

# Pemanfaatan Arang Hasil *Pyrolysis* Kayu Lamtoro Pada Campuran Bahan Bakar Batubara Dengan *Co-firing* Untuk Meningkatkan Kinerja PLTU XYZ

**Faruq Fathurrachman\*, Nurhadi, Sriyanti**

Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

[\\*faruqfathur@yahoo.co.id](mailto:faruqfathur@yahoo.co.id)

**Abstract.** The use of fossil fuels such as coal for energy needs is increasing, but the amount of fuel reserves is also depleted due to the un-renewable nature of fossil fuels. In addition, fossil fuels also cause pollution impacts on the environment. biomass is an alternative option as renewable new energy that can be renewed and does not cause pollution impacts on the environment. In this study aims to find out the characteristics of biomass used, the influence of the composition of biomass addition to coal, the influence of furnace temperature on exhaust gases and observations of agglomeration, and after that can evaluate the values that affect the performance of steam power plants. Research on the co-firing process on fluidized bed reactors was conducted on a laboratory scale with lamtoro wood charcoal and lignite-rated coal. then done mixing with the composition of fuel used is 75% coal and 25% biomass. the co-firing test process is carried out with temperatures of 850°C, 900°C, 950°C. after which agglomeration observations and exhaust gas analysis readings are performed. Previously, laboratory analysis was carried out on coal and biomass. Laboratory analysis includes proximate analysis, ultimate analysis, and heat value. based on laboratory analysis data conducted, it can calculate the values that affect the performance of pltu. Characteristics of lamtoro wood charcoal can be seen from moisture content of 0%, then fixed carbon of 61,81%, carbon content of 63,51%, heat value of 6.694 kcal/kg and volatile matter of 36,33%. the effect of adding lamtoro charcoal to coal mixing can improve combustion performance and reduce the impact of environmental pollution. the ratio of charcoal addition used is only 25%. because looking at the fuel ratio of 0,92 and fouling index of 1,16 is still relatively low. along with the increase in temperature the composition of CO<sub>2</sub> gas is getting higher and for O<sub>2</sub> gas is getting lower. and from the three furnace temperatures tested there was no agglomeration in the bed material. at a mixing ratio of 25% boiler efficiency value of 82,7% can maximize energy expended by boilers, lower heat rate and reduce CO<sub>2</sub> emissions.

**Keywords:** co-firing, boiler efficiency, heat rate, CO<sub>2</sub> emission factor.

**Abstrak.** Penggunaan energi fosil seperti batubara untuk kebutuhan energi semakin meningkat, akan tetapi jumlah cadangan bahan bakar juga semakin menipis karena sifat bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbaharui. Selain itu juga bahan bakar fosil juga menimbulkan dampak polusi bagi lingkungan. biomassa merupakan pilihan alternatif sebagai energi baru terbarukan yang

dapat di perbaharui dan tidak menimbulkan dampak polusi bagi lingkungan. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari biomassa yang digunakan, pengaruh komposisi penambahan biomassa terhadap batubara, pengaruh suhu furnace pada gas buang dan pengamatan aglomerasi, dan setelah itu dapat mengevaluasi nilai - nilai yang mempengaruhi kinerja dari pembangkit listrik tenaga uap. Penelitian proses *co-firing* pada reaktor fluidized bed dilakukan pada skala laboratorium dengan bahan arang kayu lamtoro dan batubara peringkat lignit. lalu dilakukan pencampuran dengan komposisi bahan bakar yang digunakan adalah 75% batubara dan 25% biomassa. proses pengujian *co-firing* dilakukan dengan suhu 850°C, 900°C, 950°C. setelah itu dilakukan pengamatan aglomerasi dan pembacaan analisa gas buang. Sebelumnya dilakukan analisa laboratorium pada batubara dan biomassa. Analisa laboratorium meliputi analisa proksimat, analisa ultimat, dan nilai kalor. berdasarkan data analisa laboratorium yang dilakukan maka dapat menghitung nilai – nilai yang mempengaruhi kinerja dari PLTU. Karakteristik arang kayu lamtoro dapat dilihat dari kadar moisture sebesar 0%, Lalu fixed carbon sebesar 61,81%, kadar carbon sebesar 63,51%, Nilai kalor sebesar 6.694 kkal/kg dan nilai volatile matter sebesar 36,33%. pengaruh penambahan arang lamtoro pada pencampuran batubara dapat meningkatkan kinerja pembakaran dan menurunkan dampak pencemaran lingkungan. pemilihan rasio penambahan arang yang digunakan hanya sebesar 25%. karena melihat nilai fuel ratio sebesar 0,92 dan indeks fouling sebesar 1,16 masih tergolong rendah. seiring dengan peningkatan suhunya komposisi gas CO<sub>2</sub> semakin tinggi dan untuk gas O<sub>2</sub> semakin rendah. dan dari ketiga suhu furnace yang diujikan tidak terjadi aglomerasi pada bed material. pada rasio pencampuran 25% nilai efisiensi boiler sebesar 82,7% dapat memaksimalkan energi yang dikeluarkan oleh boiler, menurunkan Heat rate dan mengurangi emisi CO<sub>2</sub>.

**Kata Kunci:** *co-firing*, efisiensi boiler, heat rate, faktor emisi CO<sub>2</sub>

## 1. Pendahuluan

Penggunaan energi fosil di Indonesia semakin meningkat guna untuk memenuhi kebutuhan akan laju industri pada berbagai daerah. yang mana nantinya akan menimbulkan terjadinya krisis energi dalam penggunaan bahan bakar fosil. Karena mengingat dari jumlah cadangan bahan bakar fosil seperti minyak dan batubara semakin hari semakin menipis dan bahan bakar tersebut tidak dapat di perbaharui. Selain itu juga bahan bakar fosil yang digunakan sekarang menimbulkan dampak bagi pencemaran lingkungan terutama polusi udara, maka dari itu banyak gagasan yang ditawarkan seperti penggunaan energi alternatif yang ramah lingkungan yaitu biomassa. sebagai pemanfaatan energi baru terbarukan, biomassa dapat mengurangi pelepasan emisi gas CO<sub>2</sub>.

Penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium. Penelitian ini menggunakan proses *co-firing* pada reaktor fluidized bed dengan bahan campuran arang kayu lamtoro dan batubara peringkat lignit, diharapkan dengan perbandingan komposisi yang tepat dapat menghasilkan produk yang memenuhi kebutuhan akan bahan bakar energi kedepannya terutama sebagai bahan bakar energi untuk PLTU.

Berdasarkan penggunaan batubara peringkat rendah yang memiliki kadar air yang tinggi dan nilai kalor rendah menjadikan kegiatan operasional PLTU tidak efisien. Kemudian pelepasan emisi gas CO<sub>2</sub> menyebabkan dampak polusi terhadap lingkungan. Menanggapi persoalan tersebut, maka perlu dilakukannya penelitian mengenai pengaruh pencampuran batubara dan biomassa arang kayu lamtoro terhadap kinerja operasional PLTU tipe CFB dengan

uji coba proses co-firing di reaktor fluidized bed. pada penambahan rasio arangnya sebesar 5%, 25%, dan 50% pada campuran batubara. Selanjutnya, tujuan dalam penelitian ini diuraikan sebagai berikut.

1. Mengetahui karakteristik arang hasil *pyrolysis* dari biomassa kayu lamtoro
2. Mengetahui pengaruh komposisi penambahan arang lamtoro pada pencampuran batubara.
3. Mengetahui pengaruh suhu *furnace* pada gas buang dan pengamatan aglomerasi *bed material* dalam uji coba *co-firing*.
4. Mengevaluasi kinerja PLTU terhadap uji coba *co-firing*.

## 2. Landasan Teori

Co-firing merupakan suatu proses pembakaran dua material yang berbeda secara bersamaan. Dengan menggunakan co-firing emisi dari pembakaran suatu bahan bakar fosil dapat dikurangi. Co-firing merupakan salah satu metode alternatif untuk mengubah biomasa menjadi tenaga listrik, yaitu dengan cara substitusi sebagian batubara dengan biomasa ke dalam sebuah unit pembangkit. Biomassa dikenal sebagai zero CO<sub>2</sub> emisi, dengan kata lain tidak menyebabkan akumulasi CO<sub>2</sub> di atmosfer, dan biomasa juga mengandung lebih sedikit sulfur jika dibandingkan dengan batubara. Oleh karena itu, co-firing batubara dan biomasa menyebabkan menurunnya emisi CO<sub>2</sub> dan jumlah polutan NO<sub>x</sub> dan SO<sub>x</sub> dari bahan bakar fosil. Hingga saat ini, terdapat tiga jenis konfigurasi co-firing yang telah digunakan, yaitu direct co-firing, indirect cofiring, dan parallel co-firing. (Nyoman Suprpta Winaya, 2010)

1. *Direct Co-firing* Pada konfigurasi ini, biomassa (sebagai bahan bakar sekunder) dimasukkan bersamaan dengan batubara (sebagai bahan bakar primer) ke dalam *boiler* yang sama. *Direct co-firing* lebih umum digunakan karena paling murah. Pada *direct co-firing* sendiri, ada dua pendekatan yang dapat dilakukan. Yang pertama adalah pencampuran dan perlakuan awal terhadap biomassa dan batubara dilakukan bersamaan sebelum diumpankan ke pembakar. Yang kedua, perlakuan awal biomassa dan batubara dilakukan secara terpisah, kemudian baru diumpankan ke pembakar. (Nyoman Suprpta Winaya, 2010)
2. *Indirect Co-firing* Konfigurasi *indirect co-firing* mengacu pada proses gasifikasi biomassa, dimana gas hasil gasifikasi biomassa kemudian diumpankan ke dalam pembakar dan dibakar bersama batubara. Dengan menggunakan konfigurasi ini, abu dari biomassa akan terpisah dari abu batubara dengan tetap menghasilkan rasio *co-firing* yang sangat tinggi. Kekurangan dari *indirect co-firing* adalah biaya investasinya yang tinggi. (Nyoman Suprpta Winaya, 2010)
3. *Parallel co-firing* melibatkan suatu pembakar dan boiler terpisah untuk biomasa, dimana hasil pembakaran dari biomasa akan membangkitkan uap yang kemudian akan digunakan pada sirkuit *power plant* pembakaran batubara. Walaupun konfigurasi ini membutuhkan investasi yang lebih besar daripada *direct co-firing*, konfigurasi ini memiliki kelebihan tersendiri. Dengan menggunakan konfigurasi ini, sangatlah mungkin untuk digunakan bahan bakar dengan kandungan logam alkali dan klorin tinggi dan abu dari hasil pembakaran batubara serta biomassa akan dihasilkan terpisah. (Nyoman Suprpta Winaya, 2010)

## 3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Hasil Penelitian yang didapatkan adalah data analisa laboratorium meliputi analisis proksimat, ultimat dan nilai kalor dari campuran batubara dan biomassa dengan rasio campuran (5%, 25%, dan 50%) biomassa arang kayu lamtoro dan (95%, 75%, dan 50%) batubara. pada data campuran kedua bahan tersebut dapat menghitung nilai efisiensi *boiler*, *Heat rate* (GPHR dan NPHR), dan Faktor emisi gas CO<sub>2</sub> (Skema normal dan carbon *neutral*).

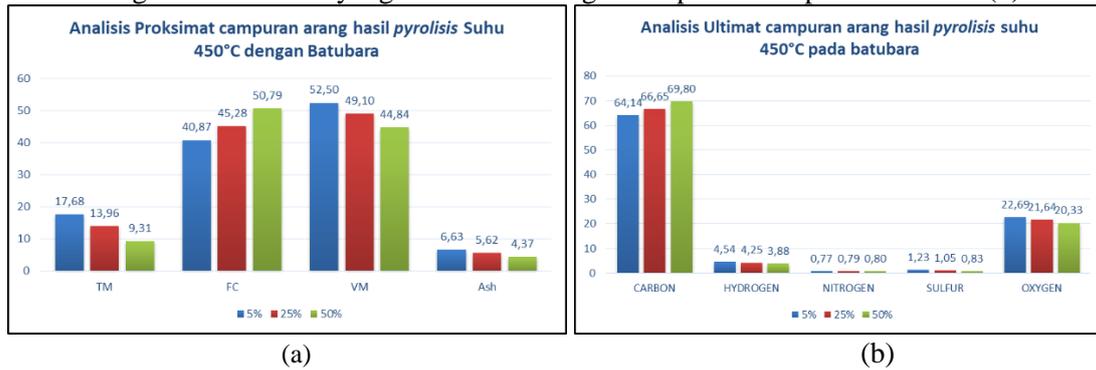
Kemudian dari percobaan *co-firing* pada suhu yang diujikan (850°C, 900°C, dan suhu 950°C) didapatkan data berupa Hasil komposisi gas CO<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> dan setelah percobaan *co-firing* selesai, *bed material* akan dikeluarkan dari reaktor lalu diamati, untuk melihat terjadinya

aglomerasi atau tidak pada *bed material* tersebut.

**Analisis Proksimat, Ultimat dan Nilai Kalor Campuran**

Hasil analisis proksimat campuran yang telah dilakukan dapat dilihat pada Gambar 1(a) dengan rasio penambahan arang kayu lamtoro sebesar 5%, 25%, dan 50% pada batubara. seiring penambahan jumlah arang dalam campurannya, nilai *moisture*, *volatile matter*, dan *ash* semakin menurun, namun berbanding terbalik dengan nilai *fixed carbon* yang semakin meningkat.

Hasil penelitian untuk analisa ultimat seiring penambahan jumlah arang dalam campurannya, nilai *hydrogen*, *nitrogen*, *sulfur* dan *oxygen* semakin menurun, namun berbanding terbalik dengan nilai *carbon* yang semakin meningkat. dapat dilihat pada Gambar 1(b)



**Gambar 1.** Analisis (a)Proksimat dan (b)Ultimat Arang campuran

Hasil analisis nilai kalor pada setiap penambahan rasio arang pada campuran bahan bakar batubara. Seiring penambahan rasio arangnya, nilai kalor yang dihasilkan semakin meningkat. . dapat dilihat pada Gambar 1(c)



**Gambar 1.** Analisis (c) nilai Kalor

Pada penelitian seiringnya penambahan rasio arang, nilai VM semakin rendah dan nilai FC semakin tinggi. yang mana menunjukkan pembakaran yang baik dengan pengapian yang optimal. dapat dilihat pada Gambar 1(a) Karena kedua nilai ini menjadi parameter penting dalam proses pembakaran karena akan menghasilkan nilai *fuel ratio*.

Nilai *fuel ratio* sendiri merupakan perbandingan antara nilai *fixed carbon* dengan nilai *volatile matter* dan nilainya tidak boleh > 1,2. Karena Ketika nilai *fixed carbon* terlalu besar maka menandakan banyaknya jumlah *carbon* yang tidak terbakar, dan jika nilai *volatile matter* juga terlalu kecil maka akan membuat pengapian yang tidak optimal sehingga kecepatan pembakaran akan terus menurun.(Faisal huseini, 2018)

maka dari itu ditetapkan nilai 1,2 agar nilai antara *fixed carbon* dan *volatile matter* seimbang sehingga jumlah kandungan karbon yang ada dapat di bakar dengan pengapian yang optimal juga. Pada Tabel 1 menunjukkan nilai *fuel ratio* dari setiap penambahan arangnya.

**Tabel 1.** Nilai *Fuel ratio* campuran arang lamtoro pada bahan bakar batubara

| Rasio Arang : Batubara (%) | <i>Fuel ratio</i> |
|----------------------------|-------------------|
| 5:95                       | 0,78              |
| 25:75                      | 0,92              |
| 50:50                      | 1,13              |

Nilai *ash* dan *moisture* yang menurun juga dapat memaksimalkan panas yang dihasilkan oleh bahan bakar. Ketika kadar *moisture* menurun maka tidak perlu lagi kalori untuk menguapkan *moisture* pada bahan bakar begitu juga dengan kadar *ash* yang menurun dapat meminimalisir potensi terciptanya *slagging* dan *fouling*.

Nilai *Carbon* yang meningkat seiring penambahan rasio menandakan banyaknya *carbon* yang terbakar, penurunan nilai oksigen menggambarkan banyaknya oksigen yang terikat dengan *carbon* sehingga dapat menghasilkan pembakaran yang baik. penurunan nilai Nitrogen dan sulfur dapat menurunkan dampak pencemaran polutan.

Nilai kalor yang meningkat menunjukkan panas yang dihasilkan juga lebih besar seiring penambahan rasio arangnya. Nilai kalor akan berbanding lurus dengan nilai *fuel ratio*. Dimana peningkatan nilai ini dapat menggambarkan kedua bahan bakar tersebut ketika dicampur akan menghasilkan pembakaran yang baik.

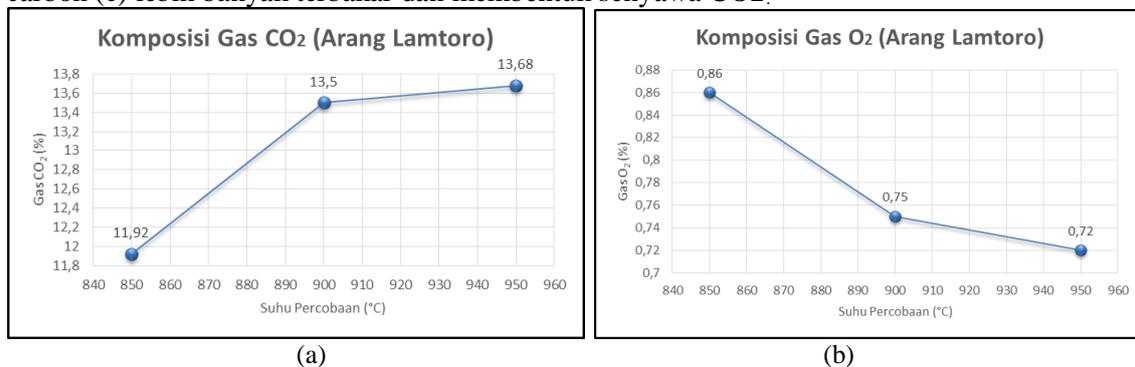
**Tabel 2.** Data *fouling* campuran arang lamtoro pada bahan bakar batubara

| Arang : Batubara (%) | <i>Fouling index</i> | <i>Type Fouling</i> |
|----------------------|----------------------|---------------------|
| 5 : 95               | 0,42                 | Rendah              |
| 25 : 75              | 1,16                 | Rendah              |
| 50 : 50              | 2,10                 | Menengah            |

Pada penelitian *co-firing*, pemilihan rasio biomassa yang digunakan hanya sebesar 25%. Karena melihat nilai *fuel ratio* pada penambahan rasio arang sebesar 50% sudah mendekati batas nilai 1,2 dan nilai indeks *fouling* pada rasio arang tersebut sudah berpotensi menengah untuk tercipta *fouling*. Untuk nilai data *fouling* dapat dilihat pada Tabel 2.

#### Analisis Komposisi CO<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> pada Gas buang

Hasil komposisi gas CO<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> untuk variabel suhu yang di ujikan (850°C, 900°C, dan suhu 950 °C). Dapat dilihat pada Gambar 2 dari setiap Peningkatan suhu yang diujikan maka komposisi gas CO<sub>2</sub> juga semakin naik akan tetapi sisa gas O<sub>2</sub> mengalami penurunan seiring terjadinya peningkatan suhu. Peningkatan komposisi gas CO<sub>2</sub> menunjukkan kinetika reaksi pembakaran yang baik dan menghasilkan konversi pembakaran yang tinggi. karena kandungan carbon (c) lebih banyak terbakar dan membentuk senyawa CO<sub>2</sub>.

**Gambar 2.** Analisis (a) Komposisi Gas CO<sub>2</sub> (b) Komposisi Gas O<sub>2</sub>

**Pengamatan Fenomena Agglomerasi pada *Bed material***

Setelah proses *co-firing* pada suhu yang diujikan (850°C, 900°C, dan 950°C) selesai. *bed material* yang ada pada reaktor akan dikeluarkan untuk diamati, untuk mengetahui terjadinya fenomena agglomerasi atau tidak pada *bed material* tersebut.



**Gambar 3.** Bed Material yang telah dikeluarkan

Hasil pengamatan *bed material* setelah uji coba proses *co-firing* dapat dilihat pada Gambar 3 yang mana dari ketiga suhu yang diujikan tidak terjadi penggumpalan. yang menandakan *bed material* dapat mengabsorpsi panas dan mengkonversikan energi dengan baik, lalu tingkat fluidisasinya juga baik sehingga dapat meningkatkan efisiensi dari operasional pembakaran dari tipe FBC (*Fluidized bed combustion*).

**Efisiensi boiler**

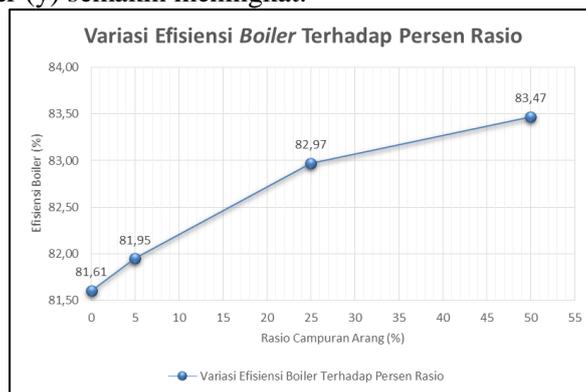
Nilai efisiensi boiler didapatkan dari perhitungan rumus empiris jurnal (M. Siddhartha Bhatt, 2015) dimana y sebagai efisiensi boiler, dan x adalah kadar moisture umpan bahan bakar. Berikut salah satu contoh hasil perhitungan efisiensi boiler dengan x sebagai kadar moisture sebesar 13,96 % pada pencampuran arang kayu lamtoro sebesar 25% dengan 75 % batubara.

$$y = - 0,020 x^2 + 0,358x + 81,87$$

$$y = - 0,020 (13,96)^2 + 0,358 (13,96) + 81,87$$

$$y = 82,97 \%$$

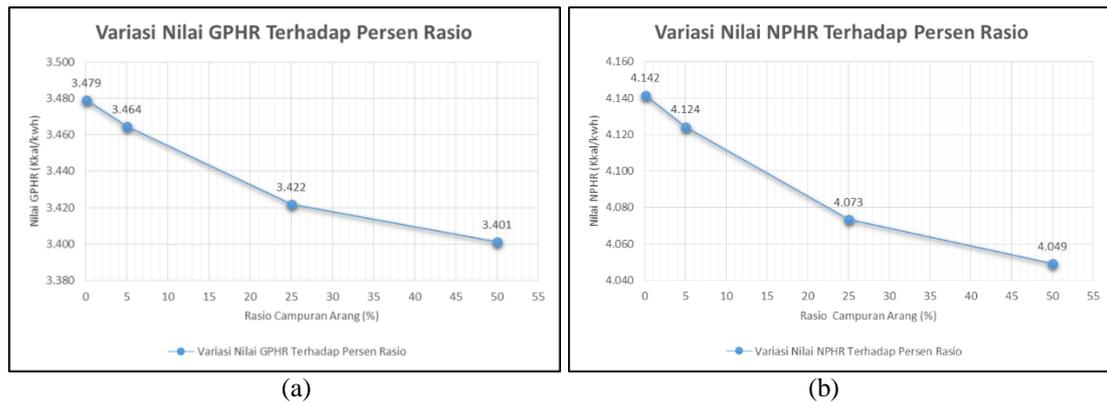
Jadi efisiensi boiler yang dihasilkan oleh campuran arang 25% sebesar 82,97%. Pada Gambar 4 dari setiap penambahan arang kayu lamtoro, kandungan moisture semakin menurun dan nilai efisiensi boiler (y) semakin meningkat.



**Gambar 4.** Nilai Efisiensi boiler terhadap penambahan arang

**Heat Rate**

Heat rate adalah kebutuhan energi bahan bakar untuk menghasilkan 1 kwh listrik. Perhitungan Nilai Heat rate di bagi menjadi dua yaitu perhitungan nilai Gross Plant Heat Rate (GPHR) dan Nett Plant Heat Rate (NPHR). Dimana kedua perhitungan tersebut dipengaruhi oleh data efisiensi boiler dan data pendukung sekunder yaitu data kapasitas PLTU XYZ, Data pemakaian Sendiri dan Turbine Heat Rate.



**Gambar 5.** Grafik (a) Nilai GPHR terhadap persen rasio (b) Nilai NPHR terhadap persen rasio

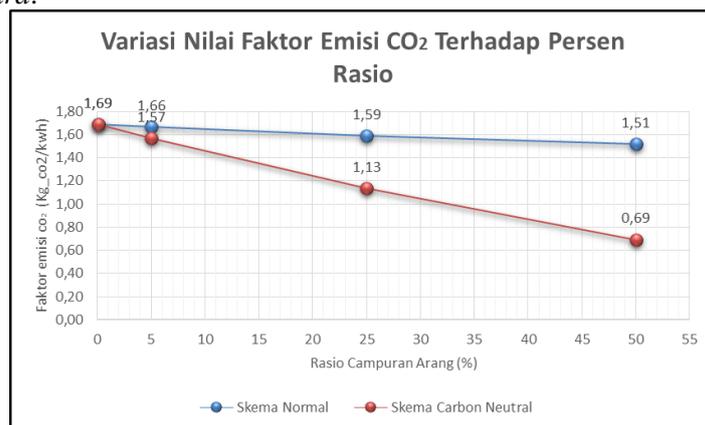
Tingkat penurunan nilai GPHR dapat dilihat pada Gambar 5(a). Pada rasio campuran 50% hanya menghasilkan nilai heat rate 3.401 Kkal/kwh sedangkan untuk rasio campuran 25% dapat menghasilkan nilai heat rate yang lebih tinggi sebesar 3.422 kkal/kwh.

Tingkat penurunan nilai NPHR dapat dilihat pada Gambar 5(b). pada rasio campuran 50% hanya menghasilkan nilai heat rate 4.049 kkal/kwh sedangkan untuk rasio campuran 25% dapat menghasilkan nilai heat rate yang lebih tinggi sebesar 4.073 kkal/kwh. bersamaan dengan penurunan Nilai GPHR dan NPHR juga dipengaruhi oleh nilai efisiensi boiler yang meningkat. jumlah heat rate yang diperlukan akan berbanding terbalik dengan nilai efisiensi boiler.

Berbeda dengan nilai GPHR, untuk Nilai NPHR dipengaruhi juga oleh Auxiliary power atau daya yang dipakai oleh pembangkit itu sendiri. Penurunan nilai heat rate menggambarkan bahan bakar dapat menghasilkan energi lebih maksimal dengan jumlah bahan bakar yang ada. Maka dari itu nilai Heat rate yang semakin kecil dapat meningkatkan kinerja PLTU. karena energi yang diproduksi lebih maksimal dengan jumlah bahan bakar yang lebih sedikit.

### Penurunan Emisi CO<sub>2</sub>

Penurunan emisi CO<sub>2</sub> dapat dilakukan dari perhitungan faktor emisinya, yang mana dibagi menjadi dua ada skema normal dan juga skema carbon neutral. kedua perhitungan tersebut dipengaruhi oleh kadar C dalam batubara dan nilai kalor yang dihasilkan dari campuran batubara.



**Gambar 6.** Emisi CO<sub>2</sub> Terhadap Rasio campuran

Hasil Penelitian yang dilakukan dengan bahan bakar biomassa arang kayu lamtoro dapat dilihat pada Gambar 6 dimana dapat dilihat terjadi penurunan faktor emisi CO<sub>2</sub> dari setiap penambahan rasio campuran untuk skema normal. Pada rasio 50% nilai faktor emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan sebesar 1,51 KgCO<sub>2</sub>/kwh sedangkan untuk rasio 25% nilai faktor emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan sebesar 1,59 KgCO<sub>2</sub>/kwh.

Begitu juga dengan skema carbon neutral, namun pada hasil penelitian yang dilakukan hanya dengan bahan bakar batubara saja. dapat dilihat pada Gambar 6 Untuk Skema carbon

neutral dimana dapat dilihat terjadi penurunan yang cukup signifikan pada faktor emisi CO<sub>2</sub> dari setiap pengurangan rasio campuran. Pada rasio campuran 50% nilai faktor emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan sebesar 0,69 KgCO<sub>2</sub>/kwh sedangkan untuk rasio 25% nilai faktor emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan sebesar 1,13 KgCO<sub>2</sub>/kwh. Pada skema carbon neutral, Kadar gas CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh biomassa akan dikembalikan ke alam untuk proses fotosintesis tanaman kayu lamtoro agar dapat di perbarui kembali.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, penyusun menyimpulkan beberapa hasil penelitian sebagai berikut:

1. Karakteristik arang kayu lamtoro pada suhu pyrolysis 450°C dapat dilihat dari kadar moisture sebesar 0%, lalu fixed carbon sebesar 61,81%, kadar carbon sebesar 63,51%, Nilai kalor yang dihasilkan lebih besar 6.694 kkal/kg dan nilai volatile Matter sebesar 36,33%. pada data karakteristiknya arang lamtoro merupakan bahan pencampuran yang baik untuk batubara.
2. Pengaruh penambahan arang lamtoro dengan rasio 5%, 25%, dan 50% pada pencampuran batubara dapat meningkatkan kinerja pembakaran dan menurunkan dampak pencemaran lingkungan. dalam pemilihan rasio penambahan arang untuk *co-firing* yang digunakan hanya sebesar 25%. karena melihat nilai fuel ratio sebesar 0,92 masih tergolong pembakaran yang baik dan indeks fouling sebesar 1,16 masih tergolong rendah.
3. Pengaruh suhu furnace 850°C, 900°C, dan 950°C pada gas buang dan pengamatan bed material. seiring dengan peningkatan suhunya komposisi gas CO<sub>2</sub> semakin tinggi dan untuk gas O<sub>2</sub> semakin rendah. yang mana dari komposisi gas tersebut menandakan karakteristik pembakaran yang baik. pada ketiga suhu furnace yang diujikan tidak terjadi aglomerasi pada bed material. sehingga bed material dapat mengabsorpsi panas dengan baik.
4. Pada rasio pencampuran 25 % yang di aplikasikan ke PLTU XYZ, dengan nilai efisiensi boiler sebesar 82,7% dapat memaksimalkan energi yang dikeluarkan oleh boiler, menurunkan heat rate dan mengurangi emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan sehingga dapat meningkatkan kinerja dari PLTU dan mengurangi dampak pencemaran udara

#### 5. Saran

Berdasarkan Penelitian yang dilakukan penyusun dapat memberikan saran sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan pengujian lebih lanjut tentang teknologi *co-firing* dengan variabel yang berbeda, Karena dapat mengurangi penggunaan batubara sebagai penggunaan energi fosil.
2. Pengujian Kinerja PLTU sebaiknya dilakukan secara langsung dengan alat agar dapat melakukan perbandingan hasil secara perhitungan dan langsung, hasil dan faktor yang mempengaruhi kerja alat akan beragam sehingga dapat menganalisa secara menyeluruh penggunaan biomassa ini ketika di aplikasikan ke pembangkit listrik tenaga uap.

#### Daftar Pustaka

- A.T. Arief, Nukman. R.akbar, Syarifuddin. 2019. Studi Eksperimentasi Pengaruh Pencampuran Batubara, Gambut dan Arang Tempurung Kelapa Terhadap Nilai Kalori. Seminar Nasional AvoER XI 2019 , Universitas Sriwijaya. Palembang.
- Aziz, Amiral, dan Andi Rinaldi Hasan. 2015. Evaluasi Heat Rate dan efisiensi suatu PLTU dengan menggunakan batubara yang berbeda dari spesifikasi design. Jurnal Energi dan Lingkungan. Volume 11 Nomor 1. Universitas Trisakti. Jakarta.
- Bhat, M.Siddhartha, dan Rajkumar N. 2015. Effect of moisture in coal on station heat rate and fuel cost of indian thermal power plants. The Journal of CPRI. Vol.11 No.4, pp 773-786. Central Power Research Institute. Bangalore.

- Dwi Cahyono, Tekat, Zahrial Coto, Fauzi Febrianto. 2008. Analisis Nilai Kalor dan Kelayakan Ekonomis Kayu Sebagai bahan bakar substitusi Batubara di Pabrik Semen. Forum Pascasarjana. Volume 31 Nomor 2. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Huseini, Faisal, Solihin, Pramusanto. 2017. Kajian Kualitas Batubara Berdasarkan Analisis Proksimat, Total Sulfur dan Nilai Kalor Untuk Pembakaran Bahan Baku Semen di PT Semen Padang Kelurahan Batu Gadang, Kecamatan Lubuk Kilangan, Kota Padang Provinsi Sumatera Barat. Prosiding Teknik Pertambangan. Volume 4 Nomor 2. Universitas Islam Bandung. Bandung.
- Komarudin, Andrian Saputro, Erfiana Wahuningsih. 2020. Analisis Kenaikan Plant Heat Rate PLTU sebelum Perbaikan berkala Terhadap Kondisi Testing Komisioning (Studi kasus : PLTU XX). Bina Teknika. Volume 16 Nomor 1. Universitas Dian Nusantara. Jakarta.
- Maulana Putra, Eggy, Stefano Munir, Sriyanti. 2018. Optimasi Kinerja Teknologi Co-Firing Batubara Dengan Biomassa. Prosiding Teknik Pertambangan. Volume 4 Nomor 1. Universitas Islam Bandung. Bandung.
- Setya Budi, Rizki Firmansyah, dan Suparrman. 2013. Perhitungan Faktor Emisi CO<sub>2</sub> PLTU batubara dan PLTN. Jurnal Pengembangan Energi Nuklir. Volume 15 Nomor 1. Pusat pengembangan energi nuklir. Jakarta.
- Suprpta Winaya, Nyoman, Ida Bagus Agung Darma Susila. 2010. Co-Firing sistem Fluidized Bed berbahan bakar batubara Ampas Tebu. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra.M. Volume 4 Nomor 2. Universitas Udayana. Bali.
- Wahyu, Haifa, M.Affendi. 2011. Proses Aglomerasi dan Dampak Operasional Pada pembakaran Cangkang Sawit Dalam Unggun Terfluidisasi. Jurnal Teknologi indonesia. Volume 34, edisi khusus 2011. Pusat Penelitian Fisika LIPI. Bandung.