,33	1,23	1,14	1,05	0,98	0,91

Parameter	Satuan	SP5	SP10	SP15	SP20	SP25	SP30	SP35	SP40	SP45	SP50
K <sub>2</sub> O	%	0,91	1,15	1,35	1,54	1,69	1,84	1,96	2,08	2,18	2,27
TiO <sub>2</sub>	%	0,8	0,71	0,63	0,57	0,5	0,45	0,4	0,36	0,32	0,28
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0,47	0,56	0,63	0,7	0,76	0,81	0,85	0,9	0,93	0,97
SO <sub>3</sub>	%	0,89	0,85	0,82	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,7	0,68
Other	%	1,03	1,11	1,17	1,23	1,28	1,33	1,37	1,41	1,44	1,47
Total	%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<b>Ash Characteristics</b>											
IDT	C	1.268	1.258	1.250	1.243	1.236	1.230	1.225	1.221	1.216	1.213
ST	C	1.517	1.515	1.513	1.511	1.510	1.509	1.508	1.507	1.506	1.505
Bulk density (dry)	kg/m <sup>3</sup>	787,63	806,63	825,9	845,44	865,25	885,34	905,73	926,4	947,38	968,66

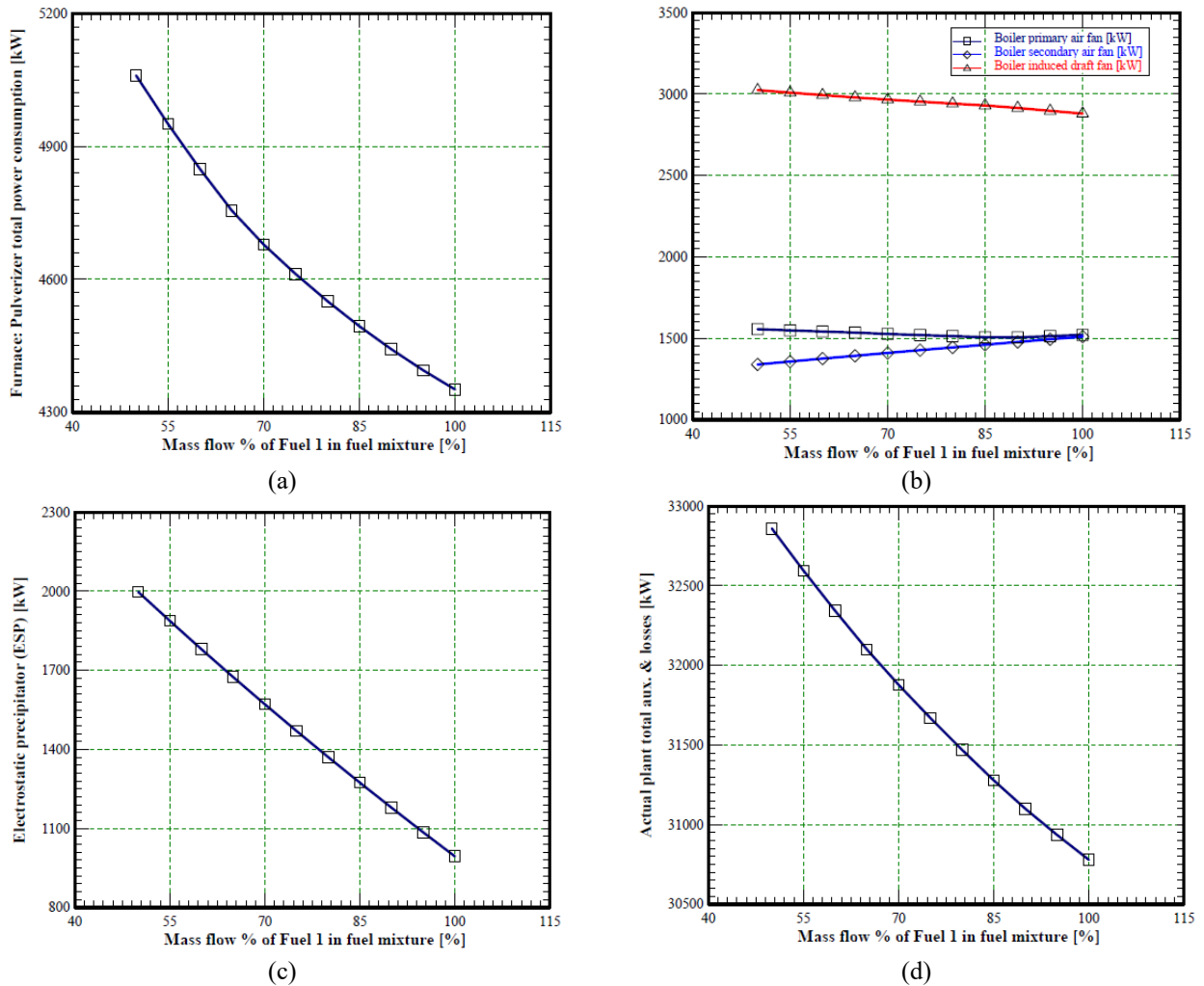
Dari sisi performance pembangkit, setiap penambahan 1% rasio co-firing menggunakan sekam padi menunjukkan penurunan efisiensi boiler HHV sebesar 3,19 % (Gambar 4.a); kenaikan *net plant heat rate* sebesar 5,22 % (Gambar 4.b); penurunan daya output gross sebesar 2,53 % (Gambar 4.c) serta kenaikan konsumsi bahan bakar (SFC) sebesar 2,53 % (Gambar 4.d).



**Gambar 4.** Dampak penambahan % rasio co-firing terhadap (a) efisiensi boiler, (b) net plant heat rate, (c) energi listrik gross dan net dan (d) konsumsi bahan bakar



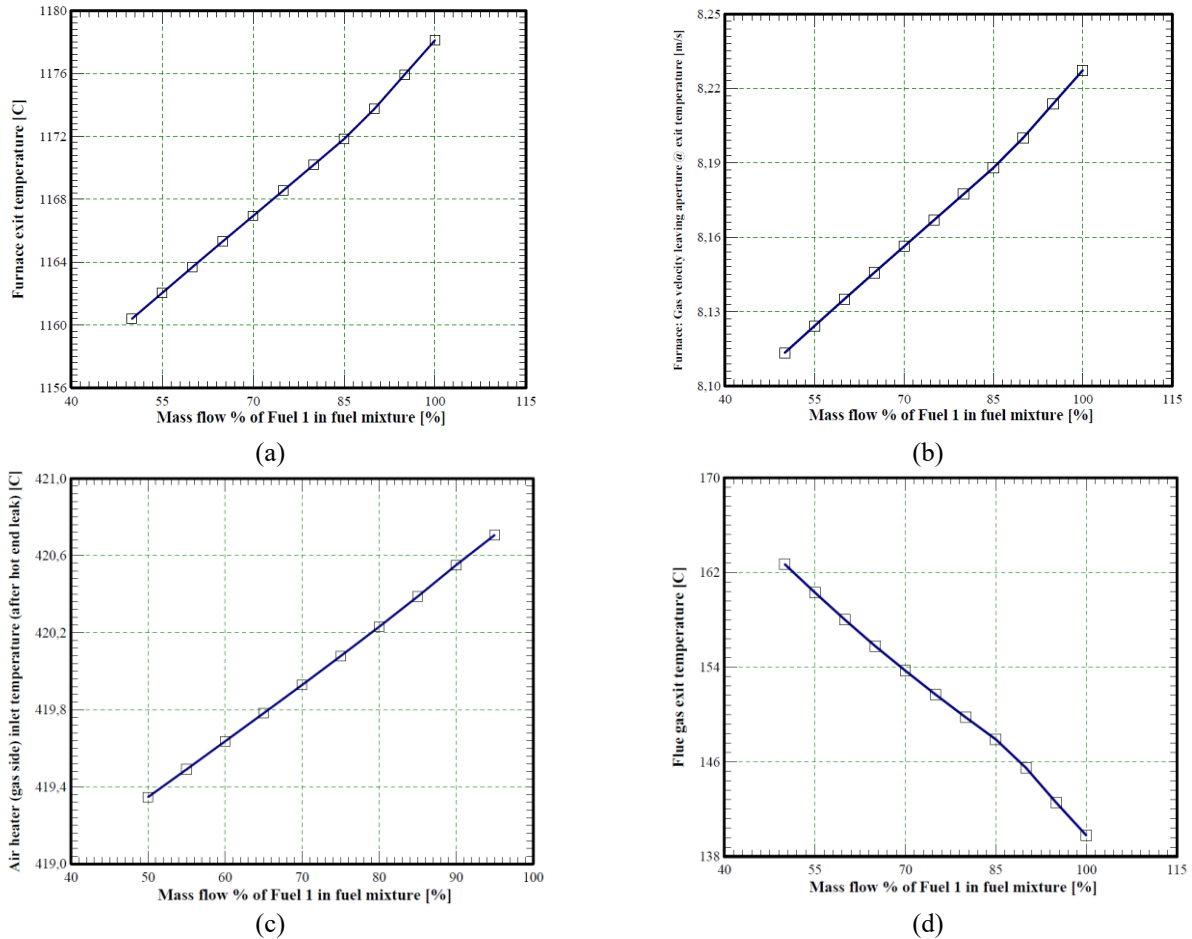
Peningkatan penggunaan energi listrik untuk keperluan sendiri pada beberapa komponen utama juga terjadi proporsional dengan penambahan prosentase rasio cofiring. Setiap penambahan 1% rasio co-firing menunjukkan konsumsi daya pada pulverizer meningkat sebesar 5% (Gambar 5.a); konsumsi daya IDF dan PAF juga bertambah sedangkan daya SAF mengalami sedikit penurunan (Gambar 5.b); kenaikan yang sangat ekstrim terjadi pada konsumsi daya ESP sebesar 220 % (Gambar 5.c); kenaikan total daya pemakaian sendiri sebesar 17,25% (Gambar 5.d).



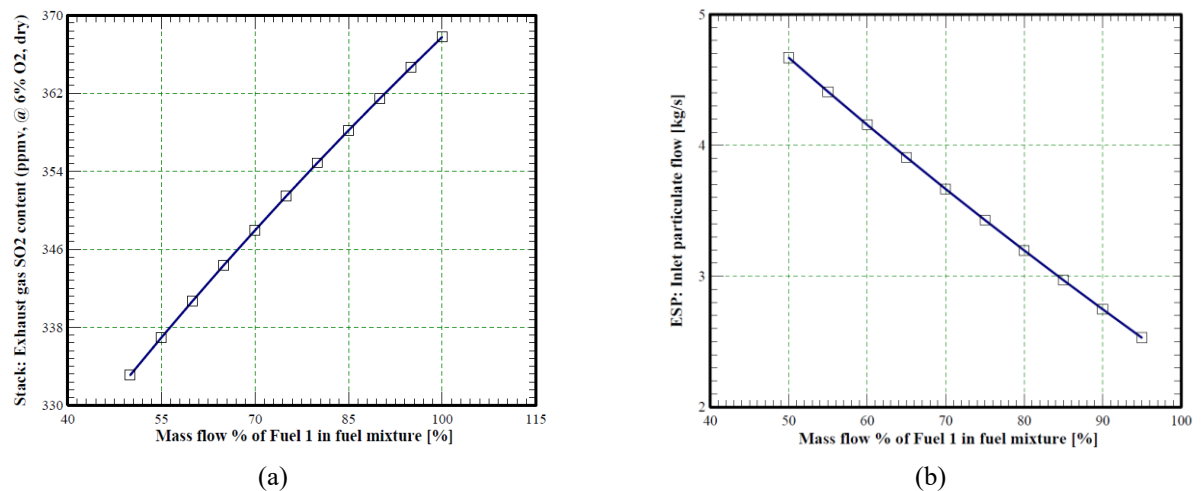
**Gambar 5.** Dampak penambahan % rasio co-firing terhadap energi pemakaian sendiri pada (a) pulverizer, (b) primary air fan, secondary air fan dan induced draft fan dan (c) electrostatic precipicator dan (d) total auxiliary power

Perubahan pada beberapa parameter pada furnace dan daerah konvektif boiler juga terjadi dimana co-firing sekam padi berkontribusi menurunkan suhu FEGT (Gambar 6.a); suhu gas buang masuk air heater (Gambar 6.c) dan juga kecepatan gas buang keluar furnace (Gambar 6.b). Sementara itu, suhu gas buang keluar air heater mengalami peningkatan sehingga menambah kerugian boiler akibat gas buang yang keluar boiler (Gambar 6.d). Kerugian ini menyebabkan efisiensi boiler mengalami penurunan.

Dari sisi emisi, output simulasi menunjukkan bahwa semakin bertambah rasio co-firing menggunakan sekam padi menurunkan emisi  $SO_2$  yang dihasilkan seperti ditunjukkan pada Gambar 7.a. Kondisi ini terjadi karena kandungan sulfur pada biomassa sekam padi cenderung lebih rendah dibandingkan batubara. Sementara itu, kandungan ash yang jauh lebih tinggi dari batubara berdampak pada peningkatan laju alir partikulat pada gas pada daerah inlet ESP (Gambar 7.b). Dengan demikian, dalam menaikkan rasio cofiring perlu diperhatikan terkait peningkatan kerja ESP sehingga kondisi ESP tetap aman.



**Gambar 6.** Dampak penambahan % rasio co-firing terhadap (a) temperatur keluar furnace, (b) kecepatan gas buang keluar furnace (c) suhu gas buang masuk air heater dan (d) suhu gas buang keluar air heater.



**Gambar 7.** Dampak penambahan % rasio co-firing terhadap (a) emisi SO<sub>2</sub>, (b) laju partikulat masuk ESP.

#### 4. Kesimpulan

Co-firing biomassa pada PLTU di Indonesia merupakan program yang dicanangkan PT PLN dalam menunjang program percepatan capaian Energi Baru Terbarukan (EBT) pemerintah. Dalam pelaksanaan co-firing terdapat tahapan-tahapan yang perlu dilalui termasuk tahap simulasi untuk mengevaluasi dampak serta memetakan mitigasi risiko yang muncul sebelum dilanjutkan ke tahap pengujian pada pembangkit. Dalam perkembangannya, berbagai biomassa telah

digunakan untuk co-firing salah satunya adalah biomassa sekam padi yang mempunyai potensi ketersediaan yang cukup besar terutama di daerah Jawa. Secara karakteristik, sekam padi mempunyai kandungan ash, volatile matter, chlorine dan kandungan alkali  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{K}_2\text{O}$  yang lebih tinggi dibandingkan batubara sehingga perlu dilakukan mitigasi risiko potensi slagging & fouling serta korosi akibat chlorine. Hasil simulasi juga menunjukkan, semakin bertambahnya prosentase rasio cofiring menggunakan biomassa sekam padi berkontribusi terhadap penurunan performance pembangkit serta penurunan daya output (deaerating) pembangkit. Dari sisi emisi, dampak positif cofiring menggunakan sekam padi adalah  $\text{SO}_2$  mengalami penurunan. Namun demikian kandungan abu pada sekam padi yang cukup tinggi berdampak pada peningkatan laju alir partikulat pada gas buang sehingga menaikkan kerja ESP. Perlu dilakukan studi lanjutan untuk mendapatkan batasan prosentase rasio cofiring menggunakan sekam padi yang memberikan dampak negatif sekecil mungkin sehingga tidak terjadi gangguan keandalan pada komponen-komponen PLTU.

### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih penulis ucapkan kepada PT PLN (Persero) Puslitbang Ketenagalistrikan atas dukungan yang telah diberikan sehingga penelitian ini dapat dilakukan.

### Daftar Pustaka

- [1] E. Erdiwansyah dkk., 202, "Investigation Of Availability, Demand, Targets, And Development Of Renewable Energy In 2017–2050: A Case Study In Indonesia," *Int. J. Coal Sci. Technol.*, 8(4): 483–499.
- [2] Anonymous, 2017, "PERPRES No. 22 Tahun 2017 Tentang Rencana Umum Energi Nasional [JDIH BPK RI]." <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/68772> (diakses 27 Mei 2022).
- [3] PLN, 2021, "Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik (Rupl) 2021-2030," PLN.
- [4] M. S. Roni, S. Chowdhury, S. Mamun, M. Marufuzzaman, W. Lein, dan S. Johnson, 2017, "Biomass Co-Firing Technology With Policies, Challenges, And Opportunities: A Global Review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 78: 1089–1101.
- [5] D. Tillman dan N. S. Harding, 2004, "Fuels of opportunity: characteristics and uses in combustion systems," Elsevier.
- [6] C. Ndibe, J. Maier, dan G. Scheffknecht, 2015 "Combustion, Co-Firing And Emissions Characteristics Of Torrefied Biomass In A Drop Tube Reactor," *Biomass Bioenergy*, 79: 105–115.
- [7] M. V. Gil dan F. Rubiera, 2019, "5 - Coal And Biomass Cofiring: Fundamentals And Future Trends," *New Trends in Coal Conversion Woodhead Publishing*, 117–140.
- [8] E. Agbor, X. Zhang, dan A. Kumar, 2014, "A Review Of Biomass Co-Firing In North America," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 40: 930–943.
- [9] D. Primadita, I. Kumara, dan W. Ariastina, 2020, "A Review On Biomass For Electricity Generation In Indonesia," *J. Electr. Electron. Inform.*, 4(1): 4.
- [10] N. Cahyo, H. H. Alif, H. D. Saksono, Paryanto, 2020, "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), 44–47
- [11] N. Cahyo, H. H. Alif, I. A. Aditya, dan H. D. Saksono, 2021, "Co-Firing Characteristics Of Wood Pellets On Pulverized Coal Power Plant," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, 1098(6): 062088.
- [12] N. Cahyo, H. H. Alif, T. W. D. Hapsari, dan A. Aprilana, 2021, "Comparative Boiler Performance, Fuel Cost And Emission Characteristic Of Co-Firing Palm Kernel Shell With Coal On Circulating Fluidized Bed Boiler: An Experimental Study," 2021 International Conference on Technology and Policy in Energy and Electric Power (ICT-PEP), 17–21
- [13] F. Tanbar, "Analisa Karakteristik Pengujian Co-Firing Biomassa Sawdust Pada Pltu Type Pulverized Coal Boiler Sebagai Upaya Bauran Renewable Energy," *J. Offshore Oil Prod. Facil. Renew. Energy*, 5(2).
- [14] M. Anshar, A. Kader, A. Saman, dan F. N. Ani, "The Utilization Potential Of Rice Husk As An Alternative Energy Source For Power Plants In Indonesia," 2014, 845: 494–498.
- [15] Y. Zou dan T. Yang, 2019, "Chapter 9 - Rice Husk, Rice Husk Ash And Their Applications," dalam *Rice Bran and Rice Bran Oil*, L.-Z. Cheong dan X. Xu, Ed. AOCS Press, 207–246
- [16] W.-H. Chen dan J.-S. Wu, 2009, "An Evaluation On Rice Husks And Pulverized Coal Blends Using A Drop Tube Furnace And A Thermogravimetric Analyzer For Application To A Blast Furnace," *Energy*, 34(10): 1458–1466.
- [17] Yunaidi, F. Surahmanto, dan S. Harnowo, 2020, "The Risk Analysis Of Rice Husk Of Co-Firing Fuel For Boilers In Sugar Mills," *J. Phys. Conf. Ser.*, 1446(1): 012041.
- [18] P. C. W. Kwong, C. Y. H. Chao, J. H. Wang, C. W. Cheung, dan G. Kendall, 2007, "Co-Combustion Performance Of Coal With Rice Husks And Bamboo," *Atmos. Environ.*, 41(35): 7462–7472.

- [19] E. Amirabedin, M. Pooyanfar, M. A. Rahim, dan H. Topal, 2014, “*Techno-Environmental Assessment Of Co-Gasification Of Low-Grade Turkish Lignite With Biomass In A Trigeneration Power Plant*,” Rigas Teh. Univ. Zinat. Raksti, 13(5).