

Pengaruh *Co-Firing* Menggunakan *Sawdust* Terhadap Nilai *Heat Rate* PLTU

Muhammad Farras Ilham¹, Sri Widodo Agung Suedy²

¹Magister Energi, Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro;

²Departemen Biologi, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro;

Email : mfarrasilham@students.undip.ac.id (M.F.I), agung.suedy@gmail.com (S.W.A.S);

Abstrak : Guna mencapai bauran energi nasional tahun 2025 perlu akselerasi pengembangan kapasitas energi baru terbarukan. Salah satu energi baru terbarukan yang berpotensi dikembangkan di Indonesia adalah biomassa untuk bahan bakar, dengan cara *co-firing*. Biomassa bisa menjadi energi alternatif yang efektif, guna meminimalkan penggunaan bahan bakar fosil. Biomassa bisa dicampurkan kedalam *bunker* batubara, campuran bahan bakar tersebut di alirkan menuju ruang bakar atau *furnace*. Beberapa keuntungan penggunaan biomassa pada PLTU antara lain investasi relatif lebih rendah dan dampak lingkungan lebih baik jika dibandingkan dengan yang 100% batubara. Serbuk kayu ini merupakan limbah produksi karena tidak dapat menghasilkan produk (*output*) yang bernilai tinggi dari segi ekonomi. *Sawdust*/Serbuk kayu sisa hasil pengerajin. Perhitungan setara kalor dengan metode *input-output*, dilakukan dengan cara menghitung total konsumsi bahan bakar dalam satuan kg/jam, dikalikan dengan nilai kalor rata-rata batubara selama pengujian kemudian dibagi dengan rata-rata daya yang dihasilkan dalam satuan kWh/jam, sehingga didapatkan energi. Kesimpulannya Penggunaan substitusi pembakaran dengan cara menambahkan *sawdust* pada boiler dengan *blending* 95% Batubara dan 5% *sawdust* tidak ada perbedaan signifikan, hasil perhitungan *heat rate* metode *input-output* nilai GPHR *coal firing* 2649 kCal/kWh, sementara nilai GPHR *co-firing* yaitu 2705 kCal/kWh, dengan penurunan kWh produksi *gross* sebesar 1% pada saat *co-firing*. Nilai SFC relatif sama yaitu SFC *coal firing* adalah 0,617 dan SFC *co-firing* adalah 0,621. Dari hasil perhitungan *heat rate* metode *heat loss* didapatkan efisiensi boiler saat *coal firing* adalah 84,34% sementara saat *co-firing* adalah 84,72%. Nilai GPHR pada saat *coal firing* adalah sebesar 2.668,37 kCal/kWh dan saat *co-firing* adalah 2.688,16 kCal/kWh.

Kata Kunci : *co-firing*, *sawdust*, *heat rate*, SFC, *heat loss*

Abstract : In order to achieve the national energy mix in 2025, it is necessary to accelerate the development of new and renewable energy capacities. One of the new renewable energies that has the potential to be developed in Indonesia is biomass for fuel, by means of *co-firing*. Biomass can be an effective alternative energy, in order to minimize the use of fossil fuels. Biomass can be mixed into the coal bunker, the fuel mixture is flowed into the combustion chamber or *furnace*. Some of the advantages of using biomass in PLTU include relatively lower investment and better environmental impact when compared to 100% coal. This sawdust is a production waste because it cannot produce products (*output*) that are of high economic value. Sawdust / sawdust left over by craftsmen.

Calculation of tare using the input-output method is carried out by calculating the total fuel consumption in kg/hour units, multiplied by the average calorific value of coal during the test then divided by the average power generated in units of kWh/hour, so that we get energy. In conclusion, the use of combustion substitution by adding sawdust to the boiler with a blend of 95% coal and 5% sawdust has no significant difference, the results of the calculation of the heat rate of the input-output method of GPHR coal firing value of 2,649 kCal/kWh, while the value of GPHR co-firing is 2,705 kCal/kWh, with a 1% reduction in gross production kWh during co-firing. SFC values are relatively the same, namely SFC coal firing is 0.617 and SFC co-firing is 0.621. From the calculation of the heat rate of the heat loss method, the efficiency of the boiler during coal firing is 84.34% while co-firing is 84.72%. The GPHR value at the time of coal firing is 2,668.37 kCal/kWh and when co-firing is 2,688.16 kCal/kWh.

Keywords : co-firing, sawdust, heat rate, SFC, heat loss

1. Pendahuluan

Pada era industri 4.0 ini kebutuhan energi merupakan kebutuhan yang sangat penting khususnya energi listrik. Dimana semua peralatan rumah tangga, perkantoran dan Industri membutuhkan energi listrik. Di Indonesia energi listrik bersumber dari energi fosil masih menjadi primadona. Seperti halnya ketahanan listrik di daerah Jawa-Bali masih ditopang oleh PLTU yang berbahan bakar batubara. Pemanfaatan energi baru terbarukan itu sendiri masih rendah. Target Bauran energi di Indonesia tahun 2025 sebesar 23%, gas bumi sebesar 22%, minyak bumi sebesar 25%, dan batubara sebesar 30%. Sementara, pada tahun 2020 bauran energi baru terbarukan tercapai sebesar 11,20%, gas bumi sebesar 19,16%, minyak bumi sebesar 31,60%, dan batubara sebesar 38,04% (Pribadi, 2021).

Guna mencapai bauran energi nasional di tahun 2025 perlu adanya akselerasi pengembangan kapasitas pada energi baru terbarukan. Salah satu energi baru terbarukan yang berpotensi dikembangkan di Indonesia adalah biomassa untuk bahan bakar, diantaranya dengan cara *co-firing*. *Co-firing* merupakan pencampuran bahan bakar biomassa pada *furnace* boiler PLTU. Selain mengurangi penggunaan bahan bakar fosil yaitu batubara, kombinasi pembakaran batubara dengan biomassa merupakan alternatif yang layak untuk mengurangi emisi tanpa mengganggu efisiensi (Wander et al., 2020).

Co-firing merupakan pembakaran dua (atau lebih) jenis material yang berbeda pada saat bersamaan dan mengkombinasikannya dengan bahan bakar alternatif terbarukan yang lebih murah dengan kombinasi rasio tertentu sehingga dapat mengurangi pemakaian batubara dan menekan biaya pokok produksi listrik (Xu et al., 2020). Sebagian batubara dengan bahan bakar *renewable* untuk kebutuhan bahan bakar di miler. Konsep substitusi tersebut dapat mengurangi emisi hasil pembakaran batubara yang terbawa oleh gas buang atau flue gas. *Co-firing* dianggap sebagai pendekatan jangka pendek yang paling menjanjikan untuk mengurangi CO₂, dengan mitigasi emisi melalui penggunaan biomassa (Križan et al., 2011)

Biomassa bisa menjadi energi alternatif yang efektif, guna meminimalisir penggunaan bahan bakar fosil. Biomassa di campuran kedalam *bunker* batubara. Campuran bahan bakar tersebut di alirkan menuju ruang bakar atau *furnace*. Biomassa mampu mengurangi dampak lingkungan dari

pembakaran batubara (Miedema et al., 2017). Selain itu juga pada batubara jika di bakar akan menghasilkan emisi gas CO₂. Oleh sebab itu *co-firing* penggunaan energi alternatif ini tergolong menguntungkan bagi dampak lingkungan. Namun perlu adanya penelitian seberapa berpengaruhnya penggunaan biomassa pada *co-firing* ini. Biomassa pada penelitian ini yaitu menggunakan *sawdust*.

Serbuk kayu ini merupakan bentuk dan ukuran yang terpaksa harus dikorbkan dalam proses produksinya karena tidak dapat menghasilkan produk (*output*) yang bernilai tinggi dari segi ekonomi dengan tingkat teknologi pengolahan tertentu. Serbuk Kayu/gergaji sisa hasil pengerajin kayu di Kabupaten Sukabumi. yang digunakan Serbuk kayu dikumpulkan dari beberapa lokasi, untuk selanjutnya dikirim ke PLTU Pelabuhan Ratu untuk dilakukan *Mixing* sebelum diumpan ke *bunker* batubara

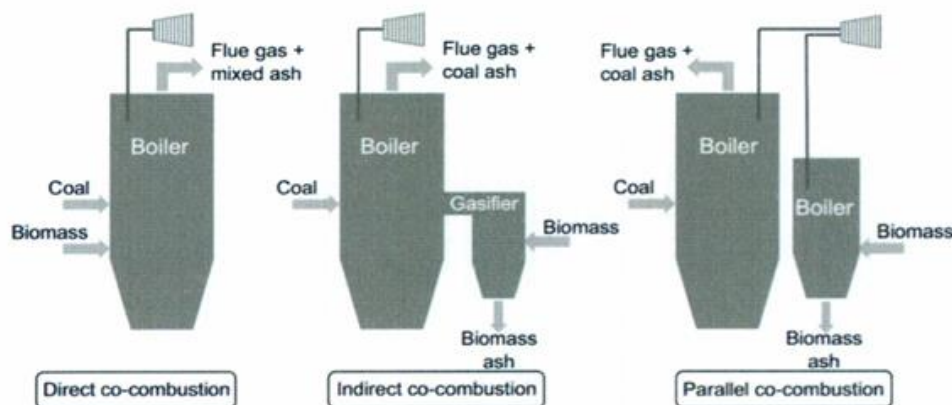
2. Studi Literatur

2.1. Studi Metode *Co-firing*

Salah satu teknik untuk mengurangi pemakaian bahan bakar fosil dari pembangkit listrik adalah dengan memodifikasi PLTU batubara dengan konsep pembakaran bersama atau yang biasa disebut dengan metode alternatif dengan cara mensubstitusi sebagian batubara dengan bahan bakar *renewable* untuk kebutuhan bahan bakar di boiler substitusi tersebut dapat mengurangi emisi hasil batubara terbawa oleh gas buang atau *flue gas*. *Co-firing* dianggap sebagai pendekatan jangka yang paling menjanjikan untuk mengurangi CO₂, dengan mitigasi emisi melalui penggunaan biomassa. Bahan bakar alternatif dapat berasal dari kayu, reruntuhan jenis tanaman energi, beberapa jenis limbah tertentu, ataupun sampah sudah diolah. Beberapa keuntungan melakukan biomassa pada PLTU antara lain (Kommalapati et al., 2018):

- 1) Investasi yang relatif lebih rendah
- 2) Dampak lingkungan lebih baik jika dibandingkan dengan yang 100% batubara.

Sampai sejauh ini substitusi bahan bakar alternatif dalam sistem *co-firing* sebanyak 5% sampai dengan 10%, semakin tinggi komposisi bahan bakar alternatif berarti semakin rendah gas rumah kaca yang dihasilkan (Gil & Rubiera, 2018). Biomassa juga lebih sedikit sulfur jika dibandingkan dengan batubara (Tchapda & Pisupati, 2014). Oleh karena itu, batubara dan biomassa berpotensi menurunkan emisi CO₂, dan SO_x. Terdapat beberapa metode *co-firing* yang digunakan untuk pembakaran campuran biomassa dengan batubara seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Metode *co-firing* batubara dengan biomassa (Tripathy, 2014)

1) *Direct Co-firing*

Mencampur bahan bakar alternatif dan batubara pada kemudian diumpungkan ke boiler. Biomasa dicampur pada peralatan yang sama atau terpisah kemudian dicampur dengan batubara ke dalam sama untuk dibakar.

2) *Indirect Co-firing*

Menyiapkan bahan bakar alternatif secara terpisah dengan batubara, diperlukan peralatan tambahan yaitu tersendiri. Biomasa terlebih dahulu di gasifikasi menjadi *syngas* dalam mesin akhirnya masuk ke untuk pembakaran. Kelebihan dari metode ini adalah proses pemurnian *syngas* dapat meminimalkan dampak pencemaran dari langsung. Opsi sumber lebih beragam. Metode ini memerlukan investasi peralatan tamtman (*gasifier*) dan dipergunakan *co-firing* dengan persentasi biomasa lebih tinggi.

3) *Parallel Co-firing*

Pada metode ini diperlukan biomasa terpisah dari boiler batubara, uap yang dihasilkan dari pembakaran pada biomasa dan batubara dicampur kemudian dipergunakan untuk memutar turbin dan generator untuk menghasilkan energi listrik. Metode ini memungkinkan pemanfaatan biomasa lebih maksimal atau dalam skala besar, akan tetapi membutuhkan investasi besar juga.

Dari ketiga metode tersebut, paling mudah dan minimal dalam penyediaan sarana pendukung yaitu *direct co-firing* karena melakukan pencampuran di sarana fuel handling yang terdapat pada fasilitas setiap PLTU. Namun, terdapat beberapa hambatan operasional seperti perbedaan karakteristik, masalah pengumpanan, ketidakstabilan proses pembakaran yang mungkin bisa terjadi, komposisi kimia yang berpotensi menurunkan efisiensi. Konsekuensi dari penerapan *co-firing* dapat berupa kenaikan biaya operasi dan efisiensi, umur boiler sehingga perlu dilakukan kajian lebih dalam (Karampinis et al., 2014)

Pengujian *co-firing* dengan *sawdust* salah satunya juga sudah di implementasikan pada PLTU Naatali di Finlandia yang memiliki kapasitas 315 MW, melakukan *co-firing* batubara dan serbuk gergaji dengan persentasi 4% (basis energi) dengan syarat kadar air pada serbuk gergaji hingga 65%, hasilnya tidak terjadi permasalahan pada operasional (Marangwanda et al., 2021)

2.2. Spesifikasi Boiler PLTU Pelabuhan Ratu

Boiler PLTU Pelabuhan Ratu didesain oleh manufaktur Shanghai Boiler Group co.,Ltd karakteristik secara detail seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

2.3. Persiapan Operasional

Berdasarkan perencanaan yang telah ditentukan hasil meeting persiapan *co-firing* di PLTU Pelabuhan Ratu, terdapat beberapa kendala teknis yang terjadi dilapangan. Awalnya direncanakan menggunakan batubara single kalori untuk pengujian performance test *coal firing* maupun *co-firing* sampai dengan hari H-1 karena terkendala cuaca tongkang tidak bisa bersandar sesuai rencana. sehingga dari kendala tersebut diambil opsi menggunakan batubara yang ada di stock pile akan dicampur dengan *sawdust*, karena batubara berada diluar maka kondisi basah dan perlu dilakukan pengangkutan via *dump truck* sebelum dilakukan *blending* dengan *sawdust* yang terlebih dahulu berada di *dome*.

Tabel 1.
 Spesifikasi Boiler PLTU Pelabuhan Ratu (Sumber: (PT PLN , 2012)

<i>Items</i>	Unit	BMCR	TMCR
<i>Steam flow rate of superheater outlet</i>	Ton/H	1200	1074,6
<i>Steam Pressure of superheater outlet</i>	Mpa(g)	17,5	17,32
<i>Steam Temperature of superheater outlet</i>	°C	541	541
<i>Steam flow rate of reheater outlet</i>	Ton/H	999	900
<i>Steam pressure of reheater outlet</i>	Mpa(g)	521	541
<i>Steam temperature of reheater outlet</i>	°C	3,92	3,61
<i>Steam temperature of reheater inlet</i>	°C	334	324
<i>Steam pressure of reheater inlet</i>	Mpa(g)	4,13	3,81
<i>Temperature of feed water</i>	°C	283	277
<i>Air temperature at air preheater outlet (primary/secondary)</i>	°C	369/356	362/352
<i>Air temperature at air preheater inlet (primary/secondary)</i>	°C	37,8/32,8	38/33
<i>Flue gas temperature at air preheater outlet (unrevised)</i>	°C	157,5	155,5
<i>Flue gas temperature at air preheater outlet (revised)</i>	°C	152,5	150,5
<i>Boiler efficiency</i>	%	92,6	92,7

2.4. Perhitungan Tara Kalor Metode Input-Output

Perhitungan tara kalor dengan metode *input-output*, dilakukan dengan cara menghitung total konsumsi bahan bakar dalam satuan kg/jam, dikalikan dengan nilai kalor rata-rata batubara selama pengujian kemudian dibagi dengan rata-rata daya yang dihasilkan dalam satuan kWh/jam, sehingga didapatkan energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu kWh. Perhitungan menggunakan metode ini tidak memperhitungkan perkiraan terjadinya pada sistem, sehingga lebih sederhana untuk diaplikasikan. Berikut adalah tabel pemakaian bahan bakar dan produksi kWh saat *co-firing* ataupun *coal firing*.

3. Hasil dan Analisa

3.1. Hasil Perhitungan Nilai Heat Rate

Berdasarkan pengambilan data secara langsung konsumsi bahan bakar dimana konsumsi bahan bakar rata-rata pada saat *coal firing* adalah 206,25 ton/jam sementara saat *co-firing* 204,81 ton/jam. Sementara untuk rata-rata gros load saat *coal firing* adalah 334,51 MW dan saat *co-firing* 330,0 MW dan untuk nilai kalor terukur pada saat *coal firing* adalah 4296 kcal/kg sementara saat *co-firing* adalah 4358 kcal/kg. Berdasarkan data tersebut tabel di atas didapatkan hasil perhitungan *heat rate* metode *input-output* sebagai berikut seperti ditunjukkan pada dibawah ini.

Tabel 2.
Hasil Perhitungan Nilai *Heat Rate* Metode *Input-Output*

Parameter	Satuan	Coal Firing Batubara 100%	Cofiring BB 95% + Sawdust 5%
Produksi kWh netto	kWh	317.525	312.820
Pemakaian Bahan Bakar	kg/jam	206,25	204.81
SFC	kg/kWh	0,650	0,621
Nilai Kalor	kCal/kg	4.296	4.358
GPHR (<i>input output</i>)	kCal/kWh	2.649	2.705
NPHR (<i>input output</i>)	kCal/kWh	2.790	2.853

Dari hasil perhitungan, NPHR pada saat *co-firing* lebih tinggi 2,25% dibanding saat *coal firing*, meskipun nilai SFC antara kedua pengujian sama yakni 0,65 kg/kWh. Penyebab kenaikan *heat rate* akan lebih rinci dikonfirmasi dengan metode *heat loss*. Nilai SFC relative sama namun lebih rendah dengan menggunakan *cofiring* dikarenakan pengaruh dari kelembaban *sawdust* sehingga menyebabkan penurunan nilai kalori.

Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Y.B. Ningsih, menggunakan proses upgrading hydrothermal, adanya peningkatan suhu menyebabkan perubahan kandungan air pada batubara. Berdasarkan teori dekomposisi termal batubara, peningkatan suhu akan menyebabkan perekaan struktur batubara, dimana air akan keluar sebagai produk awal dekomposisi termal batubara. Hal ini yang menyebabkan kandungan air didalam batubara akan semakin berkurang dengan semakin meningkatnya suhu pada proses *coal drying*. Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan kecenderungan bahwa semakin tinggi suhu maka kandungan air akan semakin menurun. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa semakin meningkatnya suhu pengeringan, maka nilai kalori di dalam batubara cenderung semakin meningkat. (Y. Ningsih.,2014)

4. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan *heat rate* metode *input-output* nilai GPHR *coal firing* 2649 kCal/kWh, sementara nilai GPHR *co-firing* yaitu 2705 kCal/kWh, dengan penurunan kWh produksi *gross* sebesar 1% pada saat *co-firing*. Nilai SFC relatif sama yaitu SFC *coal firing* adalah 0,617 dan SFC *co-firing* adalah 0,621. Dari hasil perhitungan *heat rate* metode *heat loss* didapatkan efisiensi boiler saat *coal firing* adalah 84,34% sementara saat *co-firing* adalah 84,72%, dimana hal ini tidak terlalu signifikan. Nilai GPHR pada saat *coal firing* adalah sebesar 2.668,37 kCal/kWh dan saat *co-firing* adalah 2.688,16 kCal/kWh.

Saran Pada Penelitian ini perlu adanya peningkatan rasio jumlah *sawdust* pada *blending* saat *cofiring* ke 10-20% penggunaan *sawdust* dan dilakukan *drying* pada *sawdust* yang basah untuk meningkatkan nilai kalori *sawdust* tersebut.

Daftar Pustaka

- . S. T. (2014). *Energy and Exergy Analysis for Biomass Co-Firing Coal Fuel Based Thermal Power Plant*. International Journal of Research in Engineering and Technology, 03(04), 54–59. <https://doi.org/10.15623/ijret.2014.0304010>
- Agung Pribadi. (2021). Forum Kehumasan Dewan Energi Nasional: Menuju Bauran Energi Nasional Tahun 2025. Direktorat Jendral Energi Baru Terbarukan Dan Konservasi Energi.

<https://ebtke.esdm.go.id/post/2021/04/09/2838/forum.kehumasan.dewan.energi.nasional.menuju.baurn.energi.nasional.tahun.2025?lang=en>

Fogarasi, S., & Cormos, C. C. (2017). *Assessment of coal and sawdust co-firing power generation under oxy-combustion conditions with carbon capture and storage*. *Journal of Cleaner Production*, 142(2016), 3527–3535. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.115>

Gil, M. V., & Rubiera, F. (2018). *Coal and biomass cofiring*. In *New Trends in Coal Conversion: Combustion, Gasification, Emissions, and Coking*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102201-6.00005-4>

Karampinis, E., Grammelis, P., Agraniotis, M., Violidakis, I., & Kakaras, E. (2014). *Co-firing of biomass with coal in thermal power plants: Technology schemes, impacts, and future perspectives*. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 3(4), 384–399. <https://doi.org/10.1002/wene.100>

Kommalapati, R. R., Hossan, I., Botlaguduru, V. S. V., Du, H., & Huque, Z. (2018). *Life cycle environmental impact of biomass co-firing with coal at a power plant in the greater Houston area*. *Sustainability (Switzerland)*, 10(7). <https://doi.org/10.3390/su10072193>

Križan, P., Matúš, M., Šooš, L., Kers, J., Peetsalu, P., Kask, Ü., & Menind, A. (2011). *Briquetting of municipal solid waste by different technologies in order to evaluate its quality and properties*. *Agronomy Research*, 9(SPPL. ISS. 1), 115–123.

Marangwanda, G. T., Madyira, D. M., Ndungu, P. G., & Chihobo, C. H. (2021). *Combustion characterisation of bituminous coal and pinus sawdust blends by use of thermo-gravimetric analysis*. *Energies*, 14(22). <https://doi.org/10.3390/en14227547>

Menteri LHK RI No 15. (2019). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Tentang Baku Mutu Emisi Pembangkit Listrik Tenaga Termal*. -, 1–36. <https://icel.or.id/wp-content/uploads/PERMENLHK-NO-15-TH-2019-ttg-BM-Emisi-Pembangkit-Listrik-Thermal.pdf>

Miedema, J. H., Benders, R. M. J., Moll, H. C., & Pierie, F. (2017). *Renew, reduce or become more efficient? The climate contribution of biomass co-combustion in a coal-fired power plant*. *Applied Energy*, 187, 873–885. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.11.033>

PT PLN (Persero). (2012). *Palabuhan ratu 3 x 350 MW Coal Fired Power Plant Operation Manual*. 192.

Sugiarti. (2015). *Gas Pencemar Udara dan Pengaruhnya Bagi Kesehatan Manusia*. *Jurnal Chemical*, 50–58.

Tchapda, A. H., & Pisupati, S. V. (2014). *A review of thermal co-conversion of coal and biomass/waste*. *Energies*, 7(3), 1098–1148. <https://doi.org/10.3390/en7031098>

Wander, P. R., Bianchi, F. M., Caetano, N. R., Klunk, M. A., & Indrusiak, M. L. S. (2020). *Cofiring low-rank coal and biomass in a bubbling fluidized bed with varying excess air ratio and fluidization velocity*. *Energy*, 203. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117882>

Xu, Y., Yang, K., Zhou, J., & Zhao, G. (2020). *Coal-biomass co-firing power generation technology: Current status, challenges and policy implications*. *Sustainability (Switzerland)*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/su12093692>

Y. Ningsih, “Pengaruh Suhu Pada Proses *Hydrothermal* Terhadap Karakteristik Batubara,” *Seminar Nasional Added Value of Energy Resources*, vol. 6, p. 2, 2014.