

Pengaruh *Co-Firing Bagasse* pada Batubara Terhadap Efisiensi Boiler

Maulana Syafa Aditya¹, Margianto², Nur Robbi³

¹²³ Universitas Islam Malang

email: 22001052030@unisma.ac.id margianto@unisma.ac.id

nurrobby@unisma.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan energi yang bisa diperbarui sebagai pengganti bahan bakar fosil menjadi taktik penting dalam menggapai sasaran campuran energi secara nasional. Salah satu cara yang dipakai ialah *co-firing*, adalah pembakaran bersama antara batu bara dan biomassa. Riset ini memiliki tujuan untuk mengenali pengaruh dari pencampuran bagasse (ampas tebu) sebanyak 25% dengan batu bara bitumen 75% terhadap efisiensi boiler. Cara riset yang dipakai CHONS *Analyzer* melibatkan analisis termodinamika berdasar pada data keseimbangan panas di sistem boiler skala laboratorium. Variabel yang dianalisis mencakup nilai kalor tinggi (HHV), nilai kalor rendah (LHV), ukuran aliran massa bahan bakar, kebutuhan udara teoretis, dan juga efisiensi pembakaran dan efisiensi boiler. Hasil memperlihatkan bahwa pencampuran bagasse memberi sumbangsih dalam meningkatkan efisiensi energi, meskipun nilai kalor bagasse lebih rendah dibandingkan batu bara. Penambahan komponen semacam air heater juga berperan penting dalam meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem boiler. Riset ini memberi sumbangsih terhadap pengembangan teknologi *co-firing* di pembangkit listrik tenaga uap sebagai upaya dekarbonisasi energi yang berbasis batu bara.

Kata Kunci: *Co-firing*, Ampas Tebu, Batubara Bitumen, Efisiensi Boiler, Biomassa

ABSTRACT

The use of renewable energy as a substitute for fossil fuels is an important tactic in achieving the national energy mix target. One method used is co-firing, which is the joint combustion of coal and biomass. This research aims to identify the effect of mixing 25% bagasse with 75% bituminous coal on boiler efficiency. The research method used by the CHONS Analyzer involves thermodynamic analysis based on heat balance data in a laboratory-scale boiler system. The variables analyzed include high calorific value (HHV), low calorific value (LHV), fuel mass flow rate, theoretical air requirement, and combustion and boiler efficiency. The results show that blending bagasse contributes to increased energy efficiency, despite its lower calorific value than coal. The addition of components such as an air heater also plays a significant role in increasing the overall efficiency of the boiler system. This research contributes to the development of co-firing technology in steam power plants as an effort to decarbonize coal-based energy.

Keywords: *Co-firing*, Bagasse, Bituminous Coal, Boiler Efficiency, Biomass

PENDAHULUAN

Masalah krisis energi serta tekanan terhadap lingkungan dunia mendorong negara-negara, termasuk Indonesia, untuk mencari solusi yang berkelanjutan di sektor energi. Menurut Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), pemerintah Indonesia menargetkan campuran energi baru terbarukan (EBT) sebesar 23% di tahun 2025 dan meningkat menjadi 31% di tahun 2050 (Kementerian ESDM, 2020). Salah satu strategi utama yang dirancang untuk mencapai target tersebut ialah melalui penerapan teknologi co-firing, yakni pembakaran campuran antara bahan bakar fosil (seperti batu bara) menggunakan biomassa.

Batu bara masih menjadi sumber energi utama di sistem kelistrikan Indonesia karena ketersediaannya yang banyak, harga yang cukup stabil, dan infrastruktur PLTU yang sudah mapan. Namun, penggunaan batu bara pun menyumbang emisi karbon yang cukup besar. Karena itu, untuk meminimalisir efek lingkungan tanpa harus mengganti semua sistem PLTU, teknologi co-firing dikenalkan sebagai pendekatan transisi energi yang efektif dan efisien (Triani, 2013).

Salah satu jenis biomassa yang berpotensi untuk dikombinasikan dengan batu bara ialah bagasse, yakni ampas tebu yang merupakan limbah dari industri gula. Indonesia sebagai negara agraris punya potensi limbah pertanian yang sangat besar, termasuk dari perkebunan tebu yang tersebar di berbagai wilayah. Menurut Apriliani (2010), bagasse mengandung karbon sekitar 44,89%, hidrogen 5%, oksigen 44%, dan mempunyai kandungan air serta abu yang

masih bisa diatur. Meski nilai kalor bagasse lebih rendah dari batu bara (sekitar 17.000 kJ/kg dibandingkan 30.000 kJ/kg), sifat pembakarannya yang stabil menjadikannya biomassa yang tepat digunakan dalam sistem boiler.

Beberapa studi sebelumnya menunjukkan bahwa co-firing batu bara dan biomassa bukan hanya menurunkan emisi gas buang seperti CO₂, SO₂ dan NO_x, tetapi juga dapat meningkatkan efisiensi pembakaran dan menurunkan biaya operasional. Studi oleh Riris Destalia et al. (2024) di PLTU Rembang memperlihatkan bahwa penambahan bagasse sebanyak 2,5% mampu menurunkan emisi SO₂ dan NO_x serta menghemat biaya produksi listrik. Studi lain oleh Rangga Hatta Suarga et al. (2023) juga memperlihatkan bahwa peningkatan fraksi biomassa hingga 20% menurunkan temperatur gas buang dan kandungan emisi berbahaya, membuat sistem pembangkit lebih ramah lingkungan.

Namun, penerapan co-firing tidak selamanya linier dalam meningkatkan performa termal. Faktor-faktor seperti karakteristik bahan bakar, desain ruang bakar, dan juga kecepatan aliran massa dan udara mempengaruhi efisiensi sistem. Karena itu, dibutuhkan studi mendalam yang meneliti efek pencampuran bagasse dengan batu bara terhadap efisiensi sistem boiler berdasarkan pendekatan termodinamika, khususnya dalam konteks laboratorium yang terkontrol.

Studi ini dilaksanakan untuk menganalisis efek co-firing campuran batu bara bitumen 75% dengan bagasse 25% terhadap efisiensi boiler menggunakan

pendekatan keseimbangan panas. Selain itu, studi ini pun meneliti peran air heater dalam meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem. Hasil dari studi ini diharapkan dapat memberikan dasar teknis bagi penerapan co-firing secara lebih luas di pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), serta berkontribusi terhadap program dekarbonisasi energi nasional.

METODE DAN MATERIAL

Penelitian ini menerapkan metode eksperimen kuantitatif yang berlandaskan termodinamika. Pendekatan heat balance analysis (analisis keseimbangan panas) digunakan pada sistem boiler skala laboratorium. Sasaran utama riset ini adalah untuk menganalisis dampak perpaduan bagasse dan batubara terhadap efisiensi boiler, baik sebelum dan sesudah diaplikasikannya air heater. Data yang terkumpul dianalisis dengan berpegang pada prinsip hukum konservasi energi dalam sistem tertutup. Efisiensi dihitung berdasarkan energi yang masuk dan energi yang dimanfaatkan pada berbagai bagian boiler.

Penelitian dilaksanakan dalam skala laboratorium dengan memakai beberapa alat, meliputi: Digital Bomb Calorimeter merek Athena Technology dan CHONS Analyzer (untuk mengidentifikasi karakteristik kimia bahan bakar), timbangan analitik digital, blower udara berikut kontrol aliran, dan juga software pendukung perhitungan (yakni MS Excel dan Python Scripting).

Studi ini menggunakan biomassa yang berasal dari limbah ampas tebu. Selain itu, digunakan batubara bitumen sebagai

campuran dengan persentase terbanyak, yakni 75% bitumen dan 25% ampas tebu. Batubara bitumen dan bagasse dikeringkan terlebih dahulu dengan tujuan untuk mengurangi kadar airnya. Kemudian, kedua bahan tersebut digiling sampai menjadi serbuk yang halus dan homogen. Sampel yang sudah disiapkan dianalisis menggunakan CHONS Analyzer guna mengetahui kandungan unsur-unsur seperti C, H, O, N, dan S.

Selanjutnya, dilakukan perhitungan nilai kalor (HHV dan LHV) dengan menggunakan rumus Dulong. Uji pembakaran dilaksanakan dua kali dengan komposisi: 100% batubara bitumen dan campuran 75% batubara + 25% bagasse. Data temperatur serta tekanan dicatat secara berkala selama proses pembakaran berlangsung.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ampas tebu memiliki kandungan karbon yang lebih rendah, tetapi kadar oksigen dan hidrogennya tinggi, yang berarti meskipun nilai kalornya lebih rendah, pembakarannya lebih ramah lingkungan dan menghasilkan uap yang lebih bersih. Pencampuran ampas tebu menghasilkan penurunan nilai HHV sebesar 10,64%. Meskipun demikian, pencampuran ini tetap menghasilkan nilai energi yang cukup tinggi untuk digunakan dalam sistem boiler pembangkit listrik skala kecil. Campuran ampas tebu mengurangi kebutuhan udara teoritis. Hal ini menunjukkan bahwa ampas tebu memiliki pembakaran yang relatif efisien ketika dicampur secara proporsional. Penambahan pemanas air menghasilkan peningkatan efisiensi sebesar +11,48%.

Komponen ini penting untuk memanfaatkan panas buang dari gas buang guna memanaskan udara yang masuk, sehingga pembakaran menjadi lebih efisien.

Meskipun ampas tebu memiliki nilai kalor yang lebih rendah, pencampurannya dengan batu bara dalam rasio yang tepat tetap menghasilkan efisiensi yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa ampas tebu dapat menjadi sumber energi alternatif untuk pembakaran bersama (co-firing) di pembangkit listrik.

Pemanas air telah terbukti meningkatkan pemanfaatan panas buang, sehingga meningkatkan efisiensi boiler. Teknologi ini sangat cocok untuk digunakan dalam sistem yang menggunakan biomassa bernilai kalor rendah. Temuan ini menunjukkan bahwa penggunaan ampas tebu dalam skala industri dimungkinkan, asalkan dikombinasikan dengan komponen efisiensi seperti pemanas air dan kontrol AFR yang optimal.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan dalam penelitian tentang pengaruh *co-firing Baggase* pada batubara terhadap efisiensi boiler, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut. Penambahan *air heater* pada sistem pembakaran berhasil meningkatkan efisiensi boiler untuk semua variasi bahan bakar yang digunakan, baik batubara murni maupun campuran.

Efisiensi tertinggi dicapai pada pembakaran batubara bitumen murni dengan nilai efisiensi sebesar 97% setelah penambahan *air heater*, mengalami kenaikan dari kondisi awal sebesar 95%.

Pada campuran batubara bitumen

75% dengan 25% *Baggase*, efisiensi meningkat dari 90% menjadi 92% setelah penambahan *air heater*. Ini menunjukkan bahwa co-firing dengan persentase 25% masih cukup optimal meningkatkan efisiensi sistem.

Secara umum, penggunaan *Baggase* sebagai bahan bakar alternatif dalam proses *co-firing* dapat menekan ketergantungan terhadap batubara fosil, mendukung program energi baru terbarukan, dan tetap menjaga efisiensi boiler pada tingkat yang dapat diterima.

UCAPAN TERIMAKASIH

Dengan penuh rasa syukur, penulis mengucapkan banyak terimakasih yang sebesar besarnya kepada Bapak Ir. Margianto, M.T. dan Bapak Nur Robbi, S. T., M.T. dan ibu Dr. Ena Marlina, S.T., M.T. serta keluarga dan semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam penyelesaian penelitian ini

DAFTAR PUSTAKA

- Riris Destalia, et al. (2024). *Analisa Karakteristik Pengujian Co-Firing Biomassa Bagasse Tebu di PLTU Rembang*.
- Rangga Hatta Suarga, et al. (2023). *Analisis CFD Co-Firing Biomassa Batok Kelapa pada Stoker Boiler*.
- Triani, A. (2013). *Pemanfaatan Biomassa untuk Energi Terbarukan*.
- Sukandarrumidi (1995). *Batubara dan Pembentukannya*.
- Dedy Eka Priyanto (2015). *Sistem Boiler dalam PLTU*.
- Xiao, G. et al. (2019). *Economizer and Heat Recovery Systems in Thermal Power Plants*.

- Amri Rosyid Susetyo, Chairul Nas, & Suliestyah. (2020). *Analisis Kebutuhan Udara Untuk Pembakaran Batu Bara Pada Boiler Unit 3 Di Pltu Suralaya*. 3(2).
- Asmudi. (2009). *Efisiensi Boiler Dan Perhitungan Kehilangan Energi Pada Sistem Boiler*.
- Belin, E. (2002). *Superheater Design And Operation In Steam Boilers*.
- Billah, M. (2010). *Peningkatan Nilai Kalori Batubara Peringkat Rendah Dengan Menggunakan Minyak Tanah Dan Minyak Residu*. Universitas Pembangunan Nasional (Upn) "Veteran."
- Borman, G. L., & Ragland, K. W. (1998). *Combustion Engineering*. Mcgraw-Hill.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). *Thermodynamics: An Engineering Approach* (8th Ed.). Mcgraw-Hill Education.
- Culp, A. (1991). *Principles Of Energy Conversion* (2nd Ed.). Mcgraw-Hill.