

STUDY PENGARUH PENGGUNAAN TEKNOLOGI SOLAR POWER DRYER TERHADAP KANDUNGAN MOISTURE BATUBARA DI PLTU TANJUNG JATI B

Sutomo¹, Ridho Hantoro²

Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia^{1,2}

Email: tomosir@gmail.com¹, hantoro@its.a.cid²

Abstrak

Penggunaan batubara sebagai bahan bakar utama pembangkit listrik di Indonesia masih mendominasi, namun kandungan moisture yang tinggi dalam batubara menurunkan efisiensi pembakaran dan meningkatkan konsumsi bahan bakar. Penelitian ini mengkaji efektivitas solar dryer berbentuk greenhouse untuk menurunkan moisture dalam batubara dan dampaknya terhadap efisiensi operasional pembangkit. Dari tiga variasi pengeringan, solar dryer dengan atap akrilik dan sirkulasi udara alami menunjukkan hasil terbaik dengan penurunan moisture sebesar 12,2% pada sampel 2 kg ukuran 5 cm dan 10,5% pada ukuran 0,475 cm pada irradiation rata-rata 686 W/m². Penggunaan atap akrilik dengan sirkulasi udara paksa menurunkan moisture sebesar 10,1% dan 11%, sedangkan atap galvalume dengan sirkulasi paksa menurunkan moisture masing-masing sebesar 5% dan 5,8%. Solar dryer berbahan akrilik menunjukkan hasil lebih baik dibandingkan pengeringan terbuka, terutama pada sampel 5 cm, dengan peningkatan kinerja sebesar 153% dan 137% untuk sirkulasi alami, serta 116% dan 141% untuk sirkulasi paksa pada berat sampel 1 kg dan 2 kg. Solar dryer ini berpotensi menghemat biaya produksi listrik hingga Rp97 juta per hari dan mengurangi emisi CO₂ antara 76,03 hingga 185 tonCO₂e tergantung jenis solar dryer yang digunakan.

Kata kunci: batubara, efisiensi, moisture, solar dryer, emisi CO₂

Abstract

The use of coal as the main fuel for power generation in Indonesia still dominates; however, the high moisture content in coal reduces combustion efficiency and increases fuel consumption. This study examines the effectiveness of a greenhouse-shaped solar dryer in reducing moisture in coal and its impact on the operational efficiency of power plants. Among three drying variations, the solar dryer with an acrylic roof and natural air circulation showed the best results, with a moisture reduction of 12.2% for a 2 kg sample of 5 cm size and 10.5% for a 0.475 cm size at an average irradiation of 686 W/m². The use of an acrylic roof with forced air circulation reduced moisture by 10.1% and 11%, while a galvalume roof with forced circulation reduced moisture by 5% and 5.8%, respectively. The acrylic solar dryer demonstrated better results compared to open drying, especially for the 5 cm sample, with performance improvements of 153% and 137% for natural circulation, and 116% and 141% for forced circulation at sample weights of 1 kg and 2 kg. This solar dryer has the potential to save electricity production costs by up to Rp97 million per day and reduce CO₂ emissions between 76.03 and 185 tons CO₂e, depending on the type of solar dryer used.

Keywords: coal, efficiency, moisture, solar dryer, CO₂ emissions

Pendahuluan

Penggunaan batubara dalam pembangkit listrik masih menjadi sumber energi utama, khususnya di Indonesia. Meskipun demikian, batubara adalah sumber emisi karbon dioksida (CO₂) terbesar, yang berkontribusi pada pemanasan global. Untuk mencapai target Net Zero Emission (NZE), pengurangan emisi dari pembakaran batubara sangat diperlukan (IEA, 2024). Salah satu metode untuk meningkatkan efisiensi pembakaran adalah menurunkan kadar kelembaban (moisture) batubara (Xu et al., 2016; Yuan et al., 2021). Tingginya kadar moisture pada batubara memerlukan energi tambahan untuk penguapan selama proses pembakaran, sehingga berdampak negatif terhadap efisiensi energi (Bureska-Joleska, 2017; Lu et al., 2018).

Berbagai penelitian sebelumnya telah menggunakan metode pengeringan yang berbeda untuk mengevaluasi efisiensi pengurangan kelembaban dan kecepatan pengeringan. Dalam penelitian Guo et al. (2022), pengeringan lumpur batubara dilakukan menggunakan radiasi matahari buatan dengan intensitas 300 hingga 600 W/m². Penelitian ini menemukan bahwa intensitas radiasi yang tinggi mempercepat pengeringan, dengan hasil terbaik pada sampel dengan ketebalan 0,5 cm. Penelitian Nabnean dan Nimnuan (2020) menguji efektivitas solar dryer untuk pengeringan pisang di Thailand, mencatat bahwa kelembaban pisang menurun dari 72% menjadi 28% dalam empat hari, sementara pisang yang dikeringkan di bawah matahari langsung hanya mencapai 40% pada periode yang sama.

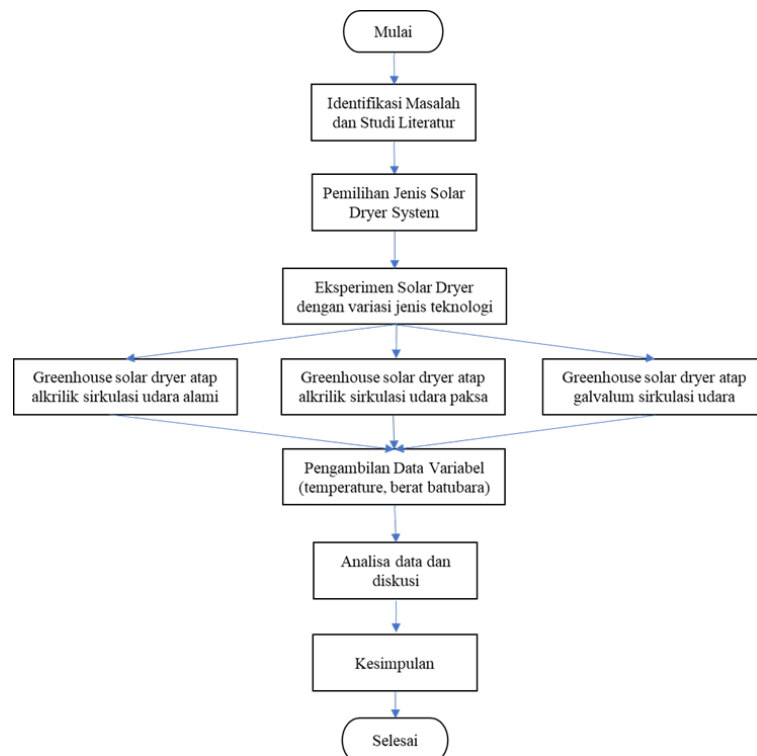
Penelitian lain oleh Badaoui et al. (2019) mengkaji pengeringan limbah tomat dalam solar greenhouse, menemukan bahwa kadar air dapat berkurang secara signifikan dalam rentang suhu 40 hingga 58 °C selama lima jam. Sementara itu, Karthikeyan dan Jagadeeshwaran (2024) menganalisis pengeringan greenhouse berbasis evacuated tube solar collector (ETSC) untuk labu ivy. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelembaban berkurang dari 80% menjadi 9-12%, dengan suhu ruang pengering mencapai 75 °C, dan efisiensi kolektor rata-rata mencapai 26% dalam mode aktif. Selain itu, Dharmadurai et al. (2021) memanfaatkan reflektor eksternal dalam pengeringan anggur, yang menunjukkan peningkatan efisiensi pengeringan dan waktu pengeringan yang lebih singkat. Teknik ini berhasil meningkatkan suhu pengering hingga 20% dibandingkan pengeringan matahari biasa, serta menghasilkan pengeringan anggur bebas dari debu dan serangga. Penelitian-penelitian ini menunjukkan potensi besar dari berbagai jenis solar dryer dalam meningkatkan efisiensi pengeringan material dengan kondisi dan metode yang berbeda.

Penelitian ini mengusulkan penggunaan teknologi solar dryer berbentuk greenhouse sebagai metode alternatif untuk mengurangi kadar moisture batubara di PLTU Tanjung Jati B. Dengan menggunakan energi panas matahari yang ramah lingkungan, teknologi ini diharapkan dapat menurunkan kadar kelembaban batubara secara efisien, sekaligus mengurangi konsumsi energi dan emisi CO₂ (Guo et al., 2022; Ismail et al., 2021). Solar dryer telah menjadi topik penelitian yang menarik dalam upaya mengurangi kelembaban berbagai material (Tahmasebi et al., 2011; Tian & Zhao, 2013; Wang et al., 2019). Penelitian ini bertujuan mengukur pengaruh solar dryer terhadap kadar moisture batubara serta dampaknya pada biaya produksi listrik dan emisi gas rumah kaca, dengan harapan dapat meningkatkan efisiensi pembangkit dan menyediakan solusi berkelanjutan dalam pengelolaan emisi karbon di pembangkitan listrik berbahan bakar batubara.

Metode Penelitian

Diagram Alir Penelitian

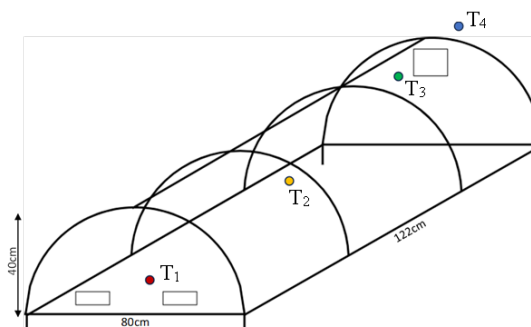
Dalam penelitian ini, teknologi solar dryer digunakan sebagai media pengering batubara, dengan prototipe berbasis Green House Dryer yang menawarkan kontrol lebih baik terhadap proses pengeringan dibandingkan metode lainnya dan lebih sesuai untuk skala besar (Weiss & Schwarzmüller, 2002). Gambar 1 merupakan diagram alir penelitian yang menunjukkan tahapan-tahapan penelitian.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Prototype Solar Dryer

Prototype solar dryer berbentuk greenhouse dibangun dengan atap akrilik transparan setebal 2 mm untuk efisiensi transmisi sinar matahari dan kestabilan termal. Galvalume setebal 0,55 mm digunakan sebagai perbandingan, sedangkan dinding, lantai, dan bagian belakang dicat hitam untuk meningkatkan penyerapan panas. Sistem ventilasi terdiri dari dua inlet udara berukuran 12 cm x 6 cm di depan dan satu outlet berukuran 12 cm x 12 cm di belakang, dilengkapi kipas 21 watt. Gambar 2 dan tabel 1 merupakan desain ukuran dan spesifikasi material yang digunakan untuk dalam pembuatan prototype solar dryer.



Gambar 2. Desain prototype greenhouse solar dryer

Study Pengaruh Penggunaan Teknologi Solar Power Dryer terhadap Kandungan Moisture Batubara Di PLTU Tanjung Jati B

Ruang solar dryer dan udara keluaran dilengkapi dengan thermocouple untuk mengukur perubahan temperature yang terjadi selama proses pengeringan (T1 = sensor temp. ruang sisi bawah, T2 = sensor temp. ruang sisi Tengah, T3 = sensor temp. ruang sisi atas, dan T4 = sensor temp. sisi outlet).

Tabel 1. Spesifikasi Solar Drye

Jenis	Greenhouse Solar Dryer
Dimensi keseluruhan	90 cm x 125 cm
Material penyerap panas	Galvalume dicat hitam t1 mm
Atap penutup	Akrilik t2 mm dan galvalume t0.55 mm
Dinding depan dan belakang	Galvalume t0.55 mm
Volume chamber	Dia 80 cm x 122 cm
Ventilasi udara masuk	2 buah @ 12 cm x 6 cm
Ventilasi udara keluar	12 cm x 12 cm
Sirkulasi udara chamber	Natural dan Forced (kipas 21 Watt)
Sampel	Batubara



Gambar 3. Prototype greenhouse solar dryer (a) atap akrilik, (b) atap galvalume, (c) tampak belakang, (d) tampak depan

Penelitian ini menggunakan tiga variasi solar dryer: (1) dengan atap akrilik, sirkulasi udara alami, (2) dengan atap akrilik, sirkulasi udara paksa, serta (3) dengan atap galvalume, sirkulasi udara paksa (lihat Gambar 3). Untuk sirkulasi udara paksa, kipas berdaya 21watt dipasang di belakang untuk mengedarkan udara dalam ruang pengering.

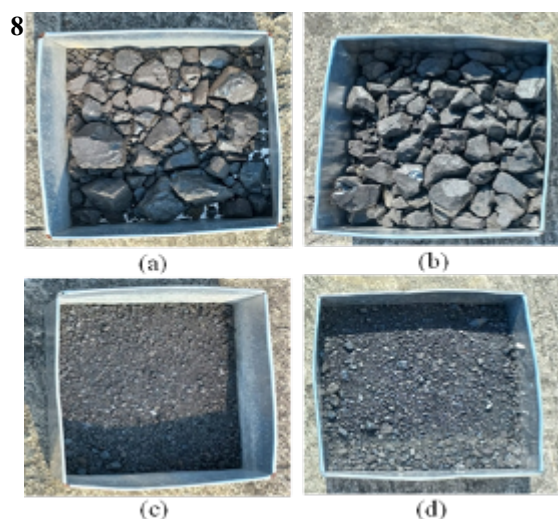
Pengambilan Data

Penelitian ini dilakukan di PLTU Tanjung Jati B, Jepara, Jawa Tengah (-6.4486 LS, 110.741 BT), menggunakan batubara sub-bituminus dengan karakteristik berdasarkan Certificate of Analysis (CoA) dari pemasok (Tabel 2).

Tabel 2. Karakteristik batubara yang digunakan di Pembangkit Tanjung Jati B

Parameter	Satuan	Nilai (As Received)
Gross Caloric Value	kCal/kg	5509
Total Moisture	%	21.45
Proximate Analysis		
Ash Content	%	3.15
Volatile Matter	%	35.95
Fixed Carbon	%	29.08
Ultimate Analysis		
Total Carbon	%	59.15
Total Hydrogen	%	5
Nitrogen	%	1.33
Sulfur	%	0.89
Oxygen	%	8.63

Sampel batubara terdiri dari dua ukuran, yaitu 5 cm dan 0,475 cm, dengan masing-masing berat 1 kg dan 2 kg, sehingga terdapat empat variasi sampel: 5 cm dan 0,475 cm pada berat 1 kg dan 2 kg (Gambar 4).



Gambar 4. Sampel uji batubara (a), (b) ukuran 5 cm masing -masing 1 kg dan 2kg, dan (c), (d) ukuran 0,475 cm masing -masing 1 kg dan 2kg

Pengumpulan data dilakukan melalui empat variasi metode pengeringan: (1) sampel batubara ditempatkan dalam loyang dan terpapar sinar matahari langsung; (2) pengeringan dengan Greenhouse Solar Dryer atap akrilik dan sirkulasi udara alami; (3) pengeringan dengan Greenhouse Solar Dryer atap akrilik dan sirkulasi udara paksa; dan (4) pengeringan dengan Greenhouse Solar Dryer atap galvalume dan sirkulasi udara paksa.

Proses pengeringan berlangsung selama 5 hari untuk setiap metode, dengan pengambilan data setiap 2 jam dari pukul 08.00 hingga 16.00. Data lapangan diukur menggunakan solar power meter untuk radiasi matahari, thermocouple 4 channel HTI HT-9815 untuk suhu dalam solar dryer, thermometer hygrometer untuk suhu dan kelembaban udara, infrared thermometer Benetech GM320 untuk suhu permukaan batubara, serta neraca digital untuk menimbang berat batubara.

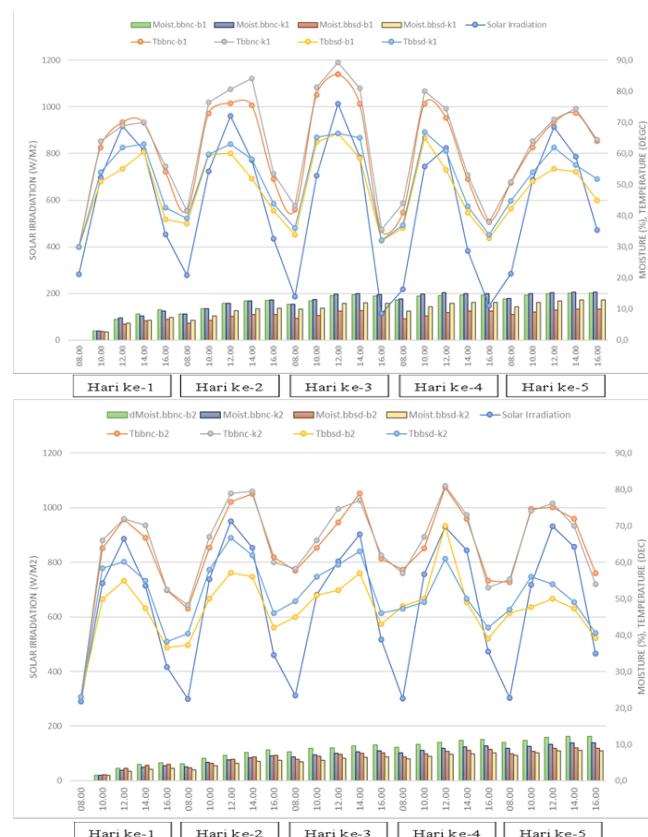
Hasil dan Pembahasan

Selama proses pengeringan batubara dengan solar dryer, sampel lain ditempatkan di bawah sinar matahari langsung. Hasilnya, kemampuan solar dryer dibandingkan dengan pengeringan terbuka dalam menurunkan kadar kelembaban batubara dapat dievaluasi.

Temperature dan Moisture Batubara

1) Solar dryer atap akrilik sirkulasi udara alami

Hasil pengamatan selama lima hari (Gambar 5a), proses pengeringan batubara dalam solar dryer dengan atap akrilik sirkulasi udara alami menunjukkan performa yang lebih optimal dibandingkan pengeringan terbuka. Sampel batubara seberat 1 kg dengan dua ukuran berbeda, yaitu 5 cm dan 0,475 cm. Rata-rata radiasi matahari sebesar 584 W/m^2 (minimum 115 W/m^2 , maksimum 1014 W/m^2) meningkatkan suhu permukaan batubara ukuran 5 cm (Tbbnc-b1) hingga rata-rata $60,8^\circ\text{C}$, suhu tertinggi mencapai $85,5^\circ\text{C}$. Sampel berukuran 0,475 cm (Tbbnc-k1), suhu permukaan rata-rata lebih tinggi, yaitu $62,8^\circ\text{C}$, suhu maksimum $89,3^\circ\text{C}$. Sebaliknya, metode pengeringan terbuka, suhu permukaan rata-rata $48,7^\circ\text{C}$ untuk ukuran 5 cm (Tbbsd-b1), dan $51,6^\circ\text{C}$ untuk ukuran 0,475 cm (Tbbsd-k1). Penurunan kadar moisture pada pengeringan solar dryer mencapai 15,1% sampel 5 cm (dMoist.bbnc-b1) dan 15,5% sampel 0,475 cm (dMoist.bbnc-k1). Pengeringan langsung di bawah sinar matahari mengalami penurunan moisture sebesar 9,9% untuk ukuran 5 cm (dMoist.bbsd-b1) dan 13% untuk ukuran 0,475 cm (dMoist.bbsd-k1).



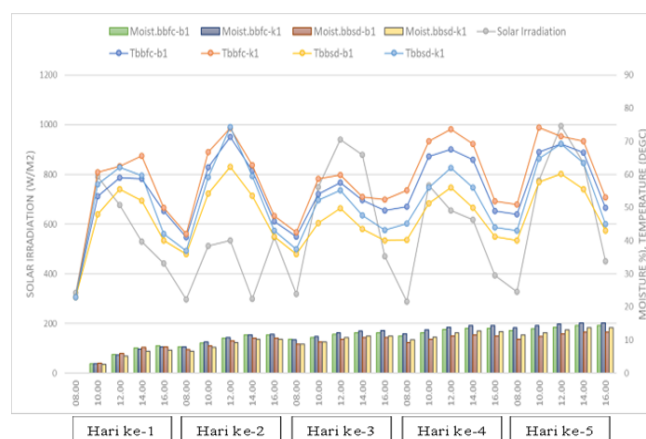
Gambar 5. Grafik Irradiation, temperature permukaan, dan penurunan moisture batubara hasil penggunaan solar dryer atap akrilik sirkulasi udara alami, dan terbuka untuk sampel uji batubara (a) berat sampel 1 kg, (b) 2kg, dengan masing – masing 2 jenis ukuran sampel yaitu 5 cm, dan 0,475

Pada percobaan kedua menggunakan sampel dengan berat 2kg. Mengacu pada gambar 5b, dimana selama proses pengeringan tingkat solar irradiation rata – rata 686 W/m² (nilai terendah 299W/m², dan tertinggi 951W/m²). Dengan temperature permukaan batubara rata – rata untuk masing – masing sampel mencapai 64,1°C (Tbbnc-b2), 64,6°C (Tbbnc-k2), 47,6°C (Tbbds-b2), dan 51,1°C (Tbbds-k2). Pada hari kelima diperoleh penurunan kadar moisture sebesar 12,2% ukuran sampel 5 cm (dMoist.bbnc-b2), dan 10,5% untuk ukuran sampel 0,475cm (dMoist.bbnc-k2). Sedangkan sampel batubara yang berada di bawah sinar matahari langsung diperoleh penurunan moisture sebesar 8,9% % untuk ukuran sampel 5 cm (dMoist.bbsd-b2), dan 8,25% untuk ukuran sampel 0,475cmc (dMoist.bbsd-k2).

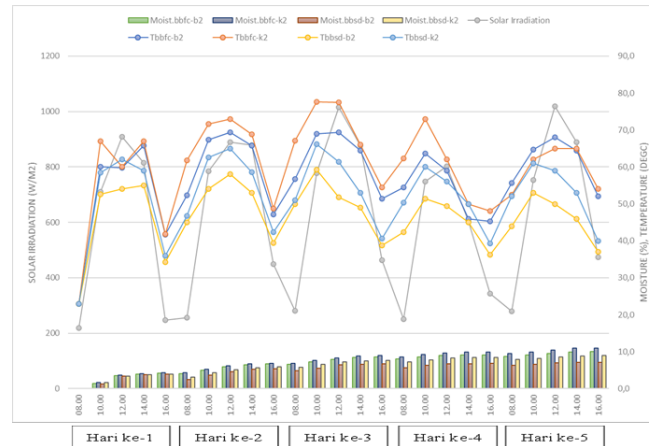
2) Solar dryer atap akrilik sirkulasi udara paksa

Gambar 6.a merupakan hasil pengeringan solar dryer variasi kedua yang menggunakan atap akrilik dengan sirkulasi udara paksa (forced circulation), dimana masuk dan keluarnya udara di dalam ruang solar dryer disedot oleh kipas yang terpasang di sisi belakang. Selama lima hari pengamatan, peneringan solar dryer ini menunjukkan hasil yang lebih efektif dibandingkan pengeringan terbuka di bawah sinar matahari langsung. Dalam uji coba ini, digunakan sampel batubara seberat 1 kg dengan dua ukuran berbeda, yaitu 5 cm dan 0,475 cm. Intensitas radiasi matahari rata-rata sebesar 653 W/m² (dengan nilai minimum 812 W/m² dan maksimum 1005 W/m²) mampu meningkatkan suhu permukaan batubara berukuran 5 cm (Tbbfc-b1) hingga rata-rata 55°C, di mana suhu tertinggi mencapai 71,3°C dan terendah 30°C. Sementara itu, untuk ukuran 0,475 cm (Tbbfc-k1), suhu rata-rata permukaan naik menjadi 58,5°C, dengan suhu maksimum 84,2°C dan minimum 30°C. Sebagai perbandingan, pada pengeringan terbuka, suhu rata-rata permukaan batubara adalah 47°C untuk ukuran 5 cm (Tbbds-b1) dan 52°C untuk ukuran 0,475 cm (Tbbds-k1).

Pengurangan kadar moisture diperoleh sebesar 14,4% untuk ukuran 5cm (dMoist.bbfc-b1), dan 15,2% untuk ukuran 0,475cm (dMoist.bbfc-k1). Sedangkan sampel di tempat terbuka diperoleh penurunan moisture sebesar 12,4% untuk ukuran 5cm (dMoist.bbsd-b1), dan 13,7% untuk ukuran 0,475cm (dMoist.bbsd-k1).



Study Pengaruh Penggunaan Teknologi Solar Power Dryer terhadap Kandungan Moisture Batubara Di PLTU Tanjung Jati B



Gambar 6. Grafik Irradiation, temperature permukaan, dan penurunan moisture batubara hasil penggunaan solar dryer atap akrilik sirkulasi udara paksa, dan terbuka untuk sampel uji batubara (a) berat sampel 1 kg, (b) 2kg, dengan masing – masing sampel ada 2 jenis ukuran yaitu 5 cm, dan 0,475

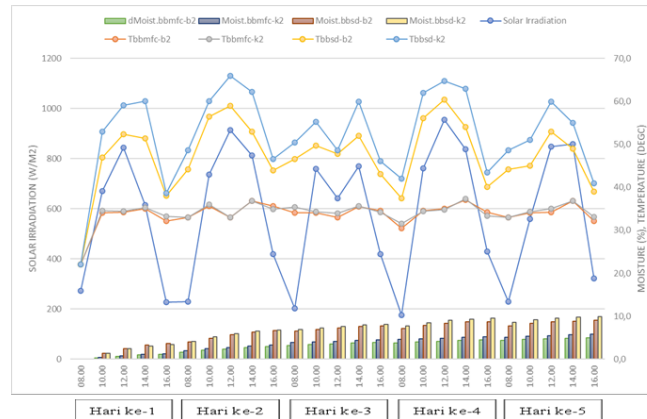
Untuk percobaan kedua dengan berat sampel 2kg sesuai dengan gambar 6b, dimana selama proses pengeringan tingkat solar irradiation rata – rata 659W/m² (nilai terendah 248W/m², dan tertinggi 1019W/m²), mampu meningkatkan suhu permukaan batubara berukuran 5 cm (Tbbfc-b2) hingga rata-rata 57°C, di mana suhu tertinggi mencapai 69,4°C dan terendah 30°C. Sementara itu, untuk ukuran 0,475 cm (Tbbfc-k2), suhu rata-rata permukaan naik menjadi 60,8°C, dengan suhu maksimum 77,6°C dan minimum 30°C. Sebagai perbandingan, pada pengeringan terbuka, suhu rata-rata permukaan batubara adalah 46,9°C untuk ukuran 5 cm (Tbbd-b2) dan 52,3°C untuk ukuran 0,475 cm (Tbbd-k2).

Sementara itu, penurunan moisture sebesar 10,1% untuk ukuran 5cm (dMoist.bbfc-b2), dan 11% ukuran 0,475cm (dMoist.bbfc-k2). Sementara untuk sampel di tempat terbuka diperoleh penurunan moisture 7,2% untuk ukuran 5cm (dMoist.bbsd-b2), dan 8,95% untuk ukuran 0,475cm (dMoist.bbsd-k2).

3) Solar dryer atap galvalume sirkulasi udara paksa

Solar dryer variasi ketiga menggunakan atap bahan galvalume dengan sirkulasi udara paksa (forced circulation). Pada percobaan ini hanya menggunakan sampel dengan berat 2kg. Dimana selama 5 hari pengamatan, rata – rata tingkat solar irradiation sebesar 612W/m² (nilai terendah 176W/m², dan tertinggi 955W/m²), diperoleh kenaikan temperature permukaan batubara berukuran 5cm (Tbbmfc-b2) rata-rata 33,8°C, dengan temperature tertinggi 37,1°C, dan minimum 30°C. Untuk ukuran 0,475cm (Tbbmfc-k2), temperature rata-rata 34°C, dengan suhu maksimum 37,3°C, dan minimum 30°C.

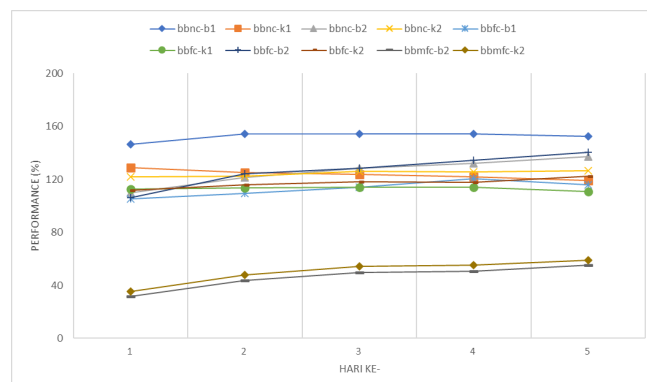
Penurunan moisture batubara sebesar 5% untuk ukuran 5cm (dMoist.bbmfc-b2), dan 5,8% untuk ukuran 0,475cm (dMoist.bbmfc-k2). Sedangkan sampel yang berada di ruang terbuka memberikan hasil yang lebih baik daripada solar dryer variasi ini, dimana mengalami penurunan moisture sebesar 9,1% untuk ukuran 5cm (dMoist.bbsd-b2), dan 9,85% untuk ukuran 0,475cm (dMoist.bbsd-k2).



Gambar 7. Grafik Irradiation, temperature permukaan, dan penurunan moisture batubara hasil penggunaan solar dryer atap akrilik sirkulasi udara paksa, dan terbuka untuk sampel uji batubara 2kg, dengan 2 jenis ukuran yaitu 5 cm, dan 0,475

Unjuk Kerja Solar Dryer

Unjuk kerja pengeringan pada setiap variasi solar dryer diperoleh dengan cara membandingkan besarnya moisture yang bisa diturunkan oleh solar dryer dengan hasil pengeringan di bawah sinar matahari langsung (terbuka) sebagaimana yang ditunjukkan oleh gambar 8.



Gambar 8. Grafik Irradiation, temperature permukaan, dan penurunan moisture batubara hasil penggunaan solar dryer atap akrilik sirkulasi udara paksa, dan terbuka untuk sampel uji batubara 2kg, dengan 2 jenis ukuran yaitu 5 cm, dan 0,475

Pada hari pertama, unjuk kerja pengeringan terbaik dicapai oleh solar dryer tipe bbnc (atap akrilik sirkulasi udara alami) dengan nilai tertinggi sebesar 146,3% pada sampel ukuran besar (bbnc-b1) dan 128,8% pada ukuran kecil (bbnc-k1). Tipe bbfc (atap akrilik sirkulasi udara paksa) menunjukkan performa pengeringan yang stabil dengan nilai sekitar 105,1-112,9%, sedikit di bawah bbnc. Solar dryer dengan atap galvalume dan sirkulasi udara paksa (bbmfc) memiliki unjuk kerja paling rendah, terutama untuk ukuran besar, dengan nilai 31,5-35,3%. Pada hari kedua, semua tipe menunjukkan peningkatan, terutama bbmfc yang mencapai 43,6-47,8%, menunjukkan adanya akumulasi panas pada material galvalume. Tipe bbnc masih unggul, dengan nilai hingga 154,2% pada bbnc-b1, sementara bbfc meningkat tipis ke sekitar 109,4-116,0%.

Pada hari ketiga, kinerja bbnc relatif stabil pada kisaran 123,7-154,3%, menandakan efektivitas akrilik dengan sirkulasi alami dalam mempertahankan suhu yang tinggi. bbfc tetap meningkat, mencapai hingga 128,4% untuk bbfc-b2. Untuk solar dryer bbmfc juga

terus menunjukkan perbaikan, dengan unjuk kerja mencapai 49,7-54,6%, namun masih tertinggal dari tipe berbasis akrilik. Pada hari keempat, bbnc mencapai unjuk kerja tertinggi pada bbnc-b2 sebesar 132,0%, sementara bbfc mulai menunjukkan efisiensi tinggi dengan nilai maksimal 134,6% untuk ukuran besar (bbfc-b2). Solar dryer bbmfc stabil dengan nilai sekitar 50,9-55,3%.

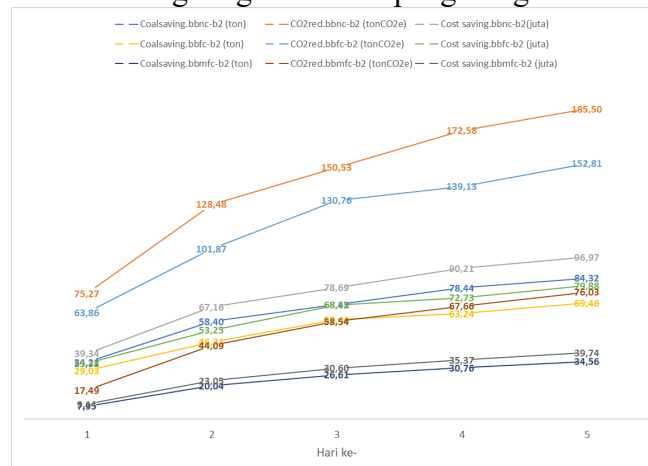
Pada hari kelima, bbnc sedikit menurun ke 152,5% pada bbnc-b1, yang menunjukkan bahwa kondisi pengeringan mungkin telah mencapai titik jenuh. bbfc terus meningkat hingga 140,6% pada ukuran besar (bbfc-b2), mengindikasikan bahwa sirkulasi paksa pada atap akrilik mampu mempertahankan efisiensi pengeringan tinggi hingga akhir. Solar dryer bbmfc mencapai nilai tertinggi 55,2-58,9%, yang masih lebih rendah dari dua tipe lainnya.

Kinerja solar dryer didasarkan pada perpindahan panas melalui konduksi, konveksi, dan radiasi. Radiasi matahari yang menembus atap (akrilik atau galvalume) memanaskan udara dan permukaan batubara, dengan konveksi udara menyebarkan panas dan menguapkan kelembapan. Solar dryer dengan atap akrilik pada bbnc dan bbfc meningkatkan efek rumah kaca, mempercepat penguapan kelembapan melalui peningkatan suhu internal. Sirkulasi paksa pada bbfc belum cukup mampu meningkatkan efisiensi pelepasan kelembapan untuk menghasilkan performa pengeringan (Ameri et al., 2020; Bangura et al., 2022; Song et al., 2016). Penempatan, kapasitas, lubang ventilasi, dan pengoperasian kipas pada sirkulasi paksa perlu disesuaikan lagi untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

Di sisi lain, kondisi angin juga mempengaruhi proses pengeringan khususnya pada sirkulasi alami. Pada percobaan ini, sirkulasi alami menunjukkan hasil yang lebih optimal karena kondisi angin sangat membantu proses sirkulasi udara dalam ruang solar dryer.

Pengaruh terhadap aspek operasional pembangkit

Penurunan kadar moisture batubara dengan solar dryer dapat mengurangi rugi panas saat pembakaran di boiler, yang berpotensi menghemat pemakaian batubara dalam produksi listrik. Dampaknya adalah keuntungan ekonomi melalui penurunan biaya produksi listrik dan manfaat lingkungan melalui pengurangan emisi karbon.



Gambar 9. Grafik besarnya potensi penghematan biaya produksi listrik dan penurunan emisi gas CO2 setelah proses pengeringan oleh solar dryer

Gambar 9 menunjukkan bahwa setelah 5 hari pengeringan batubara, masing-masing variasi solar dryer berpotensi memberikan penghematan biaya produksi listrik harian, yaitu Rp. 97 juta untuk atap akrilik dengan sirkulasi alami, Rp. 79,9 juta dengan sirkulasi

paksa, dan Rp. 39,7 juta untuk atap galvalume dengan sirkulasi paksa. Potensi pengurangan emisi CO₂ masing-masing sebesar 185 tonCO₂e, 152,81 tonCO₂e, dan 76,03 tonCO₂e.

Kesimpulan

Penelitian ini mengembangkan prototype solar dryer jenis greenhouse yang dioptimalkan untuk pengeringan skala besar, sehingga cocok diterapkan pada proses pengeringan batubara di lokasi penyimpanan pembangkit (Coal Yard). Hasil menunjukkan bahwa solar dryer atap akrilik dengan sirkulasi udara alami memberikan performa optimal, menurunkan kadar moisture batubara sebesar 15,1% (5 cm) dan 15,5% (0,475 cm) pada percobaan pertama dengan berat sampel 1 kg, serta 12,2% (5 cm) dan 10,5% (0,475 cm) pada percobaan kedua dengan berat 2 kg, dibandingkan dengan pengeringan terbuka yang masing-masing hanya 9,9% dan 13%, serta 8,9% dan 8,25%. Sementara itu, solar dryer dengan atap akrilik dan sirkulasi paksa menunjukkan penurunan moisture sebesar 14,4% (5 cm) dan 15,2% (0,475 cm) pada percobaan pertama (1 kg), dan 10,1% (5 cm) dan 11% (0,475 cm) pada percobaan kedua (2 kg). Di sisi lain, solar dryer atap galvalume dengan sirkulasi paksa menunjukkan hasil terendah, dengan penurunan moisture 5% (5 cm) dan 5,8% (0,475 cm) pada percobaan kedua (2 kg), lebih rendah dibandingkan pengeringan terbuka yang mencapai 9,1% dan 9,85%. Secara keseluruhan, solar dryer atap akrilik lebih efisien dibandingkan pengeringan terbuka, dengan potensi penghematan biaya hingga Rp97 juta per hari dan pengurangan emisi CO₂e sebesar 185 ton setelah lima hari pengeringan.

Penelitian lanjutan disarankan untuk mempertahankan ukuran batubara 5 cm yang umum digunakan di coal yard, dengan menambahkan variasi berat sampel agar lebih mendekati kondisi aktual. Pada solar dryer yang dilengkapi kipas sirkulasi udara, perlu diperhatikan penempatan, kapasitas, serta pengaturan operasional kipas, dengan mempertimbangkan perbedaan kelembapan antara lingkungan luar dan ruang pengering untuk mencapai efisiensi pengeringan yang optimal.

BIBLIOGRAFI

- Ameri, B., Hanini, S., & Boumahdi, M. (2020). Influence of drying methods on the thermodynamic parameters, effective moisture diffusion and drying rate of wastewater sewage sludge. *Renewable Energy*, 147. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.09.072>
- Badaoui, O., Hanini, S., Djebli, A., Haddad, B., & Benhamou, A. (2019). Experimental and modelling study of tomato pomace waste drying in a new solar greenhouse: Evaluation of new drying models. *Renewable Energy*, 133. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.10.020>
- Bangura, A. B. M., Hantoro, R., Fudholi, A., & Uwitije, P. D. (2022). Parametric Study Of A Solar Dryer System For The Development And Application Of Solar Energy In Sierra Leone. *Journal of Applied Engineering Science*, 20(2). <https://doi.org/10.5937/jaes0-33614>
- Bureska-Joleska, L. (2017). Influence of coal quality to the boiler efficiency and opportunity for its improvement. *Termotehnika*, 43(1–4). <https://doi.org/10.5937/termoteh1704059b>
- Dharmadurai, P. L., Vasanthaseelan, S., Bharathwaaj, R., Dharmaraj, V., Gnanasekaran, K., Balaji, D., & Sathyamurthy, R. (2021). A comparative study on solar dryer using external reflector for drying grapes. *Materials Today: Proceedings*, 50. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.197>
- Guo, X., Li, K., Zhou, P., Liang, J., Gu, J. N., Xue, Y., Guo, M., Sun, T., & Jia, J. (2022). Insight into the Enhanced Removal of Water from Coal Slime via Solar Drying Technology:

- Dewatering Performance, Solar Thermal Efficiency, and Economic Analysis. *ACS Omega*, 7(8). <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c06197>
- IEA. (2024). Electricity 2024: Analysis and forecast to 2026. *IEA Publications*.
- Ismail, M. I., Yunus, N. A., & Hashim, H. (2021). Integration of solar heating systems for low-temperature heat demand in food processing industry – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 147. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111192>
- Karthikeyan, G., & Jagadeeshwaran, A. (2024). Enhancing Solar Energy Generation: A Comprehensive Machine Learning-Based PV Prediction and Fault Analysis System for Real-Time Tracking and Forecasting. *Electric Power Components and Systems*, 52(9). <https://doi.org/10.1080/15325008.2023.2293947>
- Lu, H., Guo, X., Jin, Y., & Gong, X. (2018). Effect of moisture on flowability of pulverized coal. *Chemical Engineering Research and Design*, 133. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2018.03.023>
- Nabnean, S., & Nimnuan, P. (2020). Experimental performance of direct forced convection household solar dryer for drying banana. *Case Studies in Thermal Engineering*, 22. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100787>
- Song, Z., Jing, C., Yao, L., Zhao, X., Wang, W., Mao, Y., & Ma, C. (2016). Microwave drying performance of single-particle coal slime and energy consumption analyses. *Fuel Processing Technology*, 143. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2015.11.012>
- Tahmasebi, A., Yu, J., Li, X., & Meesri, C. (2011). Experimental study on microwave drying of Chinese and Indonesian low-rank coals. *Fuel Processing Technology*, 92(10). <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.04.004>
- Tian, Y., & Zhao, C. Y. (2013). A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications. *Applied Energy*, 104. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.11.051>
- Wang, P., Mohammed, D., Zhou, P., Lou, Z., Qian, P., & Zhou, Q. (2019). Roof solar drying processes for sewage sludge within sandwich-like chamber bed. *Renewable Energy*, 136. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.09.081>
- Weiss, W., & Schwarzmüller, A. (2002). Solar energy co-operation Austria–Zimbabwe. A contribution to sustainable development. *Symposium on Renewable Energy in Developing Countries*, 100.
- Xu, C., Xu, G., Zhu, M., Dong, W., Zhang, Y., Yang, Y., & Zhang, D. (2016). Thermodynamic analysis and economic evaluation of a 1000 MW bituminous coal fired power plant incorporating low-temperature pre-drying (LTPD). *Applied Thermal Engineering*, 96. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.11.046>
- Yuan, Z., Liu, J., Zhang, Q., Liu, Y., Yuan, Y., & Li, Z. (2021). Prediction and optimisation of fuel consumption for inland ships considering real-time status and environmental factors. *Ocean Engineering*, 221. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2020.108530>

Copyright holder:

Sutomo, Ridho Hantoro (2025)

First publication right:

Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia

This article is licensed under:

