

OPTIMALISASI PRODUKSI ARANG RAMAH LINGKUNGAN DENGAN SMART SYSTEM BERBASIS AI DAN IOT DI DESA PUNGGULAN, KABUPATEN ASAHAN

Tansa Trisna Astono Putri^{1*}, Bayu Angga Wijaya², Hanapi Hasan³

¹Jurusan Pendidikan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, Medan, Indonesia

²Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Prima, Medan, Indonesia

³Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, Medan, Indonesia

* Penulis Korespondensi : tansatrisna@unimed.ac.id

Abstrak

Produksi arang tradisional di Desa Punggulan, Kabupaten Asahan, kerap menghadapi tantangan pada aspek kualitas dan dampak lingkungan akibat proses pembakaran yang belum optimal dan kurang terkontrol. Kegiatan pengabdian masyarakat ini bertujuan mengimplementasikan smart system berbasis Artificial Intelligence (AI) dan Internet of Things (IoT) untuk memprediksi serta mengendalikan kualitas arang secara real-time guna mendukung produksi yang ramah lingkungan. Metode yang digunakan meliputi pelatihan dan pendampingan masyarakat dalam pemanfaatan perangkat sensor IoT untuk pemantauan suhu dan kelembapan pada tungku pembakaran, serta penggunaan algoritma AI untuk analisis prediksi kualitas hasil arang. Hasil kegiatan menunjukkan adanya peningkatan pemahaman masyarakat terhadap teknologi digital dan kemampuan mengoperasikan smart system, yang berdampak pada peningkatan efisiensi proses produksi dan penurunan emisi limbah pembakaran. Evaluasi pra-pasca menunjukkan peningkatan kinerja proses dan mutu produk: kadar air arang turun sebesar 10% dan produksi meningkat sebanyak 40 ton per bulan dibandingkan kondisi awal. Selain itu, siklus pembakaran menjadi lebih efisien dan indikasi emisi pembakaran menurun. Penerapan sistem juga meningkatkan pemahaman serta keterampilan digital perajin selama fase pendampingan. Kesimpulannya, smart system berbasis AI-IoT terbukti efektif dalam mengoptimalkan produksi arang ramah lingkungan dan memberdayakan masyarakat menuju praktik industri pedesaan yang berbasis teknologi.

Kata kunci: Artificial Intelligence, Internet of Things, Smart System, Produksi Arang, Ramah Lingkungan, Pemberdayaan Masyarakat

Abstract

Traditional charcoal production in Punggulan Village, Asahan Regency, faces quality and environmental impact challenges due to a suboptimal and poorly controlled combustion process. This community service program implemented a smart system based on Artificial Intelligence (AI) and the Internet of Things (IoT) for real-time monitoring of furnace temperature and humidity and predicting charcoal quality. Methods included training and mentoring artisans, installing IoT sensors on the furnace, and using AI algorithms for predictive quality analysis. Pre-post evaluations showed improvements in process performance and product quality: charcoal moisture content decreased by 10% and production increased by 40 tons per month compared to baseline. Furthermore, the combustion cycle became more efficient and combustion emissions decreased. The system implementation also improved artisans' understanding and digital skills during the mentoring phase. In conclusion, the AI-IoT-based smart system proved effective in optimizing environmentally friendly charcoal production and empowering communities towards technology-based rural industrial practices.

Keywords: Artificial Intelligence, Internet of Things, Smart System, Charcoal Production, Environmentally Friendly, Community Empowerment

1. PENDAHULUAN

Arang (termasuk biochar) tetap menjadi komoditas energi rumah tangga dan bahan baku industri kecil-menengah di banyak daerah pedesaan Indonesia (Hilokacharcoal, 2025). Kabupaten Asahan, Sumatera Utara, memiliki basis bahan baku biomassa yang kuat khususnya tempurung kelapa seiring posisi Sumatra Utara sebagai salah satu sentra perkebunan rakyat kelapa dan kelapa sawit, serta temuan kajian sosial-ekonomi pada petani kelapa di Asahan yang menegaskan peran strategis komoditas ini bagi ekonomi pedesaan (Badan Pusat Statistik, 2023). Situasi ini membuka peluang besar bagi penguatan nilai tambah melalui peningkatan efisiensi dan mutu produksi arang di tingkat desa (Kilahama, 2008).

Di lapangan, produksi arang umumnya masih memakai tungku tradisional (earth/pit/brick kiln) tanpa kendali proses yang memadai (Eniola et al., 2018). Praktik tersebut berimplikasi pada (i) rendemen dan mutu yang fluktuatif akibat profil suhu dan waktu karbonisasi yang tidak terukur; serta (ii) emisi asap yang mengandung partikulat halus dan produk pembakaran tidak sempurna yang berisiko bagi kesehatan pekerja dan kualitas udara sekitar (Nabukalu et al., 2019).

Berbagai telaah menunjukkan bahwa pengendalian suhu/retort mampu meningkatkan rendemen dan mutu arang sekaligus menurunkan emisi dibanding tungku tradisional; sementara paparan emisi produksi dan penggunaan arang dikaitkan dengan gangguan pernapasan serta risiko non-respiratori lainnya (Seboka, 2009).

Transformasi menuju produksi arang yang lebih “hijau” menuntut adopsi teknologi pemantauan-kendali proses yang terjangkau. Internet of Things (IoT) memungkinkan pembacaan suhu dan gas secara real-time melalui sensor termokopel/pyrometer dan antarmuka nirkabel, sehingga operator dapat menjaga kurva pemanasan (heating rate), puncak suhu, dan durasi holding pada zona pirolisis secara konsisten. Inovasi lokal dan studi internasional telah mendemonstrasikan purwarupa pemantauan suhu dan gas untuk reaktor pirolisis/ tungku arang berbasis

mikrokontroler (Arduino) serta antarmuka IoT, yang secara praktis membantu stabilisasi proses dan waktu siklus (Johnson, 2009).

Lebih jauh, kecerdasan buatan (AI) khususnya model jaringan saraf (ANN) dan pendekatan pembelajaran mesin lainnya telah terbukti efektif untuk memodelkan hubungan non-linier antara parameter proses (jenis biomassa, kadar air, laju pemanasan, puncak suhu, dan waktu tahan) dengan keluaran (rendemen, kadar air, zat menguap, kadar abu, karbon terikat, dan nilai kalor). Penerapan AI membuka peluang optimasi multi-tujuan: memaksimalkan rendemen dan mutu arang sekaligus meminimalkan konsumsi energi dan emisi. Bukti empiris terkini menunjukkan ANN/SVM mampu memprediksi/ mengoptimasi hasil pirolisis dan biochar secara andal (Sharp, 2013).

Program pengabdian ini dirancang untuk menjawab tantangan tersebut melalui penerapan smart system berbasis AI dan IoT pada unit produksi arang skala UKM di Desa Punggulan, Kabupaten Asahan. Pendekatan yang ditawarkan meliputi: (1) audit proses dan pelatihan operator; (2) instalasi sensor suhu/gas dan gateway IoT untuk pemantauan real-time; (3) pengembangan model AI sederhana (mis. ANN/regresi) untuk rekomendasi set-point dan waktu proses; (4) penerapan good operating practice berbasis data; serta (5) pembimbingan mutu mengacu SNI arang tempurung kelapa (misalnya parameter kadar air, kadar abu, bagian hilang saat dipanaskan, dan warna), sehingga kualitas produk memenuhi standar pasar ekspor/industri sekaligus mengurangi jejak emisi lokal. MDPI Scribed

Secara spesifik, luaran yang dituju adalah (i) peningkatan konsistensi mutu (kadar karbon terikat tinggi, kadar air/abu terkontrol), (ii) peningkatan rendemen dan produktivitas siklus karbonisasi, (iii) penurunan keluhan paparan asap di lokasi kerja, dan (iv) lahirnya model operasional “ramah lingkungan” yang replikatif pada desa-desa penghasil biomassa sejenis. Dengan memadukan potensi sumber daya lokal dan teknologi tepat guna, program ini diharapkan menjadi contoh technology-enabled rural

upgrading yang berkelanjutan di Asahan dan sekitarnya.

Tujuan kegiatan ini adalah mengimplementasikan sistem cerdas berbasis AI dan IoT untuk meningkatkan efisiensi, kualitas, dan keberlanjutan produksi arang di Desa Punggulan. Secara operasional, intervensi mencakup pelatihan dan pendampingan perajin, pemasangan sensor suhu-kelembapan pada tungku, pengembangan model AI untuk prediksi mutu, serta dashboard peringatan dini dan SOP pembakaran terkendali. Kontribusi praktisnya berupa prototipe sistem yang dapat direplikasi beserta paket pelatihan dan panduan operasional; kontribusi ilmiahnya adalah bukti empiris dampak AI-IoT pada proses produksi skala UMKM pedesaan.

2. METODE

Pada tahap implementasi, sensor IoT menggunakan sensor suhu dan kelembapan yang dipasang pada titik strategis di tungku/cerobong; seluruh pembacaan dikontrol melalui mikrokontroler ESP32 yang menangani akuisisi berkala, kalibrasi, serta penyaringan sinyal sebelum data dipaketkan dan dikirim ke server melalui MQTT/HTTP untuk logging deret-waktu dan pemantauan real-time pada dashboard. Lapisan AI memanfaatkan algoritma Naive Bayes untuk memprediksi kadar air arang secara near real-time berdasarkan fitur yang diekstraksi dari kurva proses suhu-kelembapan—meliputi nilai puncak dan rerata, gradien pemanasan/pendingan, durasi holding, dan rasio suhu-RH pada jendela waktu tertentu. Ground truth kadar air diperoleh menggunakan metode oven-dry; model divalidasi dan dievaluasi dengan akurasi, macro-F1, serta MAE untuk estimasi numerik. Keluaran model berupa probabilitas kelas kadar air (rendah/sedang/tinggi) dan early warning ketika peluang kelas “tinggi” melewati ambang τ , yang memicu rekomendasi korektif agar proses tetap berada pada rentang operasi optimal.

Pada aspek produksi, terdapat dua permasalahan utama yang berhasil diidentifikasi. Pertama, proses pembakaran tempurung kelapa masih dilakukan secara manual sehingga suhu dan kelembapan tidak dapat dikendalikan dengan baik, yang pada akhirnya menghasilkan kualitas arang yang tidak seragam. Kedua, pelaku produksi belum memiliki akses terhadap teknologi tepat guna, misalnya pemanfaatan sensor Internet of Things (IoT) atau sistem berbasis kecerdasan buatan, yang sejatinya dapat dimanfaatkan untuk memprediksi hasil produksi sejak tahap awal. Rincian lebih lanjut mengenai permasalahan tersebut ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Metode, tahapan pelaksanaan solusi dan partisipasi mitra bidang produksi dengan mesin pembakar arang batok

No	Metode	Tahapan Pelaksanaan	Partisipasi Mitra
1	Observasi dan Diskusi	Sosialisasi kepada mitra terkait rencana pelaksanaan kegiatan dan kebutuhan lebih lanjut mitra terhadap pembuatan arang	Mengikuti diskusi secara kooperatif dan menyampaikan kebutuhan tentang pembuatan arang batok
2	Diskusi	Mendesain dan memfabrikasi mesin pembakar arang batok	Memberikan masukan tentang dimensi, material, dan pengoperasiannya
3	Ceramah, presentasi, tanya-jawab, demonstrasi dan praktik lapangan	Melatih mitra tentang tata cara pembuatan arang batok, menggunakan mesin pembakar arang batok	Mengkoordinir anggota kelompok Jawara Arang Melaksanakan SOP penggunaan mesin pembakar Arang batok
4	Ceramah	Serah terima mesin pembakar arang batok	Menerima mesin pembakar arang batok
5	Diskusi dan observasi	Melakukan movev dan pendampingan selama dan setelah program berlangsung untuk keberlanjutan program	Menjelaskan kendala yang dihadapi dan melaksanakan solusi yang disepakati

Ringkasan mengenai metode, tahapan implementasi solusi, serta bentuk partisipasi mitra pada aspek manajemen dan pemasaran disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Metode, tahapan pelaksanaan solusi dan partisipasi mitra bidang manajemen dan pemasaran

No	Metode	Tahapan Pelaksanaan	Partisipasi Mitra
1	Diskusi	Sosialisasi kepada mitra terkait rencana pelaksanaan kegiatan dan menggali informasi kendala-kendala manajemen pembukuan arang batok	Mengikuti diskusi secara kooperatif dan menyampaikan kebutuhan tentang manajemen pembukuan arang batok
2	Ceramah, presentasi, tanya-jawab, demonstrasi dan praktik lapangan	Memberi pelatihan kepada mitra tentang bagaimana mendaftarkan, menggunakan, dan merawat aplikasi Lamikro	- Mengikuti pelatihan dengan tertib - Melakukan praktik lapangan tentang pendaftaran, penggunaan, dan perawatan aplikasi Lamikro
3	Diskusi	Melakukan monev dan pendampingan selama dan setelah program berlangsung untuk keberlanjutan program	Menjelaskan kendala yang dihadapi dan melaksanakan solusi yang disepakati

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Tahap Pertama: Observasi dan Identifikasi Kebutuhan

Kegiatan diawali dengan observasi lapangan yang dilanjutkan dengan diskusi bersama mitra. Pada kesempatan ini, tim pelaksana menyampaikan tujuan, rencana, serta manfaat program dalam mendukung peningkatan produksi arang batok. Mitra secara aktif menyampaikan berbagai kendala yang mereka hadapi, antara lain ketidakseragaman kualitas arang, tingginya tingkat pemborosan bahan baku, dan keterbatasan teknologi pembakaran yang dimiliki. Diskusi berlangsung secara kooperatif; mitra terbuka dalam menyampaikan hambatan sekaligus memberikan gambaran nyata mengenai proses produksi arang batok yang mereka jalankan sehari-hari. Hasil dari tahap ini kemudian dijadikan landasan dalam merancang intervensi teknologi yang sesuai dengan kebutuhan.

3.2. Tahap Kedua: Perancangan Teknologi dan Fabrikasi

Tahap berikutnya berupa diskusi teknis mengenai desain tungku pembakar arang batok. Mitra terlibat aktif dalam memberikan masukan mengenai dimensi tungku, jenis material yang tahan panas, serta aspek operasional yang sesuai dengan keterampilan masyarakat. Saran yang diberikan menjadi acuan penting agar mesin yang difabrikasi tidak hanya layak secara teknis, tetapi juga sesuai dengan kondisi lokal. Proses fabrikasi kemudian dilakukan secara bertahap hingga menghasilkan prototipe tungku pembakar yang siap diuji coba. Keterlibatan mitra dalam perancangan menciptakan rasa memiliki sekaligus tanggung jawab terhadap keberhasilan implementasi teknologi tersebut.

3.3. Tahap Ketiga: Pelatihan dan Transfer Pengetahuan

Setelah prototipe selesai, dilaksanakan kegiatan pelatihan bagi mitra dengan metode ceramah, presentasi, tanya jawab, demonstrasi, dan praktik langsung. Materi pelatihan mencakup prosedur pembuatan arang batok menggunakan mesin baru, penerapan Standard Operating Procedure (SOP), serta teknik menjaga kestabilan suhu agar produk yang dihasilkan memiliki kualitas konsisten. Selain itu, mitra juga dikenalkan pada cara mengevaluasi kualitas arang dengan bantuan perangkat IoT berbasis prediksi kualitas. Hasil pelatihan menunjukkan mitra mampu memahami prosedur penggunaan mesin, meskipun tetap diperlukan pendampingan intensif pada tahap awal penerapan.

3.4. Tahap Keempat: Serah Terima dan Implementasi

Sebagai penutup, dilakukan serah terima mesin pembakar arang batok beserta perangkat IoT kepada mitra. Kegiatan ini bukan hanya simbol keberhasilan program, tetapi juga bentuk komitmen tim pelaksana dalam mendukung keberlanjutan produksi. Mitra menyambut penyerahan ini dengan antusias dan menyatakan kesediaan untuk memanfaatkan serta merawat peralatan secara optimal. Penyerahan mesin ini sekaligus menandai transisi dari tahap pengenalan menuju implementasi nyata di lapangan.



Gambar 1. Persiapan Lahan Kosong di Tempat Mitra



Gambar 3. Pembakaran Arang Kondisi 70% Selesai



Gambar 4. Pembakaran Arang Selesai 100%

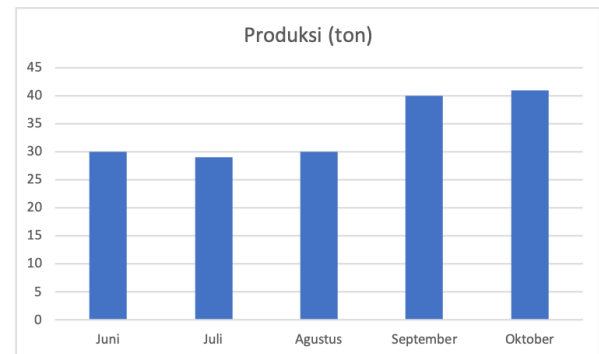


Gambar 5. Penggunaan Alat Pembakaran Arang untuk Produksi

Pelaksanaan program Pemberdayaan Smart System berbasis Artificial Intelligence (AI) dan IoT untuk prediksi kualitas arang dalam optimalisasi produksi ramah lingkungan di Desa Punggulan, Kabupaten Asahan, telah memberikan dampak nyata bagi masyarakat mitra, terutama para pelaku usaha arang batok. Manfaat program ini tidak hanya tercermin pada peningkatan kapasitas produksi, tetapi juga pada kualitas hasil yang lebih konsisten sekaligus ramah lingkungan.

Dari sisi produktivitas, penerapan sistem cerdas memungkinkan monitoring dan prediksi kualitas arang secara lebih akurat serta real-time. Integrasi teknologi ini menjadikan proses pengeringan dan pembakaran lebih terkendali, sehingga ketidakpastian hasil dapat diminimalisasi. Dampaknya, volume produksi meningkat signifikan hingga mencapai rata-rata 40 ton per bulan, yang berimplikasi langsung pada peningkatan pendapatan masyarakat. Melalui Gambar 6 dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan produksi sesudah dan sebelum implementasi alat. Implementasi alat dilakukan mulai bulan September sampai bulan berjalan.

Selain kuantitas, kualitas arang yang dihasilkan turut mengalami perbaikan. Tingkat kekeringan meningkat hingga 10%, menghasilkan produk dengan mutu lebih baik, tahan lama, dan sesuai standar pasar. Perbaikan ini sekaligus memperkuat daya saing arang batok Desa Punggulan, baik di pasar lokal maupun regional.



Gambar 6. Grafik Produksi Arang dalam ton

Manfaat lain yang muncul adalah tumbuhnya kesadaran masyarakat mengenai pentingnya penggunaan teknologi ramah lingkungan. Sistem yang dikembangkan tidak hanya menekankan optimalisasi produksi, tetapi juga efisiensi energi dan pengurangan emisi pembakaran. Dengan demikian, program ini berkontribusi pada pemberdayaan ekonomi masyarakat sekaligus keberlanjutan lingkungan.

Secara keseluruhan, keberhasilan program ini membuktikan bahwa kolaborasi antara teknologi AI dan IoT dengan kearifan lokal mampu meningkatkan produktivitas, kualitas, serta daya saing produk arang batok, sekaligus mendukung tercapainya tujuan pembangunan berkelanjutan di sektor industri rumah tangga.

4. KESIMPULAN

Program pemberdayaan berbasis Artificial Intelligence (AI) dan Internet of Things (IoT) dalam optimalisasi produksi arang batok di Desa Punggulan terbukti memberikan dampak signifikan bagi masyarakat. Integrasi teknologi ini mampu meningkatkan produktivitas dengan lonjakan produksi hingga 40 ton per bulan, sekaligus memperbaiki kualitas arang melalui pengendalian suhu dan

kelembapan yang lebih akurat serta real-time. Peningkatan kualitas ditunjukkan oleh kadar kekeringan yang lebih tinggi, menghasilkan arang yang lebih tahan lama dan sesuai standar pasar, sehingga memperkuat daya saing produk baik di tingkat lokal maupun regional.

Selain aspek teknis, program ini juga mendorong tumbuhnya kesadaran masyarakat terhadap pemanfaatan teknologi ramah lingkungan melalui efisiensi energi dan pengurangan emisi pembakaran. Kolaborasi antara teknologi modern dengan praktik lokal tidak hanya mendukung keberlanjutan lingkungan, tetapi juga memperkuat kapasitas ekonomi masyarakat. Dengan demikian, keberhasilan program ini membuktikan bahwa penerapan sistem cerdas berbasis AI dan IoT dapat menjadi strategi efektif untuk meningkatkan produktivitas, kualitas, dan daya saing industri rumah tangga arang batok, sekaligus mendukung pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan.

Ke depan, kami merekomendasikan pengembangan menuju otomatisasi penuh (closed-loop) melalui pemasangan aktuator katup/ventilasi dan pengendali PID agar suhu serta holding time terjaga tanpa intervensi manual. Data operasi perlu diintegrasikan ke platform cloud lintas lokasi dengan pipeline ETL, data lake/warehouse, dashboard seluler, dan alert (WA/SMS), disertai praktik MLOps untuk memantau model drift dan auto-retrain. Pada lapisan analitik, Naive Bayes dapat dibandingkan dengan model yang lebih kuat (mis. Random Forest, XGBoost, atau LSTM), termasuk kalibrasi probabilitas dan opsi TinyML/on-device inference untuk skenario jaringan terbatas. Akurasi dan kendali proses akan ditopang oleh perluasan sensor serta peningkatan keandalan perangkat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami menyampaikan apresiasi yang mendalam kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (DPPM) KEMDIKTI SAINTEK atas dukungan pendanaan yang diberikan, serta kepada LPPM Universitas Negeri Medan (Unimed) sebagai tim pendamping atas bimbingan dan dukungan penuh dalam penyusunan serta pengembangan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Kilahama, F. (2008). Impact of increased charcoal consumption to forests and woodlands in Tanzania. *For. Ecol. Manag.* 2008, 308, 45–55.
- Hilokacharcoal. (2025). Indonesia's Coconut Charcoal Export Potential in 2025 [Internet]. Available from: <https://hilokacharcoal.com/indonesia-coconut-charcoal-export-2025/>
- Eniola, P., Odebode, S., Ayandele, B. (2018). Contributions of charcoal production to socioeconomic activities of rural dwellers in the rain forest agro-ecological zone of Nigeria. *Recent Adv. Petrochem. Sci.* 2018, 6, 555683. DOI:10.19080/RAPSCI.2018.06.555683. Available from: <https://juniperpublishers.com/rapsci/RAPSCI.MS.ID.555683.php>
- Nabukalu, C. & Gieré, R. (2019). Charcoal as an energy resource: Global trade, production and socioeconomic practices observed in Uganda. *Resources* 2019, 8, 183. Available from : <https://doi.org/10.3390/resources8040183>
- Seboka, Y. (2009). Charcoal production: opportunities and barriers for improving efficiency and sustainability, in: *Bio-Carbon Opportunities in Eastern & Southern Africa. Harnessing Carbon Finance to Promote Sustainable Forestry, Agro-Forestry and Bio-Energy.* United Nations Development Programme, New York, USA, pp. 102–126.
- Johnson, E. (2009). Charcoal versus LPG grilling: a carbon-footprint comparison. *Environ. Impact Assess. Rev.* 29, 370–378. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2009.02.004>.
- Sharp, A., Turner, A. (2013). Concentrations and bioaccessibilities of trace elements in barbecue charcoals. *J. Hazard. Mater.* 262, 620–626. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.09.020>.
- Badan Pusat Statistik. (2023). Produksi Tanaman Perkebunan (Ribu Ton), 2023 [Internet]. Available from: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTMyIzI=/produksi-tanaman-perkebunan--ribu-ton-.html>