POLICY BRIEF

ARIF RAHMAN SALEH
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

KEMANDIRIAN ENERGI DESA DARI LIMBAH KOPI: TEKNOLOGI GASIFIKASI DOWNDRAFT MULTI-STAGE UNTUK INDUSTRI HIJAU JAWA TENGAH

Ringkasan Eksekutif

Jawa Tengah merupakan salah satu sentra kopi nasional dengan sentra produksi di Temanggung, Magelang, Wonosobo, Semarang, dan Banjarnegara. Namun, sekitar 35% dari proses pengolahan kopi berakhir sebagai limbah kulit kopi yang selama ini dibuang atau dibakar terbuka sehingga menimbulkan pencemaran dan kehilangan nilai ekonomi. Di sisi lain, banyak desa penghasil kopi masih rentan terhadap akses energi yang andal. Karya riset yang telah dipublikasikan pada jurnal internasional bereputasi ini membuktikan melalui simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) bahwa limbah kulit kopi dapat dikonversi menjadi gas sintetis (syngas) berkualitas menggunakan reaktor gasifikasi downdraft multi-stage. Pada kondisi operasi optimal (rasio udara–bahan bakar/AFR 1,03 dan rasio ekuivalensi/ER 2,5), reaktor menghasilkan syngas dengan kandungan CO 23,5%, H_2 4,8%, CH_4 2,9%, dan nilai kalor (LHV) tertinggi 4,52 MJ/m³, dengan pembentukan tar yang sangat rendah (≤50 mg/Nm³, sekitar 40 kali lebih rendah dari gasifier konvensional). Teknologi ini bukan sekadar konsep: telah diwujudkan dalam prototipe PLT Biomassa 10–60 kW, dilindungi tiga Hak Cipta, serta diuji bersama mitra desa (Koperasi Petarangan Farm) dan Dinas Lingkungan Hidup Kota Magelang. Brief ini merekomendasikan agar Pemerintah Provinsi Jawa Tengah bersama pemerintah kabupaten/kota menjadikan konversi limbah biomassa kopi menjadi energi sebagai instrumen kebijakan kemandirian energi desa dan industri hijau selaras dengan Visi “Jawa Tengah Maju dan Berkelanjutan menuju Indonesia Emas 2045” dan program “Jateng Makmur”.

PENDAHULUAN

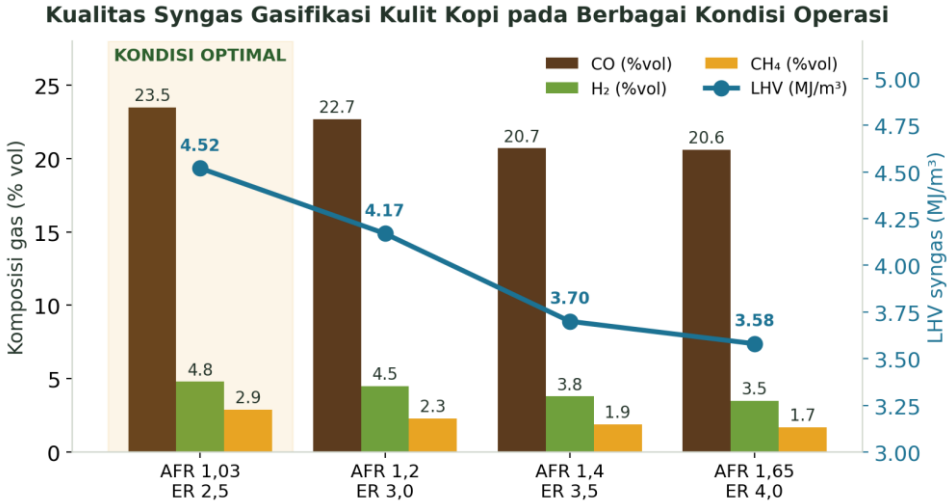
Kopi adalah komoditas perkebunan unggulan berbasis potensi desa di Jawa Tengah. Produksi kopi Indonesia pada 2022 mencapai sekitar 775 ribu ton, dan proses pengolahannya menghasilkan limbah kulit kopi hingga 35% dari total bahan. Limbah biomassa ini melimpah namun belum tertangani secara optimal umumnya dibiarkan menumpuk atau dibakar, sehingga menimbulkan beban pencemaran lingkungan sekaligus menghilangkan potensi nilai tambah ekonomi bagi petani.

Gasifikasi adalah proses termokimia yang mengubah biomassa menjadi syngas campuran gas mudah terbakar (CO, H_2, CH_4) yang dapat menggantikan bahan bakar fosil pada pembangkit listrik dan mesin. Kendala utama gasifier konvensional adalah tingginya kandungan tar yang merusak mesin. Reaktor downdraft multi-stage menjawab kendala tersebut: dengan membagi proses ke dalam zona pirolisis, oksidasi, dan reduksi yang terkendali, pembentukan tar dapat ditekan secara drastis sehingga syngas yang dihasilkan jauh lebih bersih dan andal.

Brief ini menerjemahkan temuan riset tersebut menjadi rekomendasi kebijakan pembangunan daerah. Substansinya selaras dengan RPJMD Provinsi Jawa Tengah 2025–2029 (Misi 2 pertumbuhan ekonomi pedesaan berbasis sektor unggulan yang inovatif, mandiri, dan berkelanjutan; pengembangan industri hijau; peningkatan produktivitas desa berbasis riset dan inovasi; serta pencegahan food loss and waste) dan dengan Visi Kota Magelang 2025–2029 (Misi peningkatan infrastruktur yang inovatif dan berwawasan lingkungan, serta klaster program “Ngrawat Magelang” yang menekankan energi terbarukan dan optimalisasi manajemen persampahan)

TEMUAN DAN PEMBAHASAN

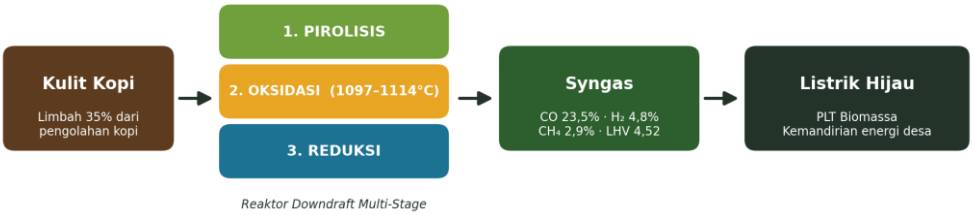
Kajian dilakukan melalui simulasi CFD pada reaktor downdraft tiga zona, dengan validasi komparatif terhadap studi gasifikasi biomassa yang telah tereksperimen untuk menjamin kredibilitas hasil. Variasi AFR (1,03–1,65) dan ER (2,5–4,0) dievaluasi terhadap distribusi suhu, tekanan, kecepatan aliran, dan komposisi gas.



Kondisi operasi optimal tercapai pada AFR 1,03 dan ER 2,5, menghasilkan syngas terkaya (CO 23,5%; H_2 4,8%; CH_4 2,9%) dengan LHV tertinggi 4,52 MJ/m³. Peningkatan AFR dan ER menurunkan LHV karena reaksi oksidasi yang lebih intensif menekan konsentrasi gas mudah terbakar. Suhu tertinggi terjadi di zona oksidasi (1097–1114°C) yang memfasilitasi reaksi eksotermik, sementara zona reduksi menyediakan kondisi ideal bagi pembentukan CO dan H_2.

Kondisi operasi	CO (%vol)	H_2 (%vol)	CH_4 (%vol)	LHV (MJ/m³)
AFR 1,03 · ER 2,5 (optimal)	**23,5**	**4,8**	**2,9**	**4,52**
AFR 1,2 · ER 3,0	22,7	4,5	2,3	4,17
AFR 1,4 · ER 3,5	20,7	3,8	1,9	3,70
AFR 1,65 · ER 4,0	20,6	3,5	1,7	3,58

Keunggulan utama desain multi-stage adalah syngas yang bersih: kandungan tar dapat ditekan hingga ≤50 mg/Nm³, sekitar 40 kali lebih rendah dibanding gasifier single-stage (±2.000 mg/Nm³). Ini menjadikan syngas layak dipakai langsung pada genset/mesin untuk pembangkit listrik skala desa tanpa perawatan berlebih.



Kesiapan penerapan (hilirisasi). Riset ini telah dihilirkan menjadi prototipe PLT Biomassa gasifikasi multi-stage kapasitas 10 kW dan 60 kW serta sistem penyimpanan syngas bertekanan (maks 10 bar), didukung tiga Hak Cipta alat peraga (gasifikasi downdraft multi-stage, reaktor pirolisis cepat, dan bioreaktor fermentasi kopi). Pengembangannya didanai BRIN dan DRTPM Kemdiktisaintek, serta diuji bersama mitra Koperasi Petarangan Farm dan DLH Kota Magelang. Rekam jejak publikasi sejenis penulis dan tim (kajian circular bioeconomy gasifikasi biomassa, konversi gas-to-liquid, dan optimasi Fischer-Tropsch) memperkuat kematangan lini riset ini.

REKOMENDASI KEBIJAKAN

Agar temuan ini berdampak nyata bagi kesejahteraan masyarakat dan lingkungan Jawa Tengah, disampaikan lima rekomendasi berikut:

1. Proyek percontohan PLT Biomassa kulit kopi di sentra kopi desa (Temanggung, Magelang, Wonosobo). Dijalankan melalui skema kolaborasi pentahelix Pemda, perguruan tinggi (Universitas Tidar), koperasi/kelompok tani, dan BUMDes sebagai wujud konkret program “Jateng Makmur” dan kemandirian energi desa.
2. Insentif dan fasilitasi transisi industri hijau. Pemberian dukungan teknis dan/atau insentif bagi unit pengolahan kopi yang mengadopsi reaktor downdraft multi-stage untuk mengubah limbah produksinya menjadi bahan bakar internal yang lebih bersih, mendukung misi industri hijau dan pencegahan food loss and waste dalam RPJMD Jateng.
3. Regulasi pengelolaan limbah pertanian terpadu (Pergub/Perwal). Mendorong konversi limbah biomassa bernilai ekonomi melalui regulasi dan insentif, bersinergi dengan DLH untuk mengurangi beban pencemaran sekaligus menciptakan sumber energi baru sejalan dengan klaster “Ngrawat Magelang”.
4. Penetapan standar operasional dan penguatan SDM desa. Kolaborasi Pemda–akademisi menetapkan SOP konversi energi limbah kopi yang efisien serta pelatihan operator lokal, sehingga teknologi dapat dioperasikan dan dirawat secara mandiri oleh masyarakat desa.
5. Peta jalan upscaling dan riset lanjutan. Meningkatkan skala dari prototipe 10–60 kW menuju unit desa dan replikasi antar-kabupaten, dilanjutkan riset pengembangan (sistem hybrid incinerator-pyrolysis 2026–2027) untuk memperluas jenis limbah yang dapat diolah dan memperkuat ketahanan energi daerah

REFERENSI

[1] Kartiko, K.W., Sulistyo, R.M., Setiyawati, T.R., Nurlina, N., & Saleh, A.R. (2026). Advanced computational fluid dynamics simulation of coffee skin gasification in a multi-stage downdraft reactor: Optimizing synthetic gas production for renewable energy applications. Canadian Journal of Chemical Engineering, 104(6), 2895–2908. https://doi.org/10.1002/cjce.70180

[2] Pemerintah Provinsi Jawa Tengah. (2025). Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Provinsi Jawa Tengah Tahun 2025–2029.

[3] Pemerintah Kota Magelang. (2025). Visi, Misi, dan Program Unggulan Wali Kota dan Wakil Wali Kota Magelang Terpilih Tahun 2025–2029.

[4] Badan Pusat Statistik. (2023). Statistik Kopi Indonesia 2022. Jakarta: BPS.

[5] Bhavanam, A., & Sastry, R.C. (2011). Biomass gasification processes in downdraft fixed bed reactors: A review. International Journal of Chemical Engineering and Applications, 2(6), 425–433.