

Proses Pembakaran Menggunakan Co-Firing Sistem Fluidized Bed Dengan Pencampuran Antara Batubara dan Kayu Lamtoro Sebagai Energi Baru Terbarukan Untuk Bahan Bakar PLTU ABC

Ijlal Dhiya Ulhaq, Nurhadi, Sriyanti

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

ijlalulhaq26@gmail.com

Abstract. The use of fossil energy such as coal for energy needs is increasing, but the amount of fuel reserves is also dwindling because of the non-renewable nature of fossil fuels. In addition, fossil fuels also have a polluting impact on the environment. Biomass is an alternative choice as a new, renewable energy that can be renewed and does not cause pollution impacts on the environment. Coal CO₂ is greater than lamtoro wood because the CO₂ value in lamtoro wood aims to be removed. This research aims to determine the quality of the biomass used, the optimal furnace temperature for combustion, the effect of the composition of the addition of biomass to coal, combustion characteristics, and after that can analyze the parameters that affect the performance of the steam power plant. Research on the co-firing process in the fluidized bed reactor was carried out on a laboratory scale with the substitute material for lamtoro wood and lignite rank coal, then the fuel composition used was 85% coal and 15% biomass. the co-firing testing process was carried out at a temperature of 850, 900 and 950 °C. After that, agglomeration observations and laboratory analysis were carried out. Laboratory analysis includes proximate analysis (inherent moisture, fixed carbon, volatile matter, and ash), ultimate analysis (sulfur, nitrogen, oxygen, hydrogen, and carbon dioxide) and heating value. Based on the laboratory analysis data carried out, the values that affect the performance of the PLTU can be calculated such as the boiler efficiency value, the heat rate value and the reduction of CO₂ emission factors. The quality of lamtoro wood biomass has a good combustion quality, seen from laboratory analysis with a inherent moisture value of 9,52%, 44,36% carbon value, a heating value of 4.140kcal / kg, and 75,24% volatile matter. The optimal temperature used is 950 ° C, at that temperature there is no agglomeration formed in the bed material. With various temperature experiments, at a temperature of 950 ° C the carbon compounds burn more. As the mixing ratio increases, the PLTU's performance will get better. It can be seen at the mixing ratio of 15%, the boiler efficiency value of 82,09%, the GPHR value of 2.412 kcal / kwah and the NPHR value of 2.906 kcal / kwah and the normal scheme CO₂ emission factor of 1,15 kgCO₂ / kwh and carbon neutral scheme of 1,02 kgCO₂ / kwh.

Keywords: Co-Firing, Fluidized Bed, Efisiensi Boiler, Heat Rate, Emission Factor CO₂

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. CO₂ batubara itu lebih besar lebih daripada kayu lamtoro dikarenakan nilai CO₂ pada kayu lamtoro bertujuan untuk dihilangkan. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas dari biomassa yang digunakan, suhu *furnance* yang optimal untuk dilakukan pembakarannya, pengaruh komposisi penambahan biomassa terhadap batubara, karakteristik pembakaran, dan setelah itu dapat menganalisis parameter – parameter yang mempengaruhi kinerja dari PLTU. Penelitian proses *co-firing* pada reaktor *fluidized bed* dilakukan pada skala laboratorium dengan bahan substitusi kayu lamtoro dan batubara peringkat lignit, lalu komposisi bahan bakar yang digunakan adalah 85% batubara dan 15% biomassa. proses pengujian *co-firing* dilakukan dengan suhu 850,900 dan 950°C. Setelah itu dilakukan pengamatan aglomerasi dan analisa laboratorium. analisa laboratorium meliputi analisa proximat (*inherent moisture, fixed carbon, volatile matter, dan ash*), analisa ultimate (sulfur, nitrogen, oksigen, hidrogen, dan karbon dioksida) dan nilai kalor. berdasarkan data analisa laboratorium yang dilakukan maka dapat di hitung nilai – nilai yang mempengaruhi kinerja dari pltu seperti nilai efisiensi *boiler*, nilai *heat rate* dan pengurangan faktor emisi CO₂. Kualitas biomassa kayu lamtoro mempunyai kualitas pembakaran yang baik, melihat dari analisa laboratorium dengan nilai *inherent moisture* 9,52%, nilai *carbon* 44,36%, nilai kalor sebesar 4.140kkal/kg, dan *volatile matter* sebesar 75,24%. Suhu yang optimal yang digunakan adalah suhu 950°C, pada suhu tersebut tidak terbentuk aglomerasi pada *bed material*. Dengan berbagai percobaan suhu, Pada suhu 950°C kadar senyawa *carbon* lebih banyak terbakar. Seiring penambahan rasio pencampuran maka kinerja PLTU akan semakin baik. Dapat dilihat pada rasio pencampuran 15%, nilai efisiensi *boiler* 82,09%, nilai GPHR sebesar 2.412kkal/kwh dan nilai NPHR sebesar 2.906 kkal/kwh dan faktor emisi CO₂ skema normal sebesar sebesar 1,15 kgCO₂/kwh dan skema *carbon neutral* sebesar 1,02 kgCO₂/kwh.

Kata Kunci: Co-Firing, Fluidized Bed, Efisiensi Boiler, Heat Rate, Faktor Emisi CO₂

1. Pendahuluan

Seiring pesatnya perkembangan ekonomi negara maupun dunia penggunaan batubara sebagai sumber energi utama juga semakin meningkat di beberapa negara terutama sebagai bahan bakar pada pembangkit listrik. Sesuai dengan kebijakan pemerintah terutama tentang konservasi cara penanggulangan dan tahap untuk penggunaan batubara yang ramah lingkungan dapat dilaksanakan dengan melalui teknologi *co-firing* yang berwawasan lingkungan, berguna dalam rangka pembangunan berkesinambungan di sector energi.

Biomassa bisa menjadi cadangan energi yang efektif selagi masih mencari atau mengeksplorasi lokasi bahan bakar fosil yang masih ada. biomassa bisa dijadikan penyeimbang dan meminimalisir ketergantungan terhadap bahan bakar fosil yang di campur dengan batubara yaitu dengan sistem pembakaran *co-firing* (Kementerian ESDM, 2012). Biomassa juga dapat mengurangi dampak terhadap lingkungan yang disebabkan oleh pembakaran batubara sebagaimana bahan bakar fosil lainnya. Selain itu juga pada batubara jika di bakar akan menghasilkan CO₂ dan begitu pula biomassa saat pertumbuhannya membutuhkan CO₂. Oleh sebab itu penggunaan energi alternatif ini tergolong menguntungkan bagi dampak lingkungan.

Adapun bahan-bahan kajian teknologi *co-firing* ini yaitu, batubara dan biomassa dengan

jenis biomasanya ialah kayu lamtoro. Pada penelitian mengenai pencampuran batubara dengan biomassa

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka perumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut: “Bagaimana karakteristik pada kayu lamtoro pada pengujian laboratorium?”, “Berapa suhu yang optimal dalam pengujian *co-firing*?”, “Bagaimana pengaruh komposisi pencampuran batubara dengan kayu lamtoro?”, “Bagaimana parameter yang dibutuhkan untuk PLTU dalam pengujian *co-firing*?”. Selanjutnya, tujuan dalam penelitian ini, yaitu:

Mengetahui karakteristik pada kayu lamtoro pada pengujian laboratorium.

Mengetahui suhu optimal dari pencampuran batubara dan kayu lamtoro untuk PLTU.

Mengetahui rasio pencampuran optimal batubara dan kayu lamtoro terhadap batubara.

Mengetahui parameter kinerja dalam mengevaluasi dari PLTU terhadap uji coba *co-firing*.

2. Landasan Teori

Batubara salah satu bahan bakar fosil yang berasal dari batuan sedimen yang dapat terbakar dan terbentuk dari endapan organik, utamanya adalah sisa-sisa tumbuhan dan terbentuk melalui proses pembatubaraan. Pembentukan batubara memerlukan kondisi-kondisi tertentu hanya terjadi pada era-era tertentu sepanjang sejarah geologi. Zaman karbon, kira-kira 340 juta tahun yang lalu adalah masa pembentukan batubara yang paling produktif dimana hampir seluruh deposit batubara yang ekonomis di belahan bumi bagian utara terbentuk. dan senyawa anorganik.

Batubara sendiri memiliki kelas dan jenis tertentu berdasarkan tingkat proses pembentukannya yang dikontrol oleh tekanan, temperatur, dan juga waktu. Batubara umumnya dibagi kedalam lima kelas yaitu :

1. **Antrasit adalah kelas batu bara tertinggi, dengan warna hitam berkilauan (luster) metalik, mengandung antara 86% - 98% unsur karbon (C) dengan kadar air kurang dari 8%.**
2. **Bituminus mengandung 68 - 86% unsur karbon (C) dan berkadar air 8-10% dari beratnya. Kelas batu bara yang paling banyak ditambang di Australia.**
3. **Sub-bituminus batubara jenis ini merupakan peralihan antara jenis lignit dan bituminous. Batubara jenis ini memiliki warna hitam yang mempunyai kandungan air, zat terbang, dan oksigen yang tinggi serta memiliki kandungan karbon yang rendah. Sifat-sifat tersebut menunjukkan bahwa batubara jenis sub-bituminus ini merupakan batubara tingkat rendah.**
4. **Lignit merupakan batubara peringkat rendah dimana kedudukan lignit dalam tingkat klasifikasi batubara berada pada daerah transisi dari jenis gambut batubara.**
5. **Gambut, berpori dan memiliki kadar air di atas 75% serta nilai kalori yang paling rendah.**

Dalam batubara terdiri atas beberapa unsur diantaranya yaitu karbon (C), oksigen (O), dan hydrogen (H). selain itu dalam batubara pun dapat dijumpai beberapa unsur lain seperti sulfur (S), nitrogen (N) dan beberapa unsur logam pengotor yang terjebak pada saat pembentukan batubara.

Biomassa merupakan campuran bahan organik yang kompleks, terdiri dari karbohidrat, lemak, protein dan mineral lain yang jumlahnya sedikit seperti sodium, fosfor, kalsium dan besi. Komponen utama tanaman biomassa adalah karbohidrat (berat kering \pm 75%), lignin (\pm 25%), namun dalam beberapa tanaman komposisinya dapat berbeda (Silalahi, 2000). Energi biomassa dapat dijadikan sumber energi alternatif pengganti bahan bakar fosil (minyak bumi). Beberapa sifat biomassa antara lain : dapat diperbaharui (renewable resources), relatif tidak mengandung unsur sulfur sehingga tidak menyebabkan polusi udara dan juga dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya hutan dan pertanian.

Biomassa yang digunakan secara langsung sebagai bahan bakar kurang efisien. Oleh

karena itu, energi biomassa harus diubah dulu menjadi energi kimia yang disebut bioarang. Bioarang inilah yang memiliki nilai kalori lebih tinggi serta bebas polusi bila digunakan sebagai bahan bakar. Jenis-jenis korosi yaitu korosi merata, korosi erosi, korosi sumuran, korosi celah, korosi galvanik, korosi temperatur tinggi, *stress corrosion cracking*, dan *corrosion fatigue*. Faktor-faktor yang mempengaruhi laju korosi yaitu faktor metalurgi dan faktor lingkungan. Metoda pengendalian korosi yaitu *coating*, *wrapping*, proteksi katodik, dan inhibitor.

Pembakaran adalah suatu reaksi kimia antara bahan bakar dan pengoksidasi (udara atau oksigen) yang menghasilkan panas dan cahaya. Proses pembakaran ini dapat berlangsung jika ada : bahan bakar, pengoksidasi (udara/oksigen) dan panas atau energi aktivasi (Wardana, 2008). Menurut Loo dan Koppejan (2008), proses pembakaran biomassa melibatkan sejumlah aspek fisik dan kimia yang kompleks. Secara umum proses pembakaran tergantung pada propertis dari bahan bakar dan aplikasi pembakaran. Proses pembakaran ini dapat dibagi dalam beberapa proses yaitu pengeringan, pirolisis, gasifikasi dan pembakaran. Proses pembakaran secara keseluruhan dapat berlangsung secara kontinu, proses pengeringan dan 9 pirolisis/gasifikasi merupakan tahap awal pada proses pembakaran bahan bakar padat.

Lamtoro menyukai iklim tropis yang hangat (suhu harian 25-30 °C); dengan ketinggian di atas 1000 mddpl. Tanaman ini cukup tahan kekeringan, tumbuh baik di wilayah dengan kisaran curah hujan antara 650-3.000 mm pertahun, akan tetapi termasuk tidak tahan pengepangan. Tanaman lamtoro mudah diperbanyak dengan biji dan dengan pemindahan anakan. Saking mudahnya tumbuh, di banyak tempat lamtoro seringkali merajalela menjadi gulma. Tanaman ini pun mudah trubus; setelah dipangkas, ditebang atau dibakar, tunas-tunasnya akan tumbuh kembali dalam jumlah banyak. Namun untuk menghasilkan kualitas lamtoro yang baik itu memerlukan beberapa syarat lokasi penanaman, iklim dan topografi suatu wilayah tersebut.

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 biomassa menjadi tenaga listrik, yaitu dengan cara substitusi sebagian batubara dengan biomassa ke dalam sebuah unit pembangkit. Biomassa dikenal sebagai zero CO₂ emisi, dengan kata lain tidak menyebabkan akumulasi CO₂ di atmosfer, dan biomassa juga mengandung lebih sedikit sulfur jika dibandingkan dengan batubara. Oleh karena itu, *co-firing* batubara dan biomassa menyebabkan menurunnya emisi CO₂ dan jumlah polutan NO_x dan SO_x 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*.

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Hasil penelitian yang didapatkan adalah data analisa laboratorium meliputi analisis proksimat, ultimat dan nilai kalor dari campuran batubara dan kayu lamtoro dengan rasio campuran (5%, 15%, 25%, dan 50%) kayu lamtoro dan (95%, 85%, 75%, dan 50%) batubara. Dari data campuran kedua bahan tersebut dapat menghitung nilai efisiensi *boiler*, *heat rate* (GPHR dan NPHR), dan faktor emisi gas CO₂ (skema normal dan *carbon neutral*).

Kemudian dari percobaan *co-firing* pada suhu yang diujikan suhu (850°C, 900°C dan 950 °C) didapatkan data berupa hasil komposisi gas CO₂ dan O₂ 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 untuk sampel batubara dan kayu lamtoro dengan ukuran sampel (-32 +42#)

Tabel 1. Analisis Laboratorium Proksimat Batubara dan Kayu Lamtoro

Bahan Bakar	Analisis Proksimat (%)			
	IM (adb)	FC (db)	VM (db)	Ash (db)

Batubara	18,61	39,77	53,35	6,88
Kayu Lamtoro	9,52	16,36	83,16	0,49

Analisis ultimat untuk sampel batubara dan kayu lamtoro dengan ukuran sampel (-32 +42#)

Tabel 2. Analisis Laboratorium Ultimat Batubara dan Kayu Lamtoro

Bahan Bakar	Analisis Ultimat (%)				
	C (db)	H (db)	N (db)	S (db)	O2 (db)
Batubara	63,51	4,61	0,77	1,28	22,95
Kayu Lamtoro	49,03	7,19	0,22	0,11	43,45

Analisis nilai kalor untuk batubara dan kayu lamtoro dengan ukuran sampel (-32 +42#)

Tabel 3. Analisis Laboratorium Nilai Kalor Batubara dan Kayu Lamtoro

Bahan Bakar	Nilai Kalor (kkal/kg)
	(adb)
Batubara	4.802
Kayu Lamtoro	4.140

Analisis proksimat untuk campuran batubara dan kayu lamtoro dari setiap rasio campuran dapat dilihat pada **Tabel 4** dihitung dengan menggunakan persamaan dari data analisis sebelumnya **Tabel 1**.

Tabel 4. Analisis Proksimat Campuran

Rasio Kayu Lamtoro : Batubara	Analisis Proksimat (%)			
	IM (adb)	FC (db)	VM (db)	Ash (db)
5% : 95%	18,16	38,60	54,84	6,56
15% : 85%	17,25	36,26	57,82	5,92
25% : 75%	16,34	33,92	60,80	5,28
50% : 50%	14,07	28,06	68,25	3,68

Fixed carbon dan kandungan air semakin menurun namun berbanding terbalik dengan nilai zat terbang yang semakin meningkat. Terlihat pada rasio 15% kadar IM yang di dapat sebesar 17,25 % dan kadar VM sebesar 57,82 % mengalami kenaikan yang cukup signifikan ketika rasio pencampuran 50 % dengan kadar IM yang dihasilkan sebesar 14,07%.

Hal ini dikarenakan kadar IM yang semakin menurun karena penambahan rasio kayu lamtoro, kadar IM akan mempengaruhi nilai kalor yang dihasilkan, semakin kecil nilai IM bahan bakar maka nilai kalor akan yang dihasilkan akan semakin tinggi, yang mana dengan kandungan air pada bahan bakar akan menimbulkan masalah pada proses pembakarannya, dengan rasio 15 % kayu lamtoro yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 4** dimana IM yang dihasilkan lebih rendah dari pada IM awal pada bahan bakarnya sebesar 17,25 % .

Berbeda halnya dengan volatile matter (VM) seiring dengan peningkatan fixed carbon (FC), nilai VM akan semakin meningkat. Hal ini dikarenakan adanya perbandingan antara kandungan FC dan VM, yang mana semakin tinggi nilai VM maka semakin banyak karbon didalam batubara yang tidak terbakar, sehingga pengapian tidak akan bekerja secara maksimal dan intensitas kecepatan pembakaran akan menurun. Namun dalam penelitian seiringnya penambahan rasio kayu lamtoro nilai VM dan FC semakin tinggi menandakan pembakaran yang baik dengan pengapian yang optimal.

matter dan nilainya tidak boleh > 1,2 dikarena 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.

Tabel 5. Fuel Rasio

Rasio Kayu Lamtoro : Batubara	Fuel Rasio
5% : 95%	0,70
15% : 85%	0,63
25% : 75%	0,56
50% : 50%	0,41

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 5** menunjukkan nilai fuel ratio dari setiap penambahan kayu lamtoro.

Tabel 6. Analisis Ultimat Campuran

Rasio Kayu Lamtoro : Batubara	Analisis Ultimat (%)				
	C (db)	H (db)	N (db)	S (db)	O (db)
5% : 95%	62,79	4,68	0,74	1,22	24,03
15% : 85%	61,34	4,82	0,69	1,10	26,20
25% : 75%	59,89	4,96	0,63	0,99	28,37
50% : 50%	56,27	5,32	0,50	0,69	33,78

Nilai fuel ratio sendiri merupakan perbandingan antara nilai fixed carbon dengan nilai volatile Hasil penelitian untuk analisa ultimat yang telah dilakukan pada rasio pencampuran yang digunakan 5 %,15%, 25 %, dan 50%. Seiring penambahan rasio kayu lamtoro, kadar carbon yang dihasilkan semakin menurun terlihat pada rasio 15 % nilai carbon dapat mencapai 61,34 % yang menunjukkan banyaknya karbon akan menghasilkan panas dari proses pembakarannya, dan juga dari pembakaran karbon yang banyak akan menciptakan senyawa karbon dioksida CO₂ yang menandakan terjadi proses pembakaran yang sempurna. Dapat dilihat pada Tabel 6

Pada **Tabel 6** terlihat peningkatan kadar hydrogen karena terjadi penambahan kadar air pada saat penambahan rasio kayu lamtoro. Sehingga kandungan hydrogen yang berasal dari air membuat proses pembakaran yang buruk. Hal ini dalam pembangkit listrik tenaga uap akan mengurangi performa dari kerja boiler pada pembangkit tersebut.

Tabel 7. Analisis Nilai Kalor

Rasio Kayu Lamtoro : Batubara	Nilai Kalor (kcal/kg)
	(ar)
5% : 95%	4.769
15% : 85%	4.703
25% : 75%	4.637
50% : 50%	4.471

Didapatkan hasil analisis nilai kalor pada rasio pencampuran 15% kayu lamtoro dan 85% batubara sebesar 4.703 kkal/kg. Dimana nilai kalor ini dipengaruhi dari besaran nilai fixed carbon yang akan mempengaruhi hasil dari emisi CO₂. dilihat pada **Tabel 6** didapatkan analisis nilai kalor yang turun dengan ada penambahan kayu lamtoro yang disebabkan dari nilai fixed carbon yang semakin menurun juga.

Tabel 8. Kandungan Gas Buang

Kegiatan	Suhu (°C)	Kandungan Gas (%)	
		CO ₂	O ₂

Co-Firing kayu Lamtoro	850	11,82	1,52
	900	13,98	1,40
	950	14,15	1,38

Hasil komposisi gas CO₂ dan O₂ untuk variabel suhu yang di ujikan (850°C, 900°C, dan suhu 950 °C). Dapat dilihat pada **Tabel 8** terlihat dari setiap peningkatan suhu yang diujikan maka komposisi gas CO₂ juga semakin naik akan tetapi sisa gas O₂ mengalami penurunan seiring terjadinya peningkatan suhu. Yang mana suhu furnace yang semakin tinggi akan meningkatkan kinetika reaksi pembakaran dan akan menghasilkan konversi pembakaran yang lebih tinggi. Peningkatan kadar CO₂ menandakan terjadinya pembakaran yang sempurna, karena senyawa carbon (C) lebih banyak terbakar dan membentuk senyawa CO₂.

Pada suhu variabel yang diujikan (850°C, 900°C, dan suhu 950 °C) dengan bed material berupa pasir silika seberat 10 gram. Untuk tidak menimbulkan masalah operasional kedepannya, hasil pembakaran yang telah diuji akan dilihat efek atau dampak yang terjadi pada bed material setelah terjadi proses fluidisasi. Kualitas fluidisasi juga menjadi peran penting dalam mempengaruhi efisiensi pengujian co-firing dengan sistem FBC ini.

Penggumpalan pada abu hasil pembakaran atau aglomerasi pada pasir unggun adalah dampak yang harus dihindari, yang mana menandakan unggun terdefluidisasi sehingga akan menimbulkan masalah operasional kedepannya. Karena ketika pasir tidak terfluidisasi dengan baik maka bed material tidak dapat mengabsorpsi panas dengan baik sehingga akan terjadi penurunan kualitas konversi energinya.

Pada hasil penelitian yang dilakukan, semakin meningkatnya rasio pencampuran yang dipakai maka semakin menurun nilai kadar IM yang ada pada bahan bakar dapat dilihat pada **Tabel 4** sehingga ketika rasio pencampuran semakin di tingkatkan maka efisiensi boiler yang dihasilkan akan semakin tinggi. Terlihat pada Gambar 5.7 dengan menggunakan pilihan rasio pencampuran 15 % maka efisiensi boiler akan meningkat sebesar 82,09 %. Dapat dilihat pada **Tabel 9**

Tabel 9. Efisiensi Boiler

Efisiensi Boiler		
Rasio Kayu Lamtoro : Batubara	IM (%)	Effisiensi Boiler (%)
5% : 95%	18,16	81,78
15% : 85%	17,25	82,09
25% : 75%	16,34	82,38
50% : 50%	14,07	82,95

Dalam pembangkit listrik ada beberapa jenis heat rate yang digunakan antara lain net plant heat rate (NPHR), turbine heat rate (THR), dan gross plant heat rate (GPHR). Metode yang digunakan dalam penelitian adalah metode input – output, yang mana metode ini merupakan cara sederhana untuk mengetahui heat rate suatu pembangkit dari jumlah energi input bahan bakar di bagi dengan jumlah energi yang diproduksi.

Hasil penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada **Tabel 10** nilai gross plant heat rate yang dihasilkan semakin menurun seiring dengan penambahan rasio pencampuran kayu lamtoro, tingkat penurunan nilai GPHR dapat dilihat pada **Tabel 10** Pada rasio pencampuran 15% hanya menghasilkan nilai heat rate 2.412 kkal/kwh sedangkan untuk rasio pencampuran 50% dapat menghasilkan nilai heat rate yang lebih tinggi sebesar 2.387 kkal/kwh.

Tabel 10. Gross Plant Heat Rate

Gross Plant Heat Rate

Rasio Kayu Lamtoro : Batubara	Turbine Heat Rate Tetap (kkal/kwh)	Kapasitas PLTU (kwh/jam)	Effisiensi Boiler (%)	Qin (kkal/jam)	Qout (kkal/jam)	GPHR (kkal/kwh)
5% : 95%	1.980	300.000	81,78	726.338.958	594.000.000	2.421
15% : 85%	1.980	300.000	82,09	723.596.053	594.000.000	2.412
25% : 75%	1.980	300.000	82,38	721.048.798	594.000.000	2.404
50% : 50%	1.980	300.000	82,95	716.094.033	594.000.000	2.387

Hasil penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada **Tabel 11** nilai nett plant heat rate yang dihasilkan semakin menurun seiring dengan penambahan rasio pencampuran kayu lamtoro, tingkat penurunan nilai NPHR dapat dilihat pada Gambar 5.9 pada rasio pencampuran 15% hanya menghasilkan nilai heat rate 2.906 kkal/kwh sedangkan untuk rasio pencampuran 50% dapat menghasilkan nilai heat rate yang lebih tinggi sebesar 2.876 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.

Tabel 11. Net Plant Heat Rate

Net Plant Heat Rate						
Rasio Kayu Lamtoro : Batubara	Pemakaian Sendiri (kwh/jam)	Kapasitas PLTU Net (kwh/jam)	Effisiensi Boiler (%)	Qin (kkal/jam)	Qout (kkal/jam)	NPHR (kkal/kwh)
5% : 95%	51.000	249.000	81,78	726.338.958	594.000.000	2.917
15% : 85%	51.000	249.000	82,09	723.596.053	594.000.000	2.906
25% : 75%	51.000	249.000	82,38	721.048.798	594.000.000	2.896
50% : 50%	51.000	249.000	82,95	716.094.033	594.000.000	2.876

Berat polutan yang dikeluarkan dibagi kembali dengan satuan berat, volume, jarak atau lamanya aktivitas untuk memproduksi emisi CO₂ sebagai polutan dalam pencemaran udara. dengan dampak yang ditimbulkan maka diperlukan strategi untuk penurunan emisi CO₂, Seperti penggunaan teknologi yang hemat energi dan substitusi bahan bakar yang mempunyai kandungan karbon (C) yang tinggi.

Tabel 12. Faktor Emisi CO₂ Skema Normal

Penurunan Emisi CO ₂ Skema Normal						
Rasio Kayu Lamtoro : Batubara	Qin (kkal/jam)	Nilai Kalor (kkal/kg)	C (db)	Kebutuhan bahan bakar (kg/jam)	Produksi CO ₂ (kgCO ₂ /jam)	Faktor Emisi CO ₂ (kgCO ₂ /kwh)
5% : 95%	726.338.958	4.769	62,79	152.304	350.649	1,17
15% : 85%	723.596.053	4.703	61,34	153.858	346.047	1,15
25% : 75%	721.048.798	4.637	59,89	155.499	341.471	1,14
50% : 50%	716.094.033	4.471	56,27	160.164	330.456	1,10

Hasil penelitian yang dilakukan dengan bahan bakar kayu lamtoro dapat dilihat pada **Tabel 12** dimana dapat dilihat terjadi penurunan faktor emisi CO₂ dari setiap penambahan rasio pencampuran. Pada rasio pencampuran 15% nilai faktor emisi CO₂ yang dihasilkan sebesar 1,15 kgCO₂/kwh sedangkan untuk rasio 50% nilai faktor emisi CO₂ yang dihasilkan sebesar 1,10 kgCO₂/kwh. Dapat dilihat pada **Tabel 12** .Hal ini di pengaruhi oleh nilai karbon dan kalor yang tinggi dari kayu lamtoro ke batubara. Dimana untuk mengetahui produksi CO₂ yang dihasilkan diperlukan kadar karbon pada bahan bakar dan nilai kebutuhan bahan bakar (F) untuk menghasilkan energi. Kebutuhan bahan bakar ini dipengaruhi oleh energi yang dibutuhkan oleh bahan bakar (Qin) dan nilai kalor (CV) yang dihasilkan oleh kayu lamtoro.

Hasil penelitian yang dilakukan dengan bahan bakar batubara dapat dilihat pada **Tabel 13** dimana dapat dilihat terjadi penurunan yang cukup signifikan pada faktor emisi CO₂ dari

setiap pengurangan rasio pencampuran. Pada rasio Pencampuran 15% nilai faktor emisi CO₂ yang dihasilkan sebesar 1,02 kgCO₂/kwh sedangkan untuk rasio 50 % nilai faktor emisi CO₂ yang dihasilkan sebesar 0,62 kgCO₂/kwh.

Tabel 13. Faktor Emisi CO₂ Skema *Carbon Neutral*

Penurunan Emisi CO ₂ Skema <i>Carbon Neutral</i>							
Rasio Kayu Lamtoro : Batubara	Qin (kkal/jam)	Nilai Kalor (kkal/kg)	C (db)	Kebutuhan bahan bakar (kg/jam)	Bahan Bakar dari batubara (Fbb)	Produksi CO ₂ (kgCO ₂ /jam)	Faktor Emisi CO ₂ (kgCO ₂ /kwh)
5% : 95%	726.338.958	4.769	63,51	152.304	144.689	336.937	1,12
15% : 85%	723.596.053	4.703	63,51	153.858	130.779	304.545	1,02
25% : 75%	721.048.798	4.637	63,51	155.499	116.624	271.582	0,91
50% : 50%	716.094.033	4.471	63,51	160.164	80.082	186.487	0,62

Besaran nilai kalor pada batubara juga akan mengurangi produksi dari CO₂ nya, namun sebaliknya semakin kecil nilai kalor maka produksi CO₂ akan lebih besar. Begitu juga dengan nilai energi yang dibutuhkan oleh bahan bakar (*Qin*), jika nilai (*Qin*) semakin besar maka produksi CO₂ juga akan semakin besar. Hal ini juga dapat di pengaruhi oleh efisiensi boiler, dengan rendahnya efisiensi boiler maka kebutuhan energi akan bahan bakar (*Qin*) akan semakin besar.

Maka dari itu pengurangan rasio pencampuran pada batubara akan meningkatkan kualitas pembakaran karena produksi CO₂ yang akan dihasilkan juga semakin menurun dari batubara. Pengurangan penggunaan konsumsi batubara dan penambahan bahan biomassa pada pembangkit listrik akan menciptakan skema carbon neutral yang mana faktor emisi CO₂ yang dihasilkan tidak menimbulkan polutan yang berlebih sehingga dapat menyeimbangkan pancara emisi karbon pada atmosfer. Skema carbon neutral yang digunakan adalah mengurangi atau mereduksi emisi karbon dari produksi emisi karbon yang berlebih.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Komposisi yang didapat pada kayu lamtoro menghasilkan pembakaran yang sempurna dan dapat meningkatkan kinerja dari PLTU, kualitas kayu lamtoro dilihat dari kadar IM sebesar 9,52 % akan meningkatkan efisiensi boiler, lalu carbon sebesar 44,36 % akan menciptakan panas yang besar, Nilai kalor yang dihasilkan lebih rendah dari batubara sebesar 4.140 kkal/kg Dan nilai volatile matter sebesar 75,24 %.
2. Suhu yang optimal yang digunakan adalah suhu 950°C, pada suhu tersebut tidak terbentuk aglomerasi pada bed material yang menandakan terjadinya proses Fluidisasi yang baik sehingga bed material dapat mengabsorpsi panas dan mengkonversi energi dengan baik yang mana ketika diaplikasikan pada pembangkit listrik tenaga uap tidak menimbulkan masalah operasional.
3. Komposisi optimum pencampuran rasio kayu lamtoro sebesar 15% dikarenakan dapat mengurangi pencemaran udara namun masih dapat menunjang kebutuhan untuk PLTU, karena seiring penambahan rasio, nilai fixed carbon, nilai kalor, dan kadar carbon berkurang kemudian nilai kadar inherent moisture akan semakin bertambah.
4. Pada rasio pencampuran 15 % yang di aplikasikan ke PLTU ABC, didapatkan nilai sebagai berikut:
 - a. Nilai efisiensi boiler meningkat sebesar 82,09 %, dikarenakan nilai inherent moisture yang bertambah dengan penambahan kayu lamtoro itu sendiri.
 - b. Untuk nilai heat rate semakin menurun dari nilai GPHR sebesar 2.412 kkal/kwh dan nilai NPHR sebesar 2.906 kkal/kwh, ini menunjukan penggunaan listrik pada PLTU ABC sebesar 51.000 kwh/jam itu sendiri.
 - c. Nilai faktor emisi CO₂, untuk skema normal sebesar 1,15 kg CO₂/kwh dan skema carbon netral sebesar 0,85 kgCO₂/kwh. Yang mana dengan

meningkatkan efisiensi boiler akan mengurangi emisi CO₂ yang dihasilkan sehingga mengurangi dampak pencemaran udara.

5. Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, penulis dapat memberi saran sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pengujian lebih lanjut tentang teknologi co-firing dengan variabel yang berbeda, karena dapat mengurangi penggunaan batubara.
2. Pengujian kinerja PLTU sebaiknya dilakukan secara manual 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 kayu lamtoro ini ketika di aplikasikan ke pembangkit listrik tenaga uap

Daftar Pustaka

- Aziz, Amiral, dan Andi Rnaldi hasan, 2015, "Evaluasi Heat Rate dan efisiensi suatu PLTU dengan menggunakan batubara yang berbeda dari spesifikasi design", Jurnal energi dan lingkungan Vol. 11 No.1, Universitas Trisakti : Jakarta [2] Anonim, 2012, "*Pipeline Transportation System for Liquids and Slurries (ASME 31.4)*", American Society of Mechanical Engineers, New York.
- Anonim, 2018, "Pemanfaatan Kayu Lamtoro (*Leucenia leucocephala*) sebagai alternatif kayu energy". www.bongkreg.blogspot.com. Diakses pada tanggal 28 Juli 2020
- 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
- Huseini, Solihin, dan Pramusanto, 2018, "Kajian Kualitas Batubara Berdasarkan Analisis Proksimat, TotalSulfur dan Nilai Kalor Untuk Pembakaran Bahan Baku Semen di PT Semen Padang Kelurahan Batu Gadang, Kecamatan Lubuk Kilangan, Kota Padang Provinsi Sumatera Barat", Volume 4 No 2, Universitas Islam Bandung : Bandung.
- Mochammad Agung indra iswara, Tantular nurtono, Sugeng winardi, 2018, "Sistem Fluidisasi dan Pembakaran batubara Polydisperse di dalam Fluidized Bed berbasis simulai CFD (Computational Fluid Dynamic)", Jurnal teknik kimia lingkungan, Vol2 No.1 40-48, Politeknik Negeri Malang : Malang
- Widhiatmaka, Yohanes Gunawa, Charles Lambok F.simorangkir dan Mohamad aman, 2015, "Analisis Kinerja PLTU Indramayu Sepanjang Tahun 2015", Jurnal energi dan lingkungan Vol. 11 No.1, Universitas Trisakti : Jakarta [7] Jones, A. Denny, 1996, "*Principles and Prevention of Corrosion*", Prentice Hall, New Jersey.