

PENAMBAHAN TONGKOL JAGUNG PADA BATUBARA TERHADAP PERFORMA PLTU 2X150 DENGAN PROSES CO- FIRING MENGGUNAKAN SIMULASI CYCLE-TEMPO

Riyan Hidayat^{*)}, Ena Marlina, Artono Raharjo

Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang, Indonesia

^{*)}Corresponding author: rh328316@gmail.com

ABSTRACT

Co-firing is the process of burning a mixture of two types of fuel to reduce exhaust gas emissions. This study uses Cycle-Tempo simulation based on the heat balance of a 2×150 MW coal-fired Steam Power Plant Company (PLTU). The primary fuel is coal with a highest heating value (HHV) of 4200 kcal/gram, combined with corncob biomass, which has low sulfur content. The mixing ratios analyzed were 0%, 25%, and 50%. Results showed the highest boiler output at a 0% ratio (28,702.97 kW, efficiency 82%), while the 25% and 50% ratios decreased to 28,427.09 kW (efficiency 81%) and 28,122.75 kW (efficiency 79%), respectively. The net power output of the plant also decreased from 15,625.9 kW (0% ratio) to 15,281.1 kW (50% ratio). The performance decline was due to the suboptimal use of biomass for the plant. The Net Plant Heat Rate (NPHR) showed the best efficiency at a 0% ratio, making it easier for the plant to generate energy. While biomass co-firing can reduce emissions, it decreases the overall performance of the plant.

Keywords: Biomass, Co-firing; Coal, Corncob.

ABSTRAK

Co-firing adalah proses pembakaran campuran dua jenis bahan bakar untuk mengurangi emisi gas buang. Penelitian ini menggunakan simulasi Cycle-Tempo berdasarkan neraca panas Perusahaan Listrik Tenaga Uap (PLTU) 2×150 MW. Bahan bakar utama adalah batubara highest heating value (HHV) 4200 kal/gram, dengan biomassa tongkol jagung yang memiliki kandungan sulfur rendah. Rasio campuran yang dianalisis adalah 0%, 25%, dan 50%. Hasil menunjukkan daya boiler tertinggi pada rasio 0% (28.702,97 kW, efisiensi 82%), sementara rasio 25% dan 50% menurun menjadi 28.427,09 kW (efisiensi 81%) dan 28.122,75 kW (efisiensi 79%). Daya bersih pembangkit juga menurun dari 15.625,9 kW (rasio 0%) menjadi 15.281,1 kW (rasio 50%). Penurunan performa disebabkan oleh pencampuran biomassa yang kurang optimal untuk pembangkit. Net Plant Heat Rate (NPHR) menunjukkan efisiensi terbaik pada rasio 0%, mendukung pembangkit menghasilkan energi dengan lebih mudah. Co-firing biomassa dapat mengurangi emisi tetapi menurunkan performa pembangkit secara keseluruhan.

Kata kunci: Biomassa, Co-firing, Batubara, Tongkol Jagung.

PENDAHULUAN

Manusia membutuhkan energi dalam kehidupan beraktivitas sehari-hari, Manusia mulai menyadari pencemaran lingkungan dapat membahayakan kehidupan makhluk hidup, manusia

yang membutuhkan energi untuk memenuhi kebutuhannya yang kebanyakan bersumber dari biomassa khususnya batubara. Pelepasan gas akshir dari Perusahaan Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah bahan yang bakar bersumber dari batubara yang menimbulkan emisi CO₂ yang berperan bagaikan melilit kehidupan, menaikkan suhu panas bumi. oleh sebab itu usaha mengurangi emisi CO₂ pada gas akhir dari pembangkit listrik di negara kita tentu mengurangi polusi serta berpengaruh positif bagi kehidupan. PLTU yang menggunakan bahan bakar batubara adalah saham terbesar negara dan berharga bagi masyarakat tanpa pembangkit listrik aktivitas sehari-hari kita akan terhenti, jelas akan merugikan apabila PLTU yang menggunakan bahan bakar batubara dihentikan selamanya [1].

Langkah-langkah untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil khususnya batubara terhadap pembangkit listrik dan mengurangi emisi gas buang pada pembangkit mendorong menciptakan bahan bakar yang berkelanjutan atau ramah lingkungan, usaha menciptakan bahan bakar yang ramah lingkungan tersebut diantaranya memanfaatkan bahan bakar dari biomassa tongkol jagung. Pada kandungan energi biomassa relatif cukup rendah, oleh karena itu campuran batubara dan biomassa dapat menjadi solusi terhadap pembangkit listrik untuk menyesuaikan energi yang diperlukan. Campuran dari dua bahan bakar tersebut dapat menggunakan metode proses *co-firing* [2]. Biomassa yaitu dapat dijadikan sumber energi untuk dijadikan bahan bakar dan bermacam-macam biomassa seperti tandan kelapa sawit, tongkol jagung, dan sekam padi. Biomassa dapat dijadikan bahan bakar yang diolah untuk menciptakan tenaga listrik di berbagai PLTU yang memanfaatkan batubara untuk dijadikan bahan bakar [3].

PLTU adalah pembangkit yang menggunakan *energy* kinetic dari uap untuk menggerakkan turbin oleh karena itu akan menghasilkan listrik dari generator. Lumrahnya pembangkit listrik ialah memakai bahan bakar batubara [4]. PLTU yang memakai bahan bakar *co-firing* dari hasil biomassa merupakan lingkupan kategori karbon netral yang ramah lingkungan dari pada PLTU yang memakai bahan bakar berjenis batubara yang digunakan saat ini. Penggunaan *co-firing* di semua negara telah berusaha untuk mengurangi emisi CO₂ atau gas rumah kaca, dengan mengubah bahan bakar batubara dengan biomassa [5]. *Co-firing* dapat diartikan proses pencampuran dua biomassa yang akan diolah sebagai bahan bakar berbeda yang dilakukan secara bersamaan dan kelebihan penggunaan bahan bakar proses *co-firing* ialah terdapat pengurangan polutan emisi di udara seperti emisi, SO_x dan NO_x pada bahan bakar berjenis batubara [6].

Gerald Nicholas pada penelitiannya pengaruh campuran *co-firing* bahan bakar dan biomassa terhadap performa. Muhammad Farras & Sri Widodo penelitiannya pengaruh *co-firing* menggunakan *sawdust* terhadap nilai *heat rate* PLTU dengan rasio *co-firing* 84,72% hasil simulasi belum detail memberikan efisiensi pembangkit dan daya pemakain sendiri oleh pompa. Ranga hatta & M.S.K Tony Suryo Utomo dalam penelitiannya tentang CFD *co-firing* batok kelapa pada stoker *boiler*, mensimulasikan *solidworks* dengan menggunakan PLTU (persero) dengan kapasitas 18,154 MW. Adapun proses simulasi peneliti terdahulu menggunakan *cycle-tempo* cukup detail tetapi tidak memberikan detail daya yang diperoleh dalam hasil simulasi mereka dan belum memberikan hasil performa pembangkit yang terjadi. kenaikan daya pembangkit yang diperoleh dari penggunaan biomassa terhadap faktor untuk penerapan *co-firing* pada campuran yang lebih besar.

Tujuan penelitian ini untuk interpolasi penambahan pengaruh penambahan tongkol jagung pada batubara terhadap PLTU dengan simulasi *cycle-tempo*. Rumusan masalah, berdasarkan pendahuluan yang telah dituliskan akan dibahas pada simulasi ini adalah sebagai berikut. Bagaimana pengaruh penambahan tongkol jagung pada batubara terhadap performa kinerja PLTU dengan simulasi *cycle-tempo*. Agar penelitian ini lebih jelas dan tujuan dapat terarah, oleh karena itu membatasi batasan masalah ini sebagai berikut seperti, fluida atau media menggunakan air, kondisi operasi adalah tunak (*steady state*) dan data heat balance dan pemodelan simulasi mengambil dari jurnal [7].

METODE

Metode ini menggunakan *studi* simulasi, untuk mendapatkan gambaran dan nilai antara asil variasi bahan bakar yang dipakai dengan variasi terkait. Dengan modeling *co-firing* yang menggunakan *softwer Cycle Tempo* dengan 3 variasi rasio campuran pembakaran energi, dan selanjutnya akan dilakukan validasi aktul plant yang digunakan dengan hasil simulasi. Oleh sebab ini agar memperoleh berupa landasan dan teori yang sepadan dengan hukum-hukum atau rumus yang ada, akan dapat dibuat sebagai landasan dalam tahap perhitungan data yang akan didapatkan di akhirnya.

Selanjutnya pengujian sampel dilakukan di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim tepatnya di laboratorium Termodinamika Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi pada tanggal 23 Agustus 2023. Panambahan dalam rasio campuran dalam penelitian ini menggunakan proses *co-firing* dimana terdapat biomassa yang berbeda yaitu, batubara dan tongkol jagung dengan presentase TJ 25% : BB75% ; TJ 50% : 50% BB ; 100%.

Tabel 1. Pencampuran bahan bakar

No	Kode Nama Sampel	Masa Sampel (g)	Suhu (°C)			Nilai Kalor (cal/gram)
			Awal	Akhir	Δt	
1	Coal 100%	1	24,7	26,4	1,7	4200
2	50% Coal+50% Corn cobe	1	25,4	27,36	1,96	4218,065
3	75% Coal+25% Corncobe	1	25,4	27,44	2,04	4252,533

Tabel 1 merupakan pencampuran prosentase bahan bakar, pengambilan data yang diperlukan untuk menjalankan simulasi pemodelan PLTU dengan mengambil data berupa pemodelan dan *heat balance* PLTU dari jurnal (Siahaan, 2018) dengan berkapasitas 2x150 MW dan selanjutnya melakukan rancangan dan memasukkan memasukkan peralatan yang sama dengan *heat balance*. Peralatan yang akan disimulasikan di *shoftwer cycle-tempo* antara lain boiler, turbin, *kondensor*, *deareator*, *feed water heater*, *reheater*, pipa, *shaft*, generator, pompa dan *node*. Hasil dari simulasi *cycle-tempo* tentu tidak persis sama dengan hasil dari PLTU dengan faktanya. Hal ini dikarenakan *losses* yang didapatkan pada kondisi *eksisting* dengan keadaan didalam *cycle-tempo* berbeda sehingga hasilnya berbeda pula [8].

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah bahan bakar dengan proses *co-fairing*. Variabel bebas yang dipilih adalah presentase bahan bakar yang digunakan yang tentu berpengaruh terhadap performa PLTU. Performa PLTU dievaluasi berdasarkan data *head balance* yang diperoleh dari journal (Sumber:Wiranta Battra Siahaan, 2018) yang diintegrasikan pada *cycle-tempo*.

Pada penelitian ini beberapa poin dari variabel terikat anatara lain: Performa PLTU, *Efisiensi* PLTU, dan *Het rate* PLTU. Pengumpulan data dilakukan dengan cara kuantitatif. cara ini dilakukan akan mengamati nilai pada tongkol jagung. Data kuantitatif diperoleh dengan cara uji kelayakan tongkol jagung pada nilai kalor, kandungan air, dan kecepatan pembakaran. Akumulasi data dilaksanakan secara riset dilaksanakan dilaboraturium dengan teknik perangkaan deskriptif dilakukan untuk mengumpulkan hasil data yang diperlukan didalam penelitian, dan perangkaan digunakan agar menganalisis hasil dengan cara mendeskripsikan denga menyajikan hasil pada saat di rampungkan. Oleh sebab itu hasil yang dilampirkan berupa gambar grafik serta tabel yang akurat agar menghitung perbandingan tiap-tiap sampel yang akan dianalisis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Validasi Pemodelan Berdasarkan Data Operasi

Perlatan pada pembangki diagram *heat balance* menggunakan pada peralatan yang tertentu pada aktual PLTU oleh karena itu terdapat bermacam-macam perbedaan dari

pembentukan sesuai keadaan aktual PLTU, yang akan diperoleh *design* dari pembangkit yang baik, tentu saja akan menjalankan validasi terhadap hasil rancangan *heat balance* dan hasil dari aktual yang digunakan pada PLTU [9].

Tabel 2. Hasil validasi data pembangkit

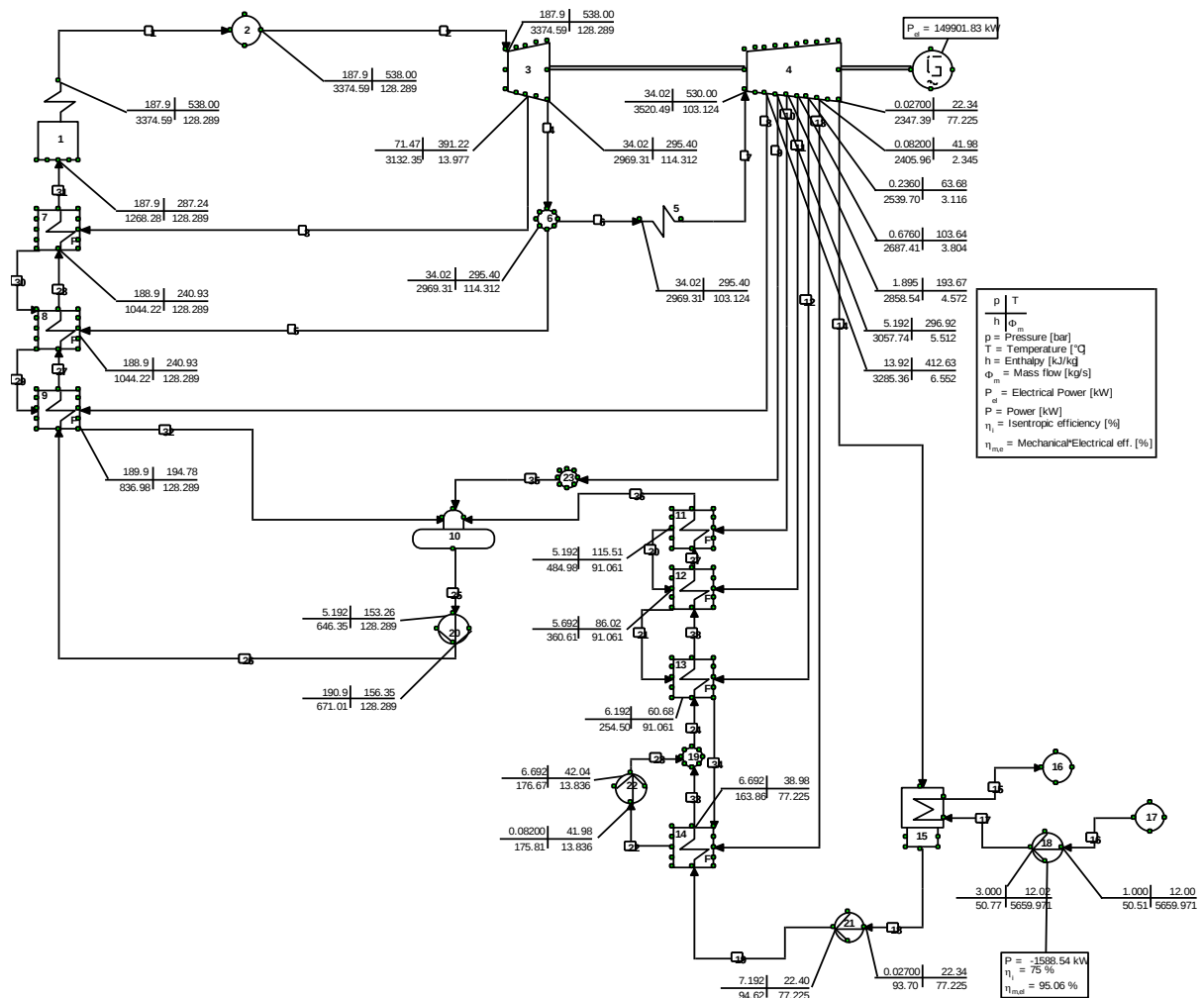
Parameter	Aktual plant	Simulasi	Error	
	(a)	(b)	a vs b	
Gross Output (MW)	149,95	149,86	0,06%	
Nett Output (MW)	143,55	143,55	0,00%	
Main Steam	Tekanan	187,90	187,90	0,00%
	Mass flow	129,96	130,13	0,13%
	Temperature	538,98	533,01	1,12%
	Tekanan	38,44	37,42	2,73%
Reheat Steam	Mass flow	105,18	117,37	7,06%
	Temperature	307,64	309,13	0,48%
RATA -RATA DEVIASI			1,86%	

Rumus validasi pembangkit

$$deviasi = \frac{\text{data heat balance} - \text{data Cycle Tempo}}{\text{data heat balance}} \times 100\%$$

$$deviasi = \frac{\text{data operasi pembangkit} - \text{data Cycle Tempo}}{\text{data operasi pembangkit}} \times 100\%$$

Validasi pada tabel 2 menerangkan bahwa hitungan standar pemodelan *cycle-Tempo* 5.0 terhadap hasil diagram *heat balance* adalah senilai 1% sedangkan hitungan standar pemodelan *Cycle-Tempo* 5.0 terhadap hasil aktual yang dilakukan senilai 1%. standar terbesar terdapat pada ukuran temperatur *reheat steam* *Cycle-Tempo* 5.0 terhadap hasil aktual yang digunakan senilai 4%. Hasil validasi terhadap tabel 2 memaparkan perancangan *Cycle-Tempo* 5.0 telah sesuai dengan beban 100% [9]. Validasi juga dilakukan untuk memastikan bahwa simulasi sudah sesuai seperti nampak pada gambar 1.



Gambar 1. Hasil simulasi sesudah validasi

2. Analisis kebutuhan udara pembakaran

Untuk memastikan proses pembakaran dapat sesuai dengan yang direncanakan, volume oksigen perlu dijaga dan ditambahkan atau disebut dengan udara berlebih. Macam-macam bahan bakar memiliki unsur-unsur atau karakteristik HC (*Hidro Carbon*) yang berbeda satu sama lain. gololongan dan unsur penyusunnya akan menetapkan nilai dari CV (*Calorie Value*) yang tercantum [10].

a. Contoh perhitungan Teoritical Udara

Berikut ini adalah contoh perhitungan teoritical udara yang digunakan pada campuran 25%, 50% dan 100% batubara.

$$3,675C + 304H + 0,842O + 0,042N + 0,034S + a(O_2 + 3,76N_2) +$$

$$ash \rightarrow bCO_2 + cH_2O + d + SO_2 + eN_2 + ash$$

Berdasarkan reaaaksi, selanjutnya hasil dari kandungan bahan bakar.

- Karbon $C \rightarrow b = 3,675$
- Hydrogen $H \rightarrow 3,04 = 2c \ c = 1,52$
- Sulfur $S \rightarrow d = 0,34$
- Oksigen $O \rightarrow 0,842 + 2a = 2b + c + 2d$

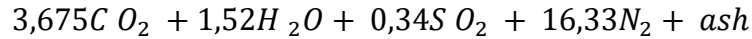
$$a = \frac{2(3,675) + 1,5 + 2(0,34) - 0,842}{2}$$

$$a = 4,344$$

$$\text{Nitrogen } N \rightarrow 0,048 + a(3,76) = 16,33$$

reaktan atau bahan awal dalam reaksi kimia

$3,675C + 304H + 0,842O + 0,042N + 0,034S + 4,344 + a(O_2 + 3,76N_2) + ash$
Berikut produk hasil dari bahan awal dalam reaksi kimia atau reaktan.



Berlandaskan pengamatan di atas, dapat disimpulkan keperluan O_2 terhadap reaksi yaitu sebesar 4,344 kmol. Selanjutnya yaitu akumulasi terhadap keperluan udara (*theoretical air*) dengan mengsumsikan 1 kmol udara dengan unsur 0,2097 kmol O_2 . Tabel 3 merupakan data ultimate analisis dari kandungan beberapa bahan penelitian.

Tabel 3. Data Ultimate Analisis

NO	Kandungan	Batubara	Tongkol jagung	25TJ : 75BB	50TJ : 50BB	100BB
1	C	44,10%	44,50%	44,20%	44,35%	44,10%
2	H	3,04%	4,91%	3,51%	4,21%	3,04%
3	O	13,48%	40,18%	20,16%	30,17%	13,48%
4	N	0,68%	0,36%	0,60%	0,48%	0,68%
5	S	11,00%	0,00%	8,25%	4,13%	11,00%

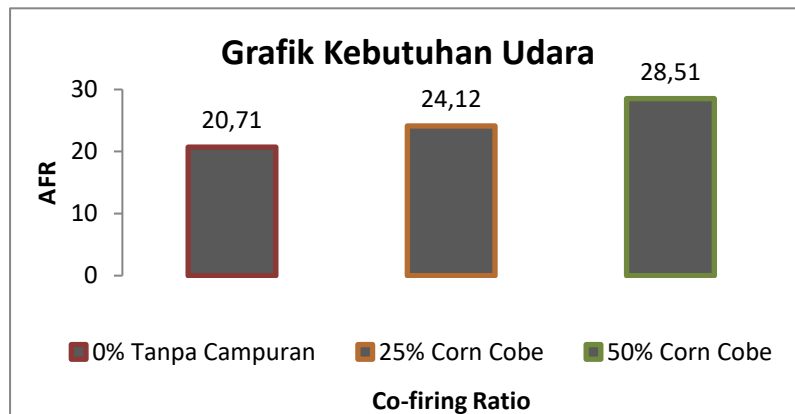
3. Contoh Perhitungan *Air feed Rate* (AFR).

Akumulasi terhadap Kebutuhan Udara sebenarnya (*Actual Air Supplied*) terdapat pada gambar 2.

$$\text{Kebutuhan udara} = 4,344 \frac{\text{kg air}}{\text{kg fuel}} (1 + 0,2097)$$

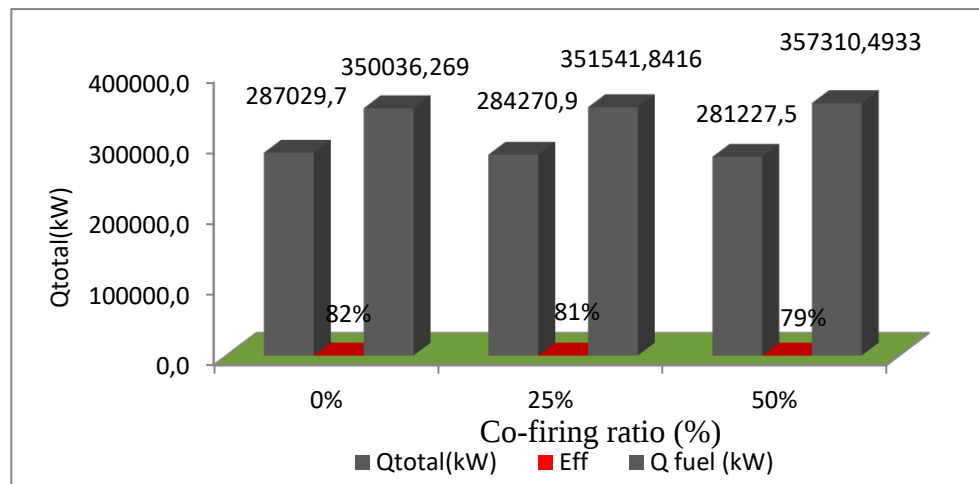
$$\text{Kebutuhan udara} = 4,344 \frac{\text{kg air}}{100 \text{ kg fuel}}$$

$$AFR = 20,71 \frac{\text{kg air}}{\text{kg fuel}}$$



Gambar 2. Grafik kebutuhan udara

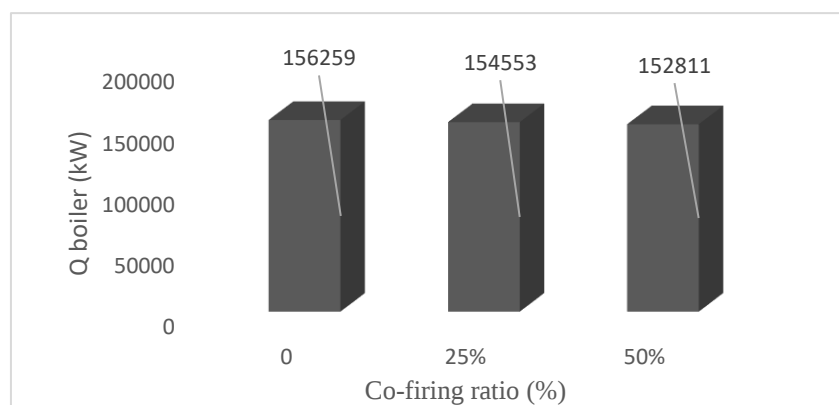
4. Perhitungan daya performa boiler



Gambar 3. Grafik daya performa boiler

Gambar 3 merupakan perhitungan performa boiler ada tiga perhitungan yang menjadi satu yaitu performa atau daya yang dihasilkan boiler (Q kW), efisiensi boiler (η_{nett}), dan perhitungan $\dot{Q}_{fuel}$ (kW) atau (energi yang dihasilkan bahan bakar). Penggunaan campuran biomass yang lain jenis melahirkan performa boiler yang berbeda. Pada gambar Grafik diatas menunjukkan daya dihasilkan boiler, efisiensi dan juga energi yang dihasilkan bahan bakar berbeda tentu saja itu disebabkan presentase campuran bahan bakar yang berbeda dan tentu saja menghasilkan LHV yang berbeda pula. dimana rasio *co-firing* tongkol jagung 0%, 25% dan 50% menunjukkan hasil daya sebesar 287029,7kW, 284270,9 kW, 281227,5 kW, sedangkan efisiensi 82%, 81%, 79% dan energi dihasilkan bahan bahan bakar yaitu sebesar 350036,26 kW, 351541,84 kW, 357310,49 kW. Pada bahan bakar 0% terdapat peningkatan daya, *efisiensi* dan tetapi energi yang dihasilkan bahan bakar menurun. Hal ini mengakibatkan hitungan bahan bakar yang diperlukan agar merubah air menjadi uap, semakin kecil energy yang diperlukan untuk merubah air menjadi uap, bertambah cepat *mass flow rate* dari *steam*. Pada *presentase co-fairing* 25% dan 50% terdapat penurunan sedikit daya, *efisiensi* tetapi energi yang dihasilkan bahan bakar meningkat. Oleh sebab itu mengakibatkan hitungan bahan bakar yang diperlukan agar mengubah air lebih banyak. lebih banyak energy yang yang dibutuhkan untuk merubah air membentuk uap, bahkan menurun kecepatan *mass flow rate* dari *steam*.

5. Daya perfoma pembangkit



Gambar 4. Grafik daya pembangkit

Gambar 4 menunjukkan daya yang dihasilkan turbin melalui output uap dari boiler sehingga menghasilkan daya power pembangkit berbeda-beda, dan masing-masing campuran menghasilkan daya sebesar 156259 (MW) pada 0% atau bahan-bakar tanpa campuran, pada campuran 25%, menghasilkan daya sebesar 154553 (MW) pada campuran 50%, Menghasilkan daya sebesar 152811 (MW). Menurunnya power atau daya yang dihasilkan karena disebabkan sedikitnya presentase batubara pada bahan bakar sehingga suplai uap dari boiler menurun. Hal itu mengakibatkan penurunan daya yang dihasilkan pembangkit pada tiap-tiap campuran daya yang dihasilkan menurun.

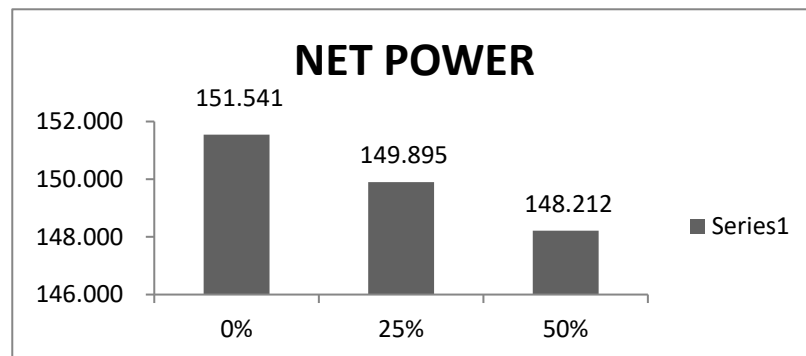
6. Perhitungan daya *auxiliary* sendiri

Tabel 4. Daya *auxiliary* sendiri

Tabel hasil daya <i>auxiliary</i> sendiri						
No	Co-firing	$\dot{W}_{CLWP}$	$\dot{W}_{CWP}$	$\dot{W}_{LPWHP}$	$\dot{W}_{BFP}$	(kW)
1	0%	1471,488	71,047	11,511	3163,606	4717,65
2	25%	1508,776	72,951	12,22	3063,604	4657,55
3	50%	1545,488	74,813	12,538	2966,035	4598,89

Pada tabel 4 daya *auxiliary* sendiri yakni daya yang digunakan oleh pompa yang menaikkan tekanan menggunakan listrik yang diambil dari daya pembangkit. Hal ini disebabkan karena pompa membutuhkan aliran listrik untuk mendorong aliran liquid atau air. oleh karena itu daya yang dihasilkan pembangkit akan akan berkurang karena digunakan oleh pompa. Pada tabel diatas masing-masing campuran (0%, 25%, 50%), dan daya yang yang digunakan sebesar 4717,65 kW, 4657,55 kW, 4598,89 kW. Pada *presentase co-firing* menunjukkan daya yang digunakan pompa berbeda-beda, diantaranya pada campuran 0% menunjukkan peningkatan daya yang digunakan oleh pompa sebesar 4717,65 kW. Hal ini disebabkan pompa yang bekerja untuk meningkatkan tekanan cairan membutuhkan kerja yang diperlukan. Sehingga mengakibatkan kerja yang diperlukan pompa banyak membutuhkan daya, sedangkan pada *presentase* 25% dan 50% terdapat penurunan daya yang dihasilkan pembangkit dan begitu juga terhadap pompa dimana pompa akan membutuhkan kerja yang sesuai dari daya pembangkit. Oleh karena itu mengakibatkan daya yang digunakan pompa menurun.

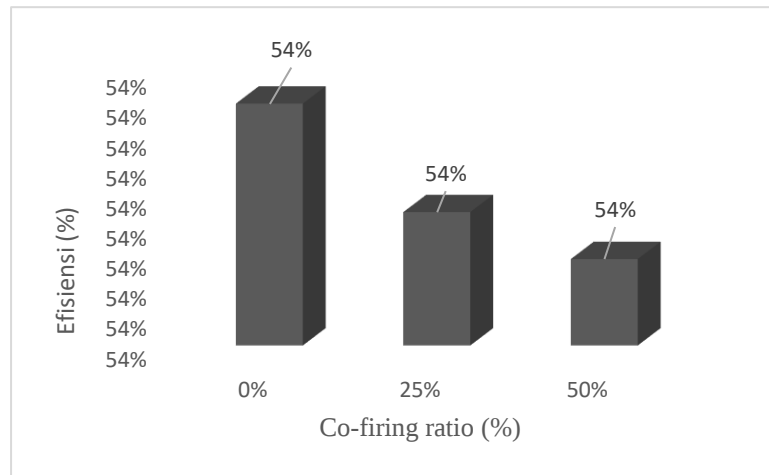
7. *Nett power* pembangkit



Gambar 5. Grafik *net power*

Gambar 5 merupakan daya yang dihasilkan suatu pembangkit listrik setelah dikurangi daya yang dipakai sendiri dan dimana masing-masing campuran menghasilkan power bersih atau (*nett power*) sebesar 151,541 (kW) pada campuran 0% 25% 149,895 (kW), campuran 50% 148,212 (kW). Dari ketiga campuran yang paling besar menghasilkan daya yakni terjadi pada campuran 0% atau 100% batubara. Hal ini disebabkan daya yang dihasilkan pembangkit lebih baik dibandingkan dengan *presentase co-fairing*. Oleh karena sebab itu daya yang dihasilkan lebih besar.

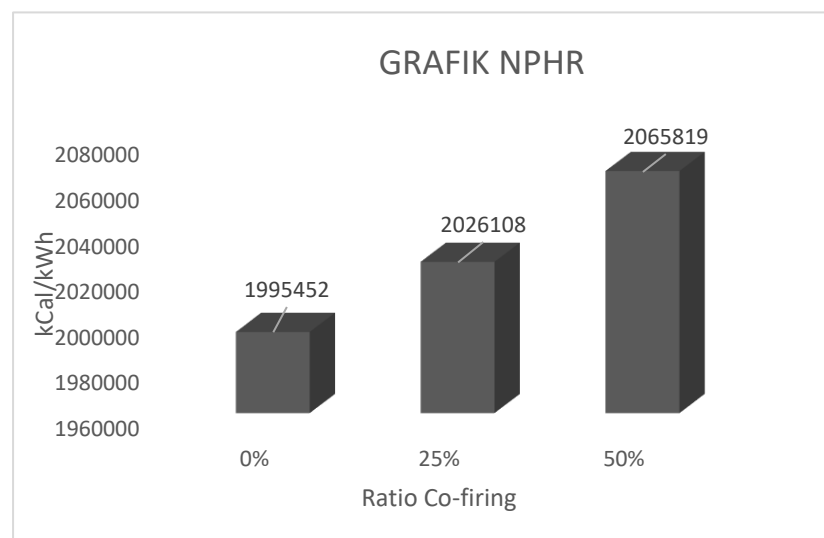
8. Efisiensi Pembangkit



Gambar 6. Grafik efisiensi

Pada Gambar 6 di atas menunjukkan *efisiensi* Pembangkit pada *presentase* 0%, 25%, 50% dan masing-masing efisiensi sama yaitu 54%. Hal ini disebabkan oleh daya yang dihasilkan boiler pembangkit tidak jauh berbeda. oleh karena itu membentuk laju alir massa *steam generated* karna tidak jauh lebih besar. Nilai laju alir massa *steam* yang lebih dominan lebih cepat menggerakkan turbin oleh karena itu daya dihasilkan generator akan lebih dominan.

9. Net Plant Heat Rate



Gambar 7. Grafik NPHR

Gambar 7 merupakan hasil perhitungan *Net Plant Heat Rate* (NPHR) sendiri artinya ialah jumlah energi atau kalori yang dibutuhkan pada pembangkit untuk menghasilkan Listrik 1 (kWh). Pada gambar 4.8 di atas masing-masing campuran energi sebesar 1995452 (kCal/kWh) pada campuran 0%, sedangkan 2026108 (kCal/kWh) pada campuran 25%, dan 2065819 (kCal/kWh) pada campuran 50%, hasil diperoleh dari NPHR yang bagus apabila pengamatannya dengan hasil yang rendah. dimana pada nilai *presentase* yang paling sedikit terdapat pada *presentase* 0% atau 100% batu bara. Hal itu karena peningkatan terhadap *efisiensi* di peralatan boiler sehingga berdampak PLTU lebih gampang menghasilkan energy.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: Kondisi terbaik pada performa boiler terdapat pada campuran 0% dengan daya 287029,7 dengan efisiensi lebih baik dari bahan bakar *co-firing* sebesar 82% dan energy yang dihasilkan bahan bakar 350036,26 kW. Daya power pembangkit menghasilkan daya yang lebih baik terdapat pada campuran 0% 156259 (MW), sedangkan dari hasil pencampuran bahan bakar *co-firing* 25% sebesar 154553 (MW) sedangkan 50% sebesar 152811 (MW). Daya nett power atau daya yang pembangkit yang sudah dikurangi dengan daya *auxiliary* dimana daya yang lebih baik terjadi pada 0% dengan nilai sebesar 151,541 kW pada bahan *co-firing* dengan nilai daya sebesar 149,895 kW pada campuran 25% dan 148,212 kW pada campuran 50%.

Efisiensi pembangkit dimana semua campuran terdapat persamaan efisiensi yaitu 54%. Persamaan ini dipengaruhi oleh daya pembangkit yang hampir sama atau daya tidak jauh berbeda. Pada NPHR terdapat nilai yang lebih baik, dimana nilai NPHR yang lebih kecil maka lebih baik, dimana nilai yang lebih kecil terdapat pada bahan bakar 0% tanpa campuran dengan nilai 1995452 kCal/kWh, sedangkan nilai energi pada bahan bakar *co-firing* 2026108 kCal/kWh dan 2065819 kCal/kWh pada campuran 50%.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] G. Nicholaus Pardamean Tampubolon and B. Arip Dwiyanoro, "Studi Pengaruh Rasio *Co-firing* Bahan Bakar Batubara dan Biomassa Tertorefaksi Terhadap Performa Boiler," *J. Tek. Its*, vol. 12, no. 3, pp. 178–183, 2023.
- [2] A. N. Sidiq, "Pengaruh *Co-Firing* Biomassa terhadap Efisiensi Boiler PLTU Batubara," *Kilat*, vol. 11, no. 1, pp. 21–31, 2022, doi: 10.33322/kilat.v11i1.1553.
- [3] G. F. Arisandi and A. B. Krishna Putra, "Simulasi Cycle Tempo 5.0 Dampak Variasi Rasio *Co-Firing* Batubara dan Biomassa Jenis Tongkol Jagung terhadap Performa PLTU 400 MW," *J. Tek. ITS*, vol. 12, no. 2, 2023, doi: 10.12962/j23373539.v12i2.123291.
- [4] S. S. Dirmanto and A. R. Effendi, "Analisis Perubahan Tekanan Vakum Kondensor Terhadap Kerja Turbin Dan Produksi Listrik PLTU Unit 1 Sebalang Menggunakan Simulasi Cycle Tempo," *J. Powerpl.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–29, 2020.
- [5] D. Mujiono and Z. A. Akbar, "Analisa Teknik dan Keekonomian Pengolahan Biomassa Sawdust dari Hutan Tanaman Energi (HTE) untuk Mendukung Program *Co-Firing* di PLTU Pelabuhan Ratu," *J. Civ. Eng. Vocat. Educ.*, vol. 10, no. 2, pp. 2622–6774, 2023, [Online]. Available: <http://ejournal.unp.ac.id/index.php/cived/index>.
- [6] S. Suganal and G. K. Hudaya, "Bahan bakar *co-firing* dari batubara dan biomassa tertorefaksi dalam bentuk briket (Skala laboratorium)," *J. Teknol. Miner. dan Batubara*, vol. 15, no. 1, pp. 31–48, 2019, doi: 10.30556/jtmb.vol15.no1.2019.971.
- [7] E. W. B. Siahaa, "Pemodelan Efisiensi Daya Pembangkit Pada Feed Water Heater Menggunakan Software Cycle Tempo 5.0," *Semin. Nas. R.*, vol. 1, no. 1, pp. 71–74, 2018.
- [8] Bramantya tri Bramantya, "Cycle-Tempo Simulation the Effect of Steam Turbine Mass Flow Extraction for High Pressure Feedwater Heaters on Performance of 200 Mw Thermal Power Plant Pt. Pjb Gresik," 2016.

- [9] L. I. Raufi, “Pemodelan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Supercritical Pada Perangkat Lunak Cycle-Tempo Dengan Analisa Variasi Beban,” pp. 13–23, 2020.
- [10] Nurdin Hasananto, *Menggunakan Computational Fluid Dynamics DAN*. 2024.