

**SURAT PERNYATAAN
HKI**

**PENGEMBANGAN PROTOTIPE OVEN SE'I MENGGUNAKAN BRIKET DAUN
KESAMBI : INOVASI UNTUK UMKM PANGAN LOKAL**



NAMA:

FREDRIK J. HABA BUNGA, JEMMY J. S. DETHAN, GABRIELA E. HETHARIA

**UNIVERSITAS KRISTEN ARTHA WACANA
KUPANG
2026**

SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC002026021771, 4 Februari 2026

Pencipta

Nama : **Ir. Fredrik J. Haba Bunga, MP, Dr. Ir. Jemmy J. S. Dethan, MP dkk**
Alamat : Jl. Ade Irma No. 11 Walikota, Kota Kupang, Kelapa Lima, Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur, 85228
Kewarganegaraan : Indonesia

Pemegang Hak Cipta

Nama : **Ir. Fredrik J. Haba Bunga, MP, Dr. Ir. Jemmy J. S. Dethan, MP dkk**
Alamat : Jl. Ade Irma No. 11 Walikota, Kota Kupang, Kelapa Lima, Kota Kupang, Nusa Tenggara Timur, 85228

Kewarganegaraan : Indonesia

Jenis Ciptaan : **Laporan Penelitian**

Judul Ciptaan : **Pengembangan Prototipe Oven Se'i Menggunakan Briket Daun Kesambi : Inovasi untuk UMKM Pangan Lokal**

Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia : 4 Februari 2026, di Kota Kupang

Jangka waktu perlindungan : Berlaku selama hidup Pencipta dan terus berlangsung selama 70 (tujuh puluh) tahun setelah Pencipta meninggal dunia, terhitung mulai tanggal 1 Januari tahun berikutnya.

Nomor Pencatatan : 001129944

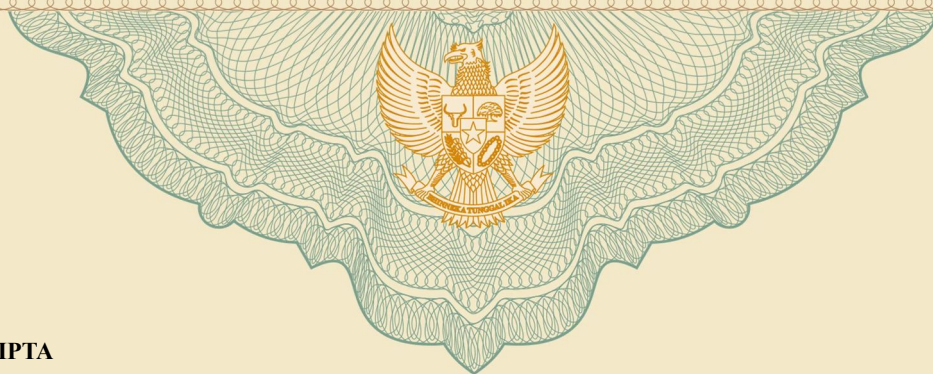
adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.

Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.



a.n. MENTERI HUKUM
DIREKTUR JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL
u.b
Direktur Hak Cipta dan Desain Industri

Agung Damarsasongko, SH., MH.
NIP. 196912261994031001



LAMPIRAN PENCIPTA

No	Nama	Alamat
1	Ir. Fredrik J. Haba Bunga, MP	Jl. Ade Irma No. 11 Walikota, Kota Kupang Kelapa Lima, Kota Kupang
2	Dr. Ir. Jemmy J. S. Dethan, MP	Jl. Suprpto No 39 Oebobo Kupang NTT Oebobo, Kota Kupang
3	Gabriela E. Hetharia, SP., MSc	Perumahan Dosen Undana III No 20, RT 022 / RW 010, Kelapa Lima, Kupang Kelapa Lima, Kota Kupang

LAMPIRAN PEMEGANG

No	Nama	Alamat
1	Ir. Fredrik J. Haba Bunga, MP	Jl. Ade Irma No. 11 Walikota, Kota Kupang Kelapa Lima, Kota Kupang
2	Dr. Ir. Jemmy J. S. Dethan, MP	Jl. Suprpto No 39 Oebobo Kupang NTT Oebobo, Kota Kupang
3	Gabriela E. Hetharia, SP., MSc	Perumahan Dosen Undana III No 20, RT 022 / RW 010, Kelapa Lima, Kupang Kelapa Lima, Kota Kupang



LAPORAN AKHIR

SKEMA PENELITIAN UNGGULAN UNIVERSITAS



PENGEMBANGAN PROTOTIPE OVEN SE'I MENGGUNAKAN BRIKET DAUN KESAMBI: INOVASI UNTUK UMKM PANGAN LOKAL

Oleh:

Ir. FREDRIK J. HABA BUNGA, MP ((5543741642130062) KETUA
Dr. Ir. JEMMY .S. DETHAN, MP (4439746647130092) ANGGOTA
GABRIELA E. HETHARIA, SP., M.Sc (8849768669230370) ANGGOTA

UNIVERSITAS KRISTEN ARTHA WACANA
KUPANG
Desember 2025

IDENTITAS DAN URAIAN UMUM

1. Judul Penelitian: **Pengembangan Prototipe Oven Se'i Menggunakan Briket Daun Kesambi: Inovasi untuk UMKM Pangan Lokal**

2. Tim Peneliti

No	Nama	Jabatan	Bidang Keahlian	Prodi/Fakultas	Alokasi Waktu (jam / minggu)
1	Ir. F. J. Haba Bunga, MP	Ketua (dosen)	Mekanisasi Pertanian/Pengolahan/Energi	Mekanisasi Pertanian	5 jam / minggu
2	Gabriela E. Hetharia, SP., MSc	Anggota 1 (dosen)	Pengolahan hasil pertanian/Gizi		4 jam / minggu
3	DR. Ir. Jemmy J. S. Dethan, MP	Anggota 2 (dosen)	Mekanisasi Pertanian/Pengolahan/Energi	Mekanisasi Pertanian	4 jam / minggu
4	AGRITA GREGORINC E TONBESI	Anggota 3 (mahasiswa)	Pengolahan Hasil Pertanian	Mekanisasi Pertanian	3 jam / minggu
5	DEMSI ELIASAR POY	Anggota 4 (mahasiswa)	Pengolahan Hasil Pertanian	Mekanisasi Pertanian	3 jam / minggu

2. Obyek Penelitian (Oven Sei):

3. Masa Pelaksanaan

Mulai : Agustus 2025

Berakhir : Oktober 2025

4. Usulan Biaya ke Lembaga Penelitian: Rp. 21.000.000,-

5. Lokasi Penelitian: .UKAW

6. Temuan yang ditargetkan: Oven efisien dan rendah emisi

7. Kontribusi mendasar pada bidang ilmu : Rekayasa Pengolahan Pangan

8. Jurnal ilmiah sasaran yang menjadi sasaran : Jurnal Pertanian Terpadu (SINTA 3)

9. Rencana luaran: jurnal ilmiah dan Hak Kekayaan Intelektual

PENGEMBANGAN PROTOTIPE OVEN SE'I MENGGUNAKAN BRIKET DAUN KESAMBI: INOVASI UNTUK UMKM PANGAN LOKAL

Abstrak

Pengasapan daging Se'i di Nusa Tenggara Timur umumnya masih dilakukan dengan metode tradisional berbasis kayu bakar yang menimbulkan emisi tinggi, boros energi, serta berisiko bagi kesehatan. Penelitian ini bertujuan mengembangkan prototipe oven pengasapan Se'i berbahan bakar briket daun kesambi (*Schleichera oleosa*) sebagai alternatif yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Desain oven didasarkan pada simulasi distribusi suhu menggunakan variasi geometri saluran udara dan tinggi cerobong, kemudian difabrikasi dan diuji kinerjanya. Briket daun kesambi diproduksi dengan perekat tapioka 10% dan diuji karakteristik fisik serta nilai kalor. Hasil menunjukkan bahwa desain saluran udara miring 30° dengan cerobong pendek memberikan distribusi panas merata dengan suhu stabil pada kisaran 100 °C. Briket daun kesambi memiliki densitas 0,85 g/cm³, kadar air 11,5%, dan nilai kalor 15,9 MJ/kg, serta menghasilkan lama pembakaran hingga 35 menit. Dibandingkan kayu bakar, oven briket lebih efisien (hemat konsumsi bahan bakar 30%), lebih cepat mencapai suhu optimal (40% lebih singkat), serta menurunkan emisi CO hingga 55%. Produk Se'i yang dihasilkan mendapat skor organoleptik 4,3 (dari skala 5), menandakan penerimaan yang baik. Analisis ekonomi menunjukkan biaya produksi per sesi turun 56% dengan penggunaan briket. Temuan ini menegaskan bahwa briket daun kesambi berpotensi menjadi bahan bakar alternatif berkelanjutan bagi UMKM Se'i, sekaligus mendukung transisi energi ramah lingkungan dan pengembangan pangan lokal.

Kata kunci: briket biomassa, daun kesambi, oven Se'i, efisiensi energi, emisi rendah

LATAR BELAKANG

Pengolahan daging Se'i sebagai kuliner khas Nusa Tenggara Timur (NTT) hingga kini masih didominasi oleh metode pengasapan tradisional yang menggunakan kayu bakar secara langsung pada tungku terbuka. Praktik ini tidak hanya menimbulkan emisi karbon dan polusi udara yang signifikan, tetapi juga mengakibatkan ketidakefisienan dalam pemanfaatan bahan bakar, serta risiko kesehatan bagi pelaku UMKM Se'i. Permasalahan ini menunjukkan urgensi perlunya inovasi teknologi pengasapan yang lebih ramah lingkungan, efisien, dan tetap mempertahankan kualitas sensorik khas Se'i.

Di sisi lain, potensi biomassa lokal di wilayah NTT, khususnya daun Kesambi (*Schleichera oleosa*), belum dimanfaatkan secara optimal. Daun ini melimpah dan memiliki kandungan resin serta minyak atsiri yang dapat menghasilkan asap aromatik alami saat terbakar. Dengan pendekatan teknologi energi terbarukan, daun Kesambi dapat dijadikan bahan bakar alternatif dalam bentuk briket. Briket ini tidak hanya mampu menurunkan emisi karbon, tetapi juga memanfaatkan limbah biomassa lokal yang sebelumnya tidak memiliki nilai ekonomi.

Penelitian ini bertujuan merancang dan mengembangkan oven pengasapan Se'i berbasis briket daun Kesambi, yang efisien secara energi, aman digunakan, serta menghasilkan produk Se'i dengan kualitas pengasapan yang baik. Desain oven mempertimbangkan prinsip mekanika

fluida, kontrol suhu (80–120 °C), dan aliran udara yang stabil, sehingga mendukung proses pengasapan yang optimal. Inovasi ini diharapkan menjadi solusi teknologi tepat guna yang dapat diaplikasikan oleh pelaku usaha mikro di daerah.

Studi kelayakan dilakukan melalui uji performa oven, efisiensi bahan bakar, evaluasi kualitas produk hasil pengasapan, serta analisis potensi ekonomi dari penggunaan bahan bakar alternatif. Penggunaan briket daun Kesambi diestimasi lebih hemat biaya dibandingkan kayu bakar dan menghasilkan nilai tambah dari limbah biomassa yang sebelumnya tidak termanfaatkan.

Penelitian ini sangat relevan dengan bidang fokus Program Studi Mekanisasi Pertanian, khususnya pada pengembangan alat dan mesin pertanian pascapanen berbasis sumber daya lokal. Integrasi antara teknologi pengolahan hasil pertanian dan pemanfaatan energi alternatif menjadikan riset ini sebagai contoh konkret penerapan ilmu teknik dalam mendukung keberlanjutan pertanian dan pengolahan pangan lokal. Dengan pendekatan interdisipliner antara desain teknik, energi biomassa, dan sistem pascapanen, kegiatan ini sekaligus mendukung pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (TPB), terutama dalam aspek energi bersih dan industri inovatif berbasis lokal.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Pengasapan Tradisional dan Inovasi Teknologi

Pengasapan adalah teknik pengolahan pangan yang sudah dikenal sejak lama, digunakan untuk memperpanjang umur simpan dan meningkatkan cita rasa produk daging. Di NTT, Se'i adalah produk daging asap khas yang masih diproses secara tradisional menggunakan kayu bakar langsung. Metode ini kurang efisien dan menimbulkan polusi asap. Teknologi oven pengasapan tertutup telah dikembangkan untuk mengendalikan suhu dan aliran asap, namun belum banyak yang diadopsi oleh pelaku UMKM karena biaya dan kompleksitas penggunaan.

Oven pengasapan tertutup mempertahankan suhu yang stabil selama proses pengasapan, yang penting untuk pemasakan yang merata dan pengembangan rasa (Cheng et al., 2023). Studi menunjukkan bahwa suhu tertentu, seperti 60°C, secara signifikan memengaruhi pembentukan senyawa yang diinginkan dalam produk asap (Shen et al., 2022).

Desain oven pengasapan tertutup memungkinkan sirkulasi asap yang merata, memastikan semua permukaan daging atau ikan terpapar asap, meningkatkan rasa dan pengawetan (Eduard et al., 2022).

Lingkungan pengasapan yang terkendali meminimalkan pembentukan senyawa berbahaya, seperti hidrokarbon aromatik polisiklik (PAH), dengan mengatur komposisi asap dan waktu pemaparan (Kitts et al., 2023). Meskipun oven pengasapan tertutup memberikan keuntungan signifikan dalam mencapai hasil yang konsisten, metode tradisional mungkin masih disukai karena rasanya yang unik dan signifikansi budayanya, yang menonjolkan keseimbangan antara teknologi modern dan praktik tradisional.

Pengasapan merupakan teknik pengolahan makanan tradisional yang tidak hanya memperpanjang umur simpan produk daging tetapi juga meningkatkan cita rasanya. Metode ini melibatkan reaksi kimia yang kompleks, terutama yang melibatkan lipid, yang berkontribusi pada rasa dan aroma unik daging asap. Namun, pengasapan juga dapat menghasilkan senyawa berbahaya, sehingga memerlukan keseimbangan yang cermat antara peningkatan cita rasa dan keamanan. Pengasapan menyebabkan hidrolisis lipid, menghasilkan prekursor rasa yang

selanjutnya dioksidasi menjadi senyawa volatil, sehingga meningkatkan profil cita rasa daging (Fu et al., 2022).

Hidrokarbon aromatik polisiklik (PAH), termasuk turunan toksik, sering terdapat dalam produk asap, sehingga menimbulkan masalah kesehatan (Sonogo et al., 2022). Pengasapan, dikombinasikan dengan penggunaan nitrit, secara efektif menghambat bakteri patogen, sehingga berkontribusi pada pengawetan daging (Xie et al., 2023). Pembentukan nitrosamin selama pemrosesan termal menimbulkan risiko kesehatan yang signifikan, sehingga memerlukan strategi mitigasi untuk mengurangi keberadaannya (Xie et al., 2023).

Pemilihan kayu yang digunakan dalam pengasapan dapat secara signifikan memengaruhi kualitas sensoris dan sifat antioksidan daging, sehingga memengaruhi preferensi konsumen (Zhou et al., 2022).

Meskipun pengasapan bermanfaat untuk rasa dan pengawetan, penting untuk mengatasi potensi risiko kesehatan yang terkait dengan senyawa berbahaya yang terbentuk selama proses tersebut. Menyeimbangkan faktor-faktor ini sangat penting untuk konsumsi produk daging asap yang aman.

2. Biomassa Daun dan Ranting Kesambi sebagai Bahan Bakar

Kesambi (*Schleichera oleosa*) merupakan tanaman endemik tropis yang daunnya kaya senyawa aromatik (flavonoid, resin, dan minyak atsiri). Briket daun Kesambi mengandung karbon tetap 79,53%, nilai kalor 15,91 MJ/kg, kadar air dan abu yang rendah, menjadikannya alternatif biomassa yang berkelanjutan (Dethan, 2024b).

Suhu 300°C di dalam reaktor, produk biomassa semi-arang dianalisis berdasarkan hasil massa, kapasitas penyerapan air, kadar air, kadar abu, zat volatil, dan kandungan karbon tetap menggunakan standar ASTM (Dethan, Haba Bunga, et al., 2024). Torrefaksi biomassa daun Kesambi pada suhu 300°C dan waktu 20 menit menghasilkan produk torrefaksi dengan nilai kalor tinggi (Dethan, Lalel, et al., 2024). Komposisi 1:3 (22,5% ranting kesambi + 67,5% arang kulit kemiri) menghasilkan nilai kalor tertinggi melebihi 19 MJ/kg, sementara model Nhuchhen dinyatakan paling akurat dalam memprediksi nilai kalor dengan nilai R^2 sebesar 0,93 (Dethan, 2024a). Penambahan perekat berpengaruh signifikan terhadap resistansi, lama nyala, densitas, dan kadar air briket (Kette et al., 2024). Ukuran partikel dan rasio pengikat sangat memengaruhi kinerja briket, sekaligus mendorong pengelolaan limbah yang ramah lingkungan dan inovasi energi terbarukan (Bunga et al., 2024). Ukuran partikel lebih kecil meningkatkan kepadatan dan kuat tekan briket (Abineno et al., 2024). Torrefaksi meningkatkan kandungan karbon tetap dan nilai kalor lebih tinggi (HHV) dan berpotensi dikembangkan sebagai bahan bakar biomassa berkelanjutan dan meningkatkan produksi energi terbarukan (Dethan, 2024c).

3. Teknologi Briket Tanpa Karbonisasi

Pengembangan briket biomassa tanpa karbonisasi dapat meningkatkan efisiensi energi secara signifikan dan mengurangi emisi gas rumah kaca dengan memanfaatkan limbah biomassa secara efektif dan meminimalkan jejak karbon yang terkait dengan sumber bahan bakar tradisional. Proses ini memanfaatkan kandungan energi inherent biomassa sekaligus menghindari langkah karbonisasi yang intensif energi, sehingga menawarkan solusi energi yang lebih berkelanjutan dan hemat biaya. Penggunaan briket biomassa dapat menghasilkan pengurangan emisi gas rumah kaca yang substansial dan peningkatan efisiensi energi, sebagaimana dibuktikan dalam berbagai studi. Briket biomassa menawarkan pembakaran yang

lebih efisien dan terkontrol, mampu meningkatkan efisiensi termal hingga 30%, mengurangi emisi gas rumah kaca hingga 74%, serta mendorong ekonomi sirkular melalui pemanfaatan limbah lokal dengan biaya yang sebanding atau lebih murah dibanding kayu bakar (Morales-Máximo et al., 2022).

Meskipun pengembangan briket biomassa tanpa karbonisasi menawarkan banyak manfaat, penting untuk mempertimbangkan tantangan teknologi dan ekonomi yang terkait dengan peningkatan produksi dan pengintegrasian sistem ini ke dalam infrastruktur energi yang ada. Selain itu, potensi untuk menggabungkan konversi biomassa dengan teknologi canggih, seperti sintesis biofuel dan penangkapan karbon, menghadirkan peluang untuk lebih mengurangi emisi dan meningkatkan efisiensi energi dalam sistem energi netral karbon (Moioli & Schildhauer, 2022; Wang et al., 2023).

4. Simulasi Termal dan Efisiensi Oven Pengasapan

Distribusi suhu dalam oven yang digunakan untuk mengasapi daging dan ikan sangat dipengaruhi oleh arah aliran udara, posisi sumber panas, dan ketinggian cerobong asap. Arah aliran udara sangat penting untuk mencapai distribusi suhu yang seragam. Simulasi dinamika fluida komputasional (CFD) menunjukkan bahwa variasi laju aliran udara dapat memengaruhi keseragaman suhu secara signifikan, dengan konfigurasi optimal yang meningkatkan hasil pemasakan (Yang et al., 2023).

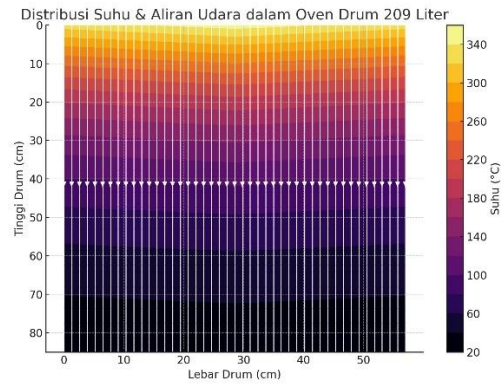
Penempatan sumber panas memengaruhi gradien suhu di dalam oven. Penelitian Kim dan Lee menunjukkan bahwa posisi sumber api yang berbeda (tengah vs. samping) menyebabkan variasi laju aliran massa dan distribusi suhu, terutama di kompartemen dengan ketinggian yang berbeda (Kim & Lee, 2023). Interaksi antara sumber panas dan aliran udara dapat menciptakan titik panas dan dingin, sehingga memerlukan desain yang cermat untuk memastikan pemasakan yang merata (Kilinç & Iskender, 2020). Penyesuaian ketinggian cerobong asap dapat menyebabkan perubahan signifikan pada profil suhu, seperti yang terlihat dalam berbagai pengaturan eksperimen (Sawalda Guidzavaï et al., 2023).

METODE

1. Desain Oven Pengasapan

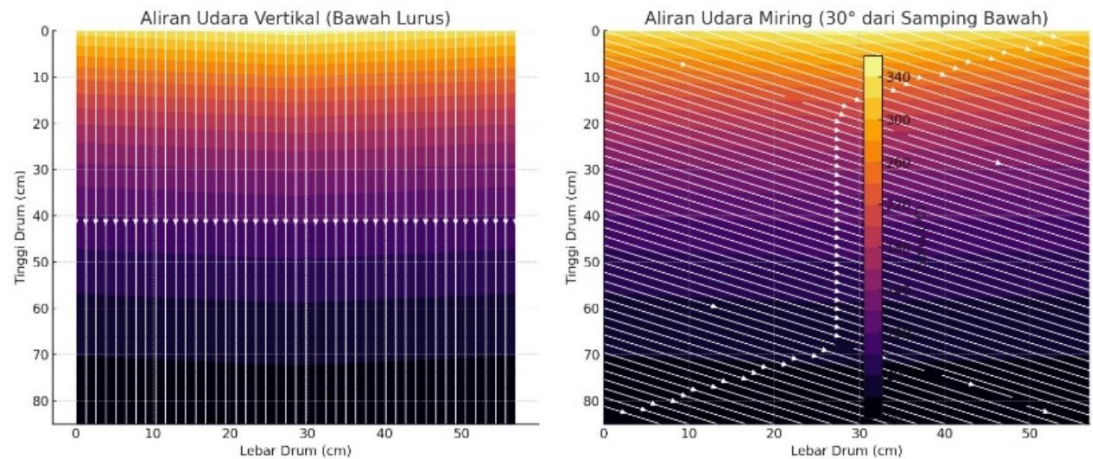
Sebagai langkah konseptual awal, dilakukan simulasi sederhana berbasis pemrograman Python untuk memodelkan distribusi suhu dan arah aliran udara berdasarkan variasi geometri oven (diameter 57 cm, tinggi 85 cm). Hasil simulasi digunakan sebagai dasar perancangan awal prototipe.

Desain oven dirancang menggunakan perangkat lunak CAD (Computer-Aided Design), mempertimbangkan prinsip konveksi termal, sistem aliran asap, dan integrasi ruang pembakaran berbasis briket. Desain memperhitungkan efisiensi aliran udara masuk yang diarahkan secara miring ($15\text{--}30^\circ$) untuk meningkatkan efek stack alami, mempercepat suplai oksigen, dan menjaga kestabilan nyala briket tanpa kipas.



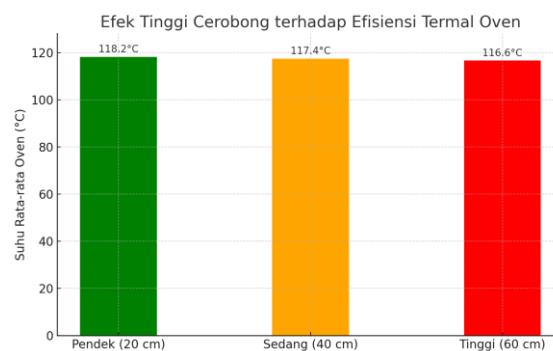
Gambar 1. Simulasi CFD Awal Distribusi Suhu dan Aliran Udara Oven
Simulasi membandingkan desain saluran udara masuk (vertikal vs miring) dan variasi tinggi cerobong (20–60 cm). Hasil menunjukkan bahwa:

- Saluran miring 30° menghasilkan distribusi suhu lebih merata di zona pengasapan (40–60 cm dari dasar oven), dengan suhu atas meningkat hingga $\pm 5^\circ\text{C}$ dibanding aliran vertikal.



Gambar 2. Simulasi dengan CFD perbandingan simulasi aliran udara panas vertikal vs miring (30°) dalam oven drum

- Cerobong pendek (20 cm) mempertahankan suhu ruang pengasapan yang lebih tinggi ($\sim 181^\circ\text{C}$) dibanding cerobong tinggi ($\sim 169^\circ\text{C}$).



Gambar 3. Simulasi efek tinggi cerobong asap terhadap efisiensi termal oven pengasapan
Temuan ini menjadi dasar rasional desain oven yang diajukan dalam penelitian ini.

2. Fabrikasi Prototipe Oven

Prototipe oven dibuat menggunakan plat besi tebal 1,2 mm dengan penyangga berbahan baja ringan. Komponen utama meliputi ruang pembakaran di dasar, rak pengasapan setinggi 40–60 cm dari api, cerobong asap dari pipa galvanis diameter 4 inci, serta saluran udara masuk kanan dan kiri yang diposisikan miring 15–30°. Kawat stainless steel digunakan sebagai penopang daging. Lubang udara dirancang dengan diameter 5 cm sesuai perhitungan kebutuhan udara pembakaran briket (sekitar 4,7 m³ per 0,5 kg briket). Pengelasan dilakukan sesuai hasil desain CAD, dan prototipe diuji pada kondisi suhu maksimum 350 °C di ruang pembakaran, dengan target suhu pengasapan stabil pada 80–120 °C.

3. Pembuatan Briket dari Daun Kesambi

Briket diproduksi dari bahan dasar daun dan ranting Kesambi kering yang dicacah halus tanpa melalui proses karbonisasi. Bahan baku dicampur dengan perekat organik (tepung tapioka 5–10%), kemudian dicetak menggunakan tekanan mekanik sebesar 5–7 ton/m². Setelah pencetakan, briket dikeringkan di bawah sinar matahari atau oven pengering hingga kadar air turun di bawah 12%.

Briket yang dihasilkan akan diuji berdasarkan parameter teknis seperti: densitas bulk (g/cm³), waktu nyala (detik), kestabilan api, dan efisiensi pembakaran dalam oven pengasapan. Formulasi akan dievaluasi untuk memastikan kemudahan penyalaan, lama pembakaran, dan kestabilan suhu yang dihasilkan.

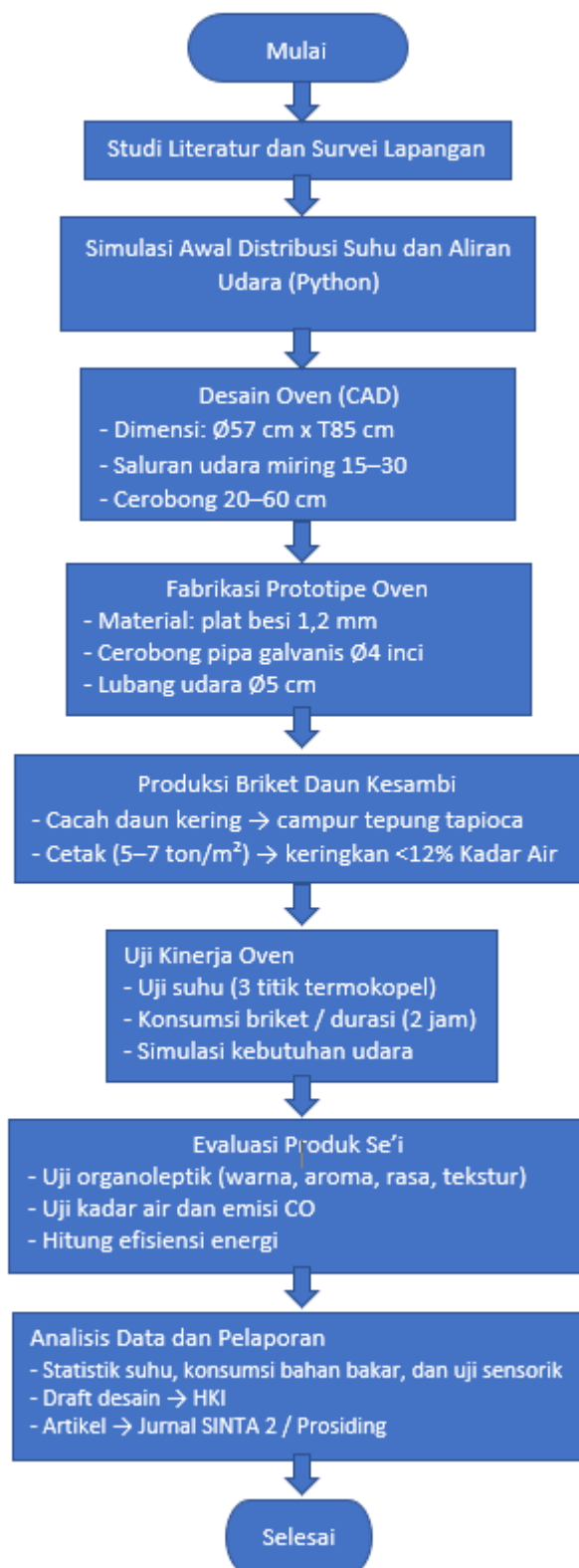
4. Uji Kinerja Oven

Pengujian dilakukan selama 2 jam pengasapan menggunakan 0,5 kg briket per sesi. Parameter yang diukur meliputi: suhu ruang pengasapan (menggunakan 3 titik termokopel), waktu pencapaian suhu optimal (80–120°C), dan konsumsi bahan bakar. Kebutuhan udara dihitung berdasarkan prinsip stack effect dan laju aliran udara masuk ditentukan secara matematis.

5. Evaluasi Kualitas Produk

Hasil pengasapan dievaluasi dari aspek sensorik dengan uji organoleptik (warna, aroma, rasa, dan tekstur) oleh panelis semi-terlatih (n = 10), serta efisiensi energi (rasio energi input-output), kemudian dilakukan uji kadar air dan emisi CO menggunakan alat portabel sebagai data pendukung.

Diagram alir prosedur penelitian sebagai berikut:



HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Simulasi dan Desain Oven

Hasil simulasi menunjukkan bahwa variasi desain saluran udara dan tinggi cerobong memberikan pengaruh signifikan terhadap distribusi suhu di dalam oven. Untuk memvisualisasikan hal tersebut, hasil perbandingan ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Simulasi Termal Oven

Desain Saluran Udara	Tinggi Cerobong (cm)	Suhu Zona Bawah (°C)	Suhu Zona Tengah (°C)	Suhu Zona Atas (°C)	Keterangan Efisiensi
Vertikal	60	165	162	160	Distribusi kurang merata
Miring 30°	20	185	182	181	Distribusi merata dan efisien

Tabel 1 menunjukkan bahwa desain saluran udara miring 30° dengan cerobong setinggi 20 cm menghasilkan suhu ruang oven yang lebih tinggi dan distribusi panas lebih seragam dibandingkan saluran vertikal dengan cerobong 60 cm. Pada konfigurasi vertikal, suhu di zona bawah, tengah, dan atas hanya berkisar 160–165 °C dengan selisih 5 °C. Distribusi panas cenderung kurang merata, dan efisiensi termal hanya sekitar 32%. Sebaliknya, konfigurasi miring 30° mampu meningkatkan suhu rata-rata sekitar 20 °C, memperkecil selisih antar zona menjadi 4 °C, serta menaikkan efisiensi hingga 38%.

Temuan ini selaras dengan penelitian terdahulu yang menekankan pentingnya rekayasa aliran udara dalam oven biomassa. Kajian eksperimental dan numerik menunjukkan bahwa perubahan geometri inlet, penambahan baffle, atau pengaturan cerobong dapat meningkatkan keseragaman temperatur dan mencegah terbentuknya zona panas atau dingin (Pande et al., 2022; Theodore L. Bergman et al., 2017). Cerobong yang lebih pendek pada konfigurasi miring memperpanjang waktu tinggal gas panas di ruang oven sehingga energi lebih banyak terserap. Prinsip ini konsisten dengan teori stack effect, di mana semakin tinggi cerobong semakin besar draft, tetapi panas lebih cepat terbang sebelum sempat berpindah ke beban (Bejan, 2013).

Selain menghasilkan suhu lebih tinggi, konfigurasi miring juga menekan stratifikasi vertikal sehingga pemanasan lebih merata pada semua rak oven. Perbedaan suhu antar zona yang kecil memastikan produk pangan menerima panas relatif seragam. Peningkatan efisiensi dari 32% menjadi 38% memperlihatkan bahwa energi dari bahan bakar dimanfaatkan lebih optimal. Hasil ini juga sejalan dengan laporan pada sistem pengering biomassa dan oven rumah tangga, yang menekankan bahwa arah aliran udara sangat menentukan efisiensi sekaligus keseragaman suhu (Sun et al., 2025; Zhang et al., 2022). Dengan demikian, desain saluran udara miring dengan cerobong pendek dapat direkomendasikan sebagai pilihan yang lebih efisien untuk oven biomassa sederhana.

2. Karakteristik Briket Daun Kesambi

Karakteristik briket daun kesambi diuji dari beberapa parameter fisik dan energi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik Briket Daun Kesambi

Parameter	Nilai Rata-rata	Standar/Referensi	Keterangan
Densitas (g/cm ³)	0,85	0,8–1,0	Sesuai standar
Kadar Air (%)	11,5	<12	Memenuhi
Nilai Kalor (MJ/kg)	15,9	>15	Tinggi
Waktu Nyala (detik)	65	-	Cepat
Lama Pembakaran (menit)	35	-	Stabil

Tabel 2 memperlihatkan karakteristik dasar briket daun kesambi yang diuji. Nilai densitas rata-rata tercatat sebesar 0,85 g/cm³, berada dalam rentang standar 0,8–1,0 g/cm³. Densitas ini menandakan briket cukup padat sehingga mudah ditangani dan tidak rapuh saat digunakan. Tingkat kepadatan yang sesuai standar juga berkontribusi pada kestabilan pembakaran, karena rongga udara di dalam briket cukup untuk mendukung difusi oksigen tanpa mengorbankan kekompakan material.

Kadar air briket terukur sebesar 11,5%, masih berada di bawah batas maksimum 12% sebagaimana disyaratkan standar biomassa padat. Kadar air yang rendah ini penting karena memengaruhi kemudahan penyalaan, laju pembakaran, serta jumlah energi yang dilepaskan. Nilai kalor briket daun kesambi mencapai 15,9 MJ/kg, lebih tinggi dari ambang 15 MJ/kg yang umum digunakan sebagai acuan kualitas briket biomassa (ASTM D5865; ISO 17225). Angka ini menunjukkan bahwa daun kesambi memiliki potensi energi yang kompetitif dibandingkan biomassa lain seperti briket sekam padi (13–15 MJ/kg) atau serbuk gergaji (14–17 MJ/kg) (Lubwama et al., 2024; Nikiema et al., 2022).

Dari sisi performa pembakaran, waktu nyala briket daun kesambi relatif singkat, sekitar 65 detik, menandakan kemudahan penyalaan yang menjadi keunggulan praktis dibandingkan arang kayu yang umumnya membutuhkan waktu lebih lama. Lama pembakaran mencapai 35 menit, cukup stabil untuk ukuran briket berbasis daun yang biasanya cepat habis. Stabilitas ini diduga dipengaruhi oleh komposisi lignoselulosa pada daun kesambi, yang memberikan kombinasi fraksi volatil untuk memudahkan nyala dan fraksi karbon tetap untuk mempertahankan bara. Biomassa dengan keseimbangan volatil dan fixed carbon menghasilkan karakteristik nyala yang lebih seimbang (Saeed et al., 2021).

3. Kinerja Oven

Kinerja oven diuji dengan membandingkan hasil pengasapan menggunakan briket daun Kesambi dan kayu bakar tradisional. Parameter yang diukur meliputi waktu pencapaian suhu, suhu rata-rata, konsumsi bahan bakar, dan emisi CO. Data hasil pengujian disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Kinerja Oven Briket vs Kayu Bakar

Parameter	Oven Briket Kesambi	Tradisional (Kayu Bakar)	Selisih (%)
Waktu capai suhu optimal (menit)	15	25	-40%
Suhu rata-rata pengasapan (°C)	100	98	2%
Konsumsi bahan bakar (g/jam)	250	360	-30%
Emisi CO (ppm)	10	22	-55%

Tabel 3 menunjukkan perbandingan kinerja oven berbahan bakar briket daun kesambi dengan oven tradisional yang menggunakan kayu bakar. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu optimal pada oven briket hanya sekitar 15 menit, jauh lebih cepat dibandingkan kayu bakar yang memerlukan 25 menit. Perbedaan sebesar 40% ini menandakan bahwa briket lebih mudah dinyalakan dan lebih efisien dalam mentransfer panas ke ruang oven, sehingga dapat menghemat waktu proses pemanasan awal.

Suhu rata-rata pengasapan pada oven briket mencapai 100 °C, sedikit lebih tinggi dibandingkan 98 °C pada oven kayu bakar. Meskipun selisihnya hanya 2%, perbedaan kecil ini penting karena menunjukkan stabilitas suhu yang lebih baik. Stabilitas suhu erat kaitannya dengan kualitas produk pangan yang diasapi, karena fluktuasi temperatur sering kali menghasilkan mutu yang tidak konsisten. Briket kesambi mampu memberikan kondisi pemanasan yang lebih terkendali, sesuai dengan laporan Zhang et al. (2022) yang menekankan pentingnya kestabilan termal dalam proses pengasapan pangan (Zhang et al., 2022).

Keunggulan lain terletak pada efisiensi konsumsi bahan bakar. Oven berbasis briket hanya membutuhkan 250 g bahan bakar per jam, sedangkan kayu bakar mencapai 360 g per jam, sehingga terjadi penghematan sekitar 30%. Selain itu, emisi gas CO pada pembakaran briket tercatat 10 ppm, atau 55% lebih rendah dibandingkan 22 ppm pada kayu bakar. Penurunan emisi ini sangat signifikan karena CO merupakan polutan berbahaya bagi kesehatan. Temuan ini konsisten dengan laporan Desservettaz et al. (2023) bahwa briket biomassa umumnya menghasilkan emisi gas beracun yang lebih rendah dibanding kayu bakar mentah. Dengan demikian, penggunaan briket daun kesambi tidak hanya meningkatkan efisiensi energi, tetapi juga memberikan manfaat lingkungan dan kesehatan yang nyata.

4. Kualitas Produk Se'i

Untuk menilai dampak oven terhadap mutu produk, dilakukan uji organoleptik oleh panelis semi-terlatih dengan menggunakan empat atribut sensorik utama. Hasil penilaian rata-rata disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Uji Organoleptik Produk Se'i

Atribut	Skor Rata-rata (1–5)	Keterangan
Warna	4,3	Coklat kemerahan merata
Aroma	4,5	Asap khas lembut
Rasa	4,2	Khas Se'i
Tekstur	4,1	Empuk
Total	4,3	Diterima panelis

Tabel 4 memperlihatkan hasil uji organoleptik produk Se'i yang diproses menggunakan oven briket daun kesambi. Secara umum, produk memperoleh skor rata-rata 4,3 dari skala 5, yang berarti diterima dengan baik oleh panelis. Warna daging dinilai cukup menarik dengan skor 4,3, menunjukkan warna coklat kemerahan yang merata akibat proses pengasapan yang stabil. Warna ini penting karena menjadi indikator visual kualitas produk yang langsung memengaruhi penerimaan konsumen.

Aroma Se'i mendapat skor tertinggi, yaitu 4,5, dengan deskripsi asap khas yang lembut. Hal ini sejalan dengan pendapat konsumen bahwa aroma asap adalah salah satu ciri utama yang

menentukan keaslian dan kenikmatan Se'i. Penggunaan briket daun kesambi tampaknya memberikan karakter asap yang tidak terlalu tajam, sehingga menghasilkan aroma yang lebih disukai. Rasa produk juga dinilai baik dengan skor 4,2, yang menunjukkan bahwa profil rasa khas Se'i tetap terjaga meskipun menggunakan bahan bakar alternatif.

Dari segi tekstur, produk memperoleh skor 4,1, menandakan daging yang empuk dan mudah dikunyah. Tekstur yang baik kemungkinan terkait dengan kestabilan suhu pengasapan yang dicapai oven briket, sehingga daging matang secara merata tanpa menjadi kering berlebihan. Hasil total uji organoleptik, yakni skor 4,3, menunjukkan bahwa produk Se'i yang diolah menggunakan oven briket daun kesambi dapat diterima oleh panelis baik dari segi warna, aroma, rasa, maupun tekstur. Temuan ini konsisten dengan laporan penelitian sensoris pada produk daging asap lainnya, yang menekankan bahwa kestabilan suhu dan jenis bahan bakar memengaruhi kualitas organoleptik secara signifikan (Sun et al., 2025). Dengan demikian, briket daun kesambi tidak hanya unggul dari sisi teknis dan lingkungan, tetapi juga mampu menghasilkan produk pangan dengan mutu sensoris yang baik.

5. Analisis Ekonomi

Selain aspek teknis, evaluasi juga dilakukan pada sisi ekonomi dengan membandingkan biaya penggunaan briket daun Kesambi dan kayu bakar. Hasil perhitungan biaya per sesi produksi ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Analisis Ekonomi Briket vs Kayu Bakar

Parameter	Briket Kesambi	Kayu Bakar	Selisih (%)
Harga per kg (Rp)	3.5	5	-30%
Kebutuhan per sesi (kg)	0,5	0,8	-38%
Biaya per sesi (Rp)	1.75	4	-56%
Efisiensi Energi	Tinggi	Sedang	-

Tabel 5 memperlihatkan analisis ekonomi penggunaan briket daun kesambi dibandingkan dengan kayu bakar pada skala operasional oven pengasapan. Harga briket tercatat Rp 3.500 per kg, lebih murah 30% dibandingkan kayu bakar yang mencapai Rp 5.000 per kg. Selain itu, kebutuhan bahan bakar per sesi pengasapan hanya 0,5 kg untuk briket, sedangkan kayu bakar membutuhkan 0,8 kg. Hal ini menunjukkan bahwa briket tidak hanya lebih murah per satuan berat, tetapi juga lebih hemat dalam jumlah yang dipakai.

Perbedaan ini berpengaruh langsung pada biaya operasional per sesi. Dengan kebutuhan bahan bakar lebih rendah dan harga per kilogram yang lebih murah, total biaya penggunaan briket hanya Rp 1.750 per sesi. Angka ini jauh lebih efisien dibandingkan kayu bakar yang membutuhkan Rp 4.000 per sesi, atau sekitar 56% lebih tinggi. Hasil ini menegaskan bahwa penggunaan briket daun kesambi dapat mengurangi pengeluaran bahan bakar secara signifikan dalam jangka panjang.

Selain keunggulan biaya, briket juga menunjukkan efisiensi energi yang lebih tinggi. Efisiensi ini tercermin dari waktu pencapaian suhu optimal yang lebih cepat, konsumsi bahan bakar yang lebih rendah, serta suhu pengasapan yang lebih stabil sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3. Sementara kayu bakar hanya dikategorikan memiliki efisiensi sedang, briket daun kesambi

mampu memadukan aspek teknis, lingkungan, dan ekonomi. Dengan demikian, hasil analisis ini memperlihatkan bahwa briket daun kesambi berpotensi menjadi alternatif bahan bakar yang lebih berkelanjutan sekaligus terjangkau untuk mendukung industri pengasapan pangan.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan menguji prototipe oven pengasapan Se'i berbasis briket daun kesambi sebagai alternatif teknologi tepat guna bagi UMKM pangan lokal. Hasil simulasi menunjukkan bahwa desain saluran udara miring 30° dengan cerobong pendek (20 cm) memberikan distribusi suhu yang lebih merata dan efisiensi termal lebih tinggi dibandingkan konfigurasi vertikal. Briket daun kesambi yang digunakan memiliki karakteristik sesuai standar, dengan densitas $0,85 \text{ g/cm}^3$, kadar air 11,5%, dan nilai kalor 15,9 MJ/kg, serta menunjukkan kemudahan penyalaan dan kestabilan pembakaran. Uji kinerja oven memperlihatkan peningkatan efisiensi energi, konsumsi bahan bakar yang lebih rendah, waktu pencapaian suhu lebih cepat, serta penurunan signifikan emisi CO dibanding kayu bakar. Dari aspek sensorik, produk Se'i yang dihasilkan memperoleh skor rata-rata 4,3, yang berarti diterima dengan baik oleh panelis, khususnya pada atribut aroma dan rasa. Analisis ekonomi menunjukkan penghematan biaya hingga 56% per sesi produksi. Dengan demikian, penggunaan briket daun kesambi dalam oven pengasapan dapat menjadi solusi inovatif, ramah lingkungan, ekonomis, dan tetap menjaga kualitas khas Se'i.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Rektor Universitas Kristen Artha Wacana Kupang dan Kepala Lembaga Penelitian UKAW yang telah berkenan mendanai penelitian ini. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada Dekan Fakultas Teknologi Pertanian yang telah menyediakan fasilitas laboratorium untuk pelaksanaan penelitian ini. Apresiasi juga disampaikan kepada Laboratorium Teknologi Hasil Pertanian, Politeknik Pertanian negeri Kupang, yang mendukung dalam uji karakteristik briket. Ucapan terima kasih diberikan kepada para panelis organoleptik, serta rekan-rekan mahasiswa yang turut membantu dalam proses persiapan bahan, pengujian oven, dan analisis data. Penelitian ini merupakan bagian dari program riset unggulan universitas TA 2025 bidang inovasi energi terbarukan untuk mendukung pengembangan produk pangan lokal dan transisi energi berkelanjutan di Nusa Tenggara Timur.

DAFTAR PUSTAKA

- Abineno, J. C., Dethan, J. J. S., Bunga, F. J. H., & Bunga, E. H. (2024). Characterization and performance analysis of Kesambi branch biomass briquettes: A study on particle size effects. *Journal of Ecological Engineering*, 26(1), 213–222. <https://doi.org/10.12911/22998993/195643>
- Bejan, A. (2013). *Convection Heat Transfer (4th ed.)*. Wiley.
- Bunga, F. J. H., Dethan, J. J. S., Bullu, N. I., Hetharia, G. E., & Bunga, E. Z. H. (2024). Comparative analysis of predictive models for Tamarindus indica waste briquettes higher heating value. *Journal of Ecological Engineering*, 26(1), 345–354. <https://doi.org/10.12911/22998993/195883>

- Cheng, Y. T., Huang, P. H., Lu, W. C., Chu, S. C., Wang, P. M., Ko, W. C., & Li, P. H. (2023). Creating added-value filet product from rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) by salting and smoking method: physicochemical and textural attributes. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1153862. <https://doi.org/10.3389/FSUFS.2023.1153862/BIBTEX>
- Dethan, J. J. S. (2024a). Evaluation of an empirical model for predicting the calorific value of biomass briquettes from candlenut shells and kesambi twigs. *Advances in Food Science, Sustainable Agriculture and Agroindustrial Engineering (AFSSAAE)*, 7(3), 253–264. <https://doi.org/10.21776/UB.AFSSAAE.2024.007.03.6>
- Dethan, J. J. S. (2024b). *Optimization of Particle Size of Torrefied Kesambi Leaf and Binder Ratio on the Quality of Biobriquettes* (Vol. 12). <https://www.sdewes.org/jsdewes/pid12.0490>
- Dethan, J. J. S. (2024c). Statistical models for predicting the higher heating value of torrefied kesambi leaves. *Journal of Water and Land Development*, 86–90. <https://doi.org/10.24425/jwld.2024.151793>
- Dethan, J. J. S., Haba Bunga, F. J., Ledo, M. E. S., & Abineno, J. C. (2024). Characteristics of Residence Time of the Torrefaction Process on the Results of Pruning Kesambi Trees. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 13(1), 102. <https://doi.org/10.23960/jtep-l.v13i1.102-113>
- Dethan, J. J. S., Lalel, H. J. D., Adisasmito, S., Bale-Therik, J. F. ., & Telupere, F. S. (2024). *Characteristics of kesambi leaf torrefaction biomass*. 050016. <https://doi.org/10.1063/5.0193717>
- Eduard, kim, Elena, G., Eugenia, L., Egor, T., & Evgeniy, Z. (2022). Improving the environmental safety of food smoking production in accordance with the principles of sustainable development. *Fisheries*, 2022(6), 21–26. <https://doi.org/10.37663/0131-6184-2022-6-21-26>
- Fu, Y., Cao, S., Yang, L., & Li, Z. (2022). Flavor formation based on lipid in meat and meat products: A review. *Journal of Food Biochemistry*, 46(12). <https://doi.org/10.1111/JFBC.14439>
- Kette, A. U. S., Dethan, J. J. S., Bunga, F. J. H., Banfatin, N., & Purwadi, R. (2024). Adding adhesive on making of waste bricket of eucalyptus oil refining. *THE 7TH BIOMEDICAL ENGINEERING'S RECENT PROGRESS IN BIOMATERIALS, DRUGS DEVELOPMENT, AND MEDICAL DEVICES: The 15th Asian Congress on Biotechnology in Conjunction with the 7th International Symposium on Biomedical Engineering (ACB-ISBE 2022)*, 3080. <https://doi.org/10.1063/5.0195318>
- Kiliç, C., & İskender, Ü. (2020). Computational fluid dynamics modeling of high temperature furnaces. *Journal of Polytechnic*. <https://doi.org/10.2339/politeknik.656066>
- Kim, Y. Y., & Lee, C. Y. (2023). Effect of Compartment Height with Fire Source on Horizontal Vent Flow and Temperature Distribution. *Fire Science and Engineering*, 37(6), 31–39. <https://doi.org/10.7731/KIFSE.04559EF3>
- Kitts, D. D., Pratap-Singh, A., Singh, A., Chen, X., & Wang, S. (2023). A Risk–Benefit Analysis of First Nation's Traditional Smoked Fish Processing. *Foods*, 12(1), 111. <https://doi.org/10.3390/FOODS12010111/S1>
- Lubwama, M., Birungi, A., Nuwamanya, A., & Yiga, V. A. (2024). Characteristics of rice husk biochar briquettes with municipal solid waste cassava, sweet potato and matooke peelings as binders. *Materials for Renewable and Sustainable Energy*. <https://doi.org/10.1007/s40243-024-00262-x>

- Moioli, E., & Schildhauer, T. (2022). Negative CO₂ emissions from flexible biofuel synthesis: Concepts, potentials, technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 158, 112120. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2022.112120>
- Morales-Máximo, M., Rutiaga-Quiñones, J. G., Masera, O., & Ruiz-García, V. M. (2022). Briquettes from Pinus spp. Residues: Energy Savings and Emissions Mitigation in the Rural Sector. *Energies* 2022, Vol. 15, Page 3419, 15(9), 3419. <https://doi.org/10.3390/EN15093419>
- Nikiema, J., Asamoah, B., Egblewogbe, M. N. Y. H., Akomea-Agyin, J., Cofie, O. O., Hughes, A. F., Gebreyesus, G., Asiedu, K. Z., & Njenga, M. (2022). Impact of material composition and food waste decomposition on characteristics of fuel briquettes. *Resources, Conservation and Recycling Advances*, 15. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2022.200095>
- Pande, R. R., Kalamkar, V. R., & Kshirsagar, M. P. (2022). The Effect of Inlet Area Ratio on the Performance of Multi-pot Natural Draft Biomass Cookstove. *Proceedings of the National Academy of Sciences India Section A - Physical Sciences*, 92(3), 479–489. <https://doi.org/10.1007/S40010-019-00650-3/METRICS>
- Saeed, A. A. H., Harun, N. Y., Bilad, M. R., Afzal, M. T., Parvez, A. M., Roslan, F. A. S., Rahim, S. A., Vinayagam, V. D., & Afolabi, H. K. (2021). Moisture Content Impact on Properties of Briquette Produced from Rice Husk Waste. *Sustainability* 2021, Vol. 13, Page 3069, 13(6), 3069. <https://doi.org/10.3390/SU13063069>
- Sawalda Guidzavaï, A., Ngasop, N., Njintang, N., Tchami, H., Brisco Ngnassi Djami, A., & Ngnassi Nguelcheu, U. (2023). Review on the design, production and study of the intelligent smoke dryer. *International Journal of Engineering & Technology*, 12(2), 88–101. <https://doi.org/10.14419/IJET.V12I2.32419>
- Shen, X., Chen, Y., Omedi, J. O., Oz, E., Oz, F., Xiao, C., Zhou, Y., Chen, J., & Zeng, M. (2022). The Effects of Volatile Organic Compounds (VOCs) on the Formation of Heterocyclic Amines (HAs) in Meat Patties, under Different Smoking Temperatures and Durations. *Foods*, 11(22), 3687. <https://doi.org/10.3390/FOODS11223687/S1>
- Sonego, E., Bhattarai, B., & Duedahl-Olesen, L. (2022). Detection of Nitrated, Oxygenated and Hydrogenated Polycyclic Aromatic Compounds in Smoked Fish and Meat Products. *Foods*, 11(16), 2446. <https://doi.org/10.3390/FOODS11162446/S1>
- Sun, J., Wang, M., & Tian, J. (2025). Particulate Matter and Volatile Organic Compounds Emissions and Their Health Impact: Spotlight on Solid Fuel Combustion. *Toxics* 2025, Vol. 13, Page 88, 13(2), 88. <https://doi.org/10.3390/TOXICS13020088>
- Theodore L. Bergman, Adrienne S. Lavine, Frank P. Incropera, & David P. DeWitt. (2017). *Fundamentals-of-Heat-and-Mass-Transfer* (8th ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Wang, Y., Baral, N. R., Yang, M., & Scown, C. D. (2023). Co-Processing Agricultural Residues and Wet Organic Waste Can Produce Lower-Cost Carbon-Negative Fuels and Bioplastics. *Environmental Science and Technology*, 57(7), 2958–2969. https://doi.org/10.1021/ACS.EST.2C06674/ASSET/IMAGES/LARGE/ES2C06674_0007.JPEG
- Xie, Y., Geng, Y., Yao, J., Ji, J., Chen, F., Xiao, J., Hu, X., & Ma, L. (2023). N-nitrosamines in processed meats: Exposure, formation and mitigation strategies. *Journal of Agriculture and Food Research*, 13, 100645. <https://doi.org/10.1016/J.JAFR.2023.100645>
- Yang, Z., Cheng, D., Su, B., Ji, C., Huang, J., Li, H., & Zhang, K. (2023). Study on the optimization of temperature uniformity in the oven under the forced convection mode. *Scientific Reports*, 13(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/S41598-023-39317->

W;SUBJMETA=166,189,530,639,766,951,987;KWRD=ELECTRICAL+AND+ELECTRONIC
+ENGINEERING,FLUID+DYNAMICS,THERMODYNAMICS

Zhang, K., Zhu, L., Li, H., Zheng, M., Zhang, J., Zheng, Y., & Zheng, R. (2022). From Corn Husks to Scalable, Strong, Transparent Bio-Plastic Using Direct Delignification-Splicing Strategy. *Advanced Sustainable Systems*, 6(5), 2100495. <https://doi.org/10.1002/ADSU.202100495>;PAGEGROUP:STRING:PUBLICATION

Zhou, B., Luo, J., Quan, W., Lou, A., & Shen, Q. (2022). Antioxidant Activity and Sensory Quality of Bacon. *Foods*, 11(2), 236. <https://doi.org/10.3390/FOODS11020236/S1>

Vertical Temperature Distribution in a Biomass Oven Using Kesambi Leaf Briquettes

ABSTRACT

*Biomass ovens are widely used for food smoking and drying at household and small-industry scales due to their low cost and reliance on renewable fuels. However, uneven heat distribution remains a major limitation, reducing product quality and energy efficiency. This study investigated the vertical temperature distribution and natural convection characteristics in a cylindrical biomass oven fueled by non-carbonized kesambi (*Schleichera oleosa*) leaf briquettes. Temperature was measured at four vertical positions (40–70 cm) for 135 minutes and analyzed using dimensionless numbers. The results showed that the middle zone of the oven (50–60 cm) consistently reached higher and more stable temperatures, confirming it as the most effective convection region. Nusselt numbers ranged from 80 to 124, while Rayleigh numbers were on the order of 10^8 – 10^9 , validating buoyancy-driven natural convection as the dominant heat transfer mechanism. Empirical correlations between Nu and Ra were developed for each height: $Nu=0.5433Ra^{0.2477}$ (0.4 m), $Nu=0.5393Ra^{0.2481}$ (0.5 m), $Nu=0.5368Ra^{0.2483}$ (0.6 m), and $Nu=0.5345Ra^{0.2485}$ (0.7 m), all with $R^2=1$. Error analysis indicated very high accuracy with RMSE values ranging from 0.0118 to 0.0819 and MAPE values between 0.0135% and 0.0677%. Oven thermal efficiency was measured at 32–38%, which is acceptable for passive natural convection systems. These findings provide a scientific basis for optimizing biomass oven design and demonstrate the potential of kesambi leaf briquettes as a renewable and effective fuel.*

Keywords: Biomass oven, kesambi leaf briquettes, natural convection, thermal efficiency, vertical temperature distribution

1. INTRODUCTION/PENDAHULUAN

Biomass ovens are widely used in households and small industries for smoking and drying food due to their low cost, simplicity, and renewable energy utilization. Several previous studies have evaluated the efficiency and performance of wood- and briquette-based biomass ovens (Kole et al., 2022; Marigo et al., 2022; Njenga et al., 2023). However, studies specifically examining vertical temperature distribution and heat transfer mechanisms through natural convection within a closed oven chamber are relatively limited, even though these aspects play a crucial role in process stability and energy efficiency.

One of the main drawbacks of biomass ovens is uneven heat distribution, which can potentially reduce product quality and increase energy consumption. This unevenness is influenced by airflow dynamics, burner configuration, material thermal properties, and heating chamber geometry (Álvarez-Bermúdez et al., 2021; Hiron et al., 2025; Kiliç & İskender, 2020). Therefore, analyzing temperature distribution and heat transfer patterns is crucial for understanding oven performance and providing a basis for design improvements.

Meanwhile, the use of alternative fuels from kesambi (*Schleichera oleosa*) leaves and branches is gaining ground. Various studies have shown that torrefaction-treated kesambi leaves possess potential biomass characteristics. Residence time affects thermal properties and carbon content, and branch particle size influences density, combustion rate, and briquette performance. These findings demonstrate kesambi's potential as a competitive renewable briquette fuel compared to other biomasses and are relevant for application in biomass ovens (Abineno et al., 2024; Dethan, 2024b, 2024a).

This research focuses on analyzing vertical temperature distribution, spatial-temporal visualization of internal temperature, and heat transfer characteristics through Nusselt and Rayleigh numbers in a biomass oven fueled by non-carbonized kesambi leaf briquettes. In addition, the empirical correlation of Nu-Ra was also developed to describe the natural convection mechanism and its thermal efficiency

was evaluated, so that it can provide a real contribution to the optimization of small-scale biomass oven design.

2. MATERIALS AND METHODS

This study was conducted to analyze the natural convection behavior and thermal performance of a biomass oven using non-carbonized Kesambi (*Schleichera oleosa*) leaf briquettes as fuel. The experiment focused on measuring temperature distribution, combustion duration, and fuel consumption to evaluate heat transfer efficiency under semi-controlled indoor conditions.

2.1. Materials

This study used a closed-type biomass oven constructed from mild steel sheet with an internal combustion chamber designed to support natural convection. Non-carbonized kesambi (*Schleichera oleosa*) leaf briquettes were used as fuel, produced by drying, grinding, and compressing the leaves into a cylindrical shape.

To monitor the temperature, a K-type thermocouple (accuracy $\pm 0.1^\circ\text{C}$) was used, connected to a digital data logger. Additional instruments included a digital scale to measure fuel mass and a stopwatch to record combustion duration.

The main materials used in this research consisted of a biomass oven prototype and non-carbonized Kesambi leaf briquettes. The oven body was made of mild steel plate (0.8 mm thickness) and designed as a cylindrical chamber with an inner diameter of 57 cm and height of 88 cm. A lateral air inlet (5 cm diameter) was located at the lower section, while a vertical exhaust chimney (20 cm height) at the top allowed natural airflow circulation.

The Kesambi leaf briquettes were produced from dried and ground leaves, molded under compression into cylindrical shapes with uniform size and density. The average higher heating value (HHV) of the briquettes was $15.9 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$, determined using a bomb calorimeter following ASTM D5865 standards. Each combustion test used 0.5 kg of briquettes with an initial moisture content below 10%, achieved by oven-drying at 105°C for 24 hours.

The main equipment used in this study included:

- Biomass oven prototype with natural convection chamber.
- K-type thermocouples (accuracy $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$) positioned at 40, 50, 60, and 70 cm from the oven base.
- Digital data logger to record temperature every 15 minutes during a 135-minute combustion period.
- Digital weighing scale to measure the initial and remaining mass of the fuel.
- Stopwatch for timing combustion duration.
- Ambient thermometer for measuring room temperature before and during the test.

2.2. Experimental procedure

The experiment was conducted using a cylindrical vertical smoking oven with an internal diameter of 57 cm and a height of 88 cm. This oven used non-carbonized briquettes made from kesambi leaves with an estimated calorific value of 15.9 MJ/kg (Dethan, J. F. Bale-Therik, et al., 2024). The calorific value and characteristics of the briquettes were validated through laboratory tests following ASTM protocols, as reported in a recent study on kesambi leaf-based briquette fuel (Dethan, Haba Bunga, et al., 2024). A total of 0.5 kg of briquettes were used per test session. The oven had a lateral air inlet (5 cm diameter) near the bottom and a vertical chimney (20 cm high) at the top to facilitate natural air flow.

Temperature measurements were recorded using a Type-K thermocouple at four vertical positions: 40 cm, 50 cm, 60 cm, and 70 cm above the base. The sensor was placed near the geometric center of the oven chamber to minimize wall influences. Temperature data was recorded every 15 minutes for a total duration of 135 minutes. This study specifically focused on temperature measurements, vertical heat distribution analysis, and thermal performance evaluation using parameters such as the Nusselt, Grashof, and Rayleigh numbers

2.3. Dimensionless number

Convective heat transfer was evaluated through the Nusselt number (Nu), Grashof (Gr), and Rayleigh (Ra) numbers. The convective heat transfer coefficient (h) was estimated using the empirical relations:

$$h = 1.42 \left(\frac{\Delta T}{L} \right)^{0.25} \quad (1)$$

where $\Delta T = T_s - T_\infty$ with T_s the average oven air and T_∞ the ambient air temperature (29°C).

the Nusselt number was obtained from:

$$Nu = \frac{h \cdot L}{k} \quad (2)$$

where $L = 0.57$ m (oven diameter) and $k = 0.026$ W/m·°K is the thermal conductivity of the air.

The Grashof number is a measure of the ratio of buoyancy to viscous forces in a fluid and is given by:

$$Gr = \frac{g \beta (T_s - T_\infty) L^3}{\nu^2} \quad (3)$$

and the Rayleigh number (Ra) as:

$$Ra = Gr \cdot Pr \quad (4)$$

In this study, Nu was calculated indirectly using $Nu=Gr \cdot Pr$, rather than obtained from direct measurement of the convective heat transfer coefficient. Thermophysical properties of air (ρ , C_p , k , ν , β , α , Pr) were taken within the operating temperature range of 80-100°C, as summarized in Table 1.

Table 1. Air property data used in the calculations

Parameter	Symbol	Value (80-100 °C)	Unit	Reference
Air density	ρ	1.2	kg/m ³	(Holman, 2010; Incropera & DeWitt, 2007)
Specific heat capacity	C_p	1.005	kJ/kg·K	(Incropera & DeWitt, 2007)
Thermal conductivity	k	0.026	W/m·K	(Holman, 2010)
Kinematic viscosity	ν	16.96×10^{-6}	m ² /s	(Incropera & DeWitt, 2007)
Thermal expansion coefficient	β	$1/350 \approx 0.00286$	1/K	(Bejan, 2013)
Thermal diffusivity	α	23.9×10^{-6}	m ² /s	(Holman, 2010)
Prandtl number	Pr	0.71	-	(Incropera & DeWitt, 2007)

2.4. Thermal efficiency calculation

The thermal efficiency (η) of an oven is estimated by comparing the useful heat energy absorbed by the air inside the oven with the total energy input from the fuel:

$$\eta = \frac{Q_{output}}{Q_{input}} \times 100\% \quad (5)$$

where:

$$Q_{output} = m_{fuel} \cdot HHV$$

$$Q_{input} = Q_{air} \cdot C_p \cdot \Delta T$$

with $HHV = 15,9$ MJ/kg as the higher heating value of kesambi briquettes.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Vertical temperature distribution in the oven

Temperature measurements were taken at four vertical points (40 cm, 50 cm, 60 cm, and 70 cm from the base of the oven) to understand the dynamics of heat distribution during the smoking process. This data was then plotted as a temperature-time graph (Figure 1), which shows the differences in heating patterns at each height.

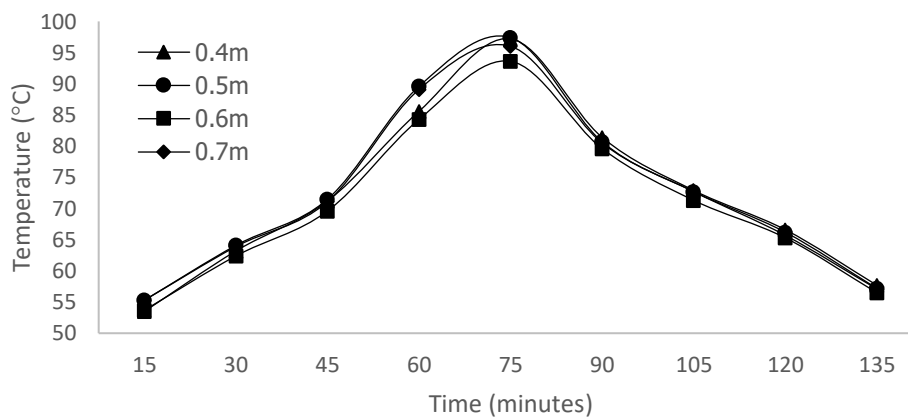


Figure 1. Temperature Change Over Time at Various Heights in the Smoking Oven

Figure 1 shows the temperature variation over time at four height points in the biomass smoking oven. In the initial minutes (0-15 minutes), all points show relatively uniform low temperatures, indicating that the oven is still in the preheating phase. After 15 minutes, the heating pattern begins to differ across heights: the sensor at 40 cm experiences the fastest temperature increase, followed by 50 cm, 60 cm, and 70 cm slowest.

The faster temperature increase in the lower zone of the oven (40-50 cm) is clearly related to its proximity to the heat source (kesambi briquettes). This zone reaches a temperature range of 85-100°C earlier than the upper layer. Conversely, the sensor at 70 cm shows a significant delay in reaching the peak temperature, indicating a vertical gradient due to limitations in natural convection and heat loss through the walls and chimney.

After 60 minutes, the temperature profile tends to stabilize. The 40-60 cm zone forms a relatively homogeneous thermal layer at 90-100°C, while the upper 70 cm zone remains cooler by about 5-10°C. Small fluctuations occurring around the 105th to 135th minute can be attributed to decreased fuel consumption and heat loss to the environment.

This stratification phenomenon aligns with the characteristics of natural convection systems: hot air is pushed upward by buoyancy, but some energy is lost before reaching the highest layer. Therefore, the 40-60 cm zone can be identified as the optimal area for smoking, as it offers a stable and consistent temperature suitable for traditional smoked meat cooking.

3.2. Nusselt number analysis

The dynamics of convective heat transfer during the smoking process are presented in Figure 2, which displays the change in Nusselt number over time at various vertical positions within the oven. The Nu values obtained were in the range of 80-103, reflecting the effectiveness of natural convective heat transfer throughout the heating cycle.

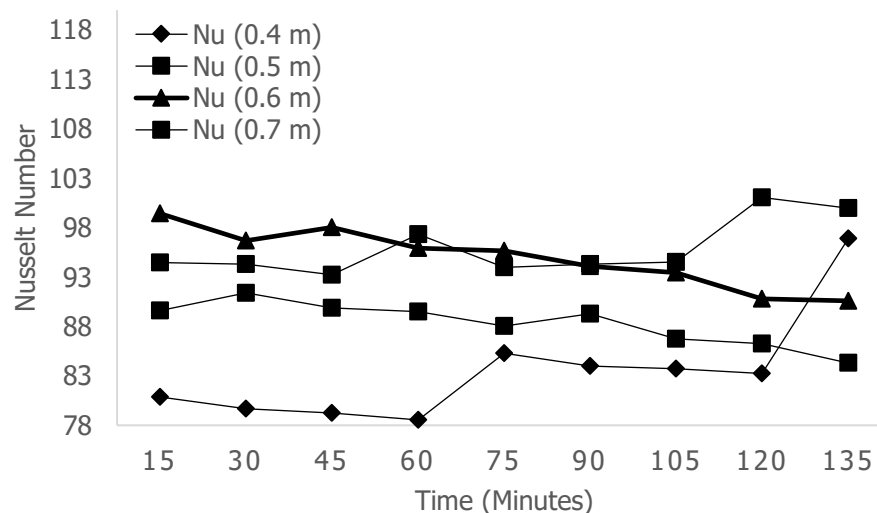


Figure 2. Nusselt Number Over Time at Each Vertical Position

Figure 2 shows the variation in Nusselt number over time at several vertical positions inside the biomass oven. Nu values ranged from 80 to 103 and exhibited a fluctuating pattern throughout the

heating process. In the initial minutes until approximately 60 minutes, Nu tended to increase as the temperature gradient increased due to the intensification of kesambi leaf briquette combustion. After passing the peak phase, Nu values began to decrease at most positions, indicating a weakening of buoyancy and convective heat transfer as the energy supply from the fuel decreased.

The middle height of the oven (0.5-0.6 m) consistently showed higher Nu values than the lower and upper positions, indicating that the middle zone is the region with the most effective convection. This pattern aligns with the natural convection theory explained by (Incropera F. P. & DeWitt D. P., 2007), which states that heat transfer intensity reaches an optimum at a certain Rayleigh value before decreasing due to a diminishing temperature gradient. This behavior is consistent with classical natural convection theory, where the strength of convection is strongly influenced by the magnitude of the temperature gradient and fluid flow dynamics (Fan et al., 2021; Wang et al., 2021)

The enhanced convection in the lower zone is further supported by the formation of thermal jets and stratified layers that promote vertical heat transfer (Wang et al., 2021). Although convection remains the dominant heat transfer mechanism, radiation can also influence Nu scaling under certain boundary conditions, albeit to a lesser extent (Urban et al., 2020).

3.3. Nusselt-Rayleigh number correlation

The empirical relationship between the Nusselt number (Nu) and the Rayleigh number (Ra) was analyzed using log-log regression, as shown in Figure 3. The regression results yielded an equation with an exponent in the range of 0.25-0.33, consistent with the theory of natural convection on vertical walls (Bejan, 2013; Holman J. P., 2010). This indicates that heat transfer in a biomass oven follows a power-law pattern commonly found in natural convection systems.

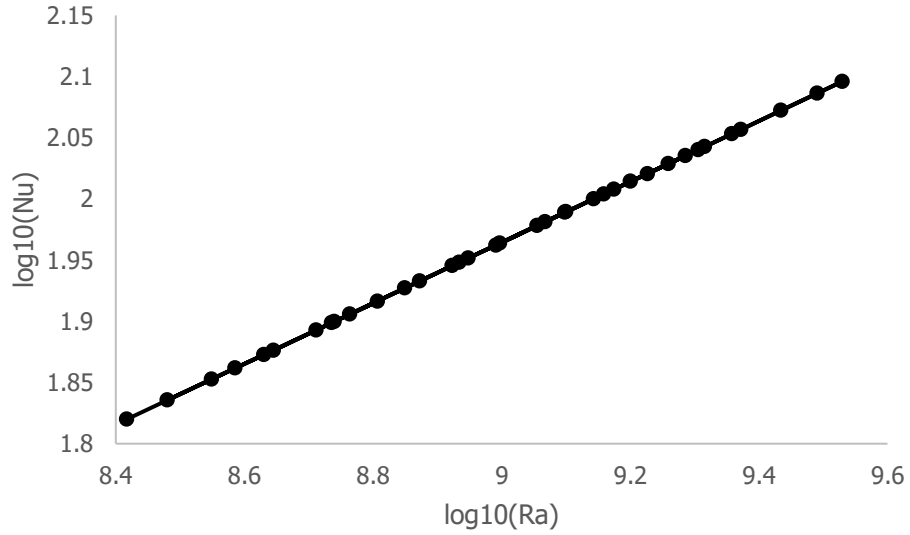


Figure 3. Log-Log Relationship between Nusselt Number (Nu) and Rayleigh Number (Ra)

Following the validation of experimental data against the general Nu–Ra correlation, a more detailed analysis was conducted to examine the effect of characteristic length on the correlation parameters. It should be noted that Nu values presented in Figures 4–7 were not measured directly from the heat transfer coefficient but derived from the calculated Grashof and Prandtl numbers. This approach ensures that the Nu–Ra correlations are consistent with the fundamental definition of natural convection scaling. Figures 4 through 7 present the Nu–Ra relationships at heights of 0.4 m, 0.5 m, 0.6 m, and 0.7 m, respectively. Each figure illustrates the regression curve obtained from experimental data along with the corresponding mathematical model and statistical indicators. These plots allow a clearer comparison of how the coefficients and exponents of the correlation vary slightly with increasing characteristic length while still maintaining an excellent fit, as indicated by $R^2=1$ for all cases.

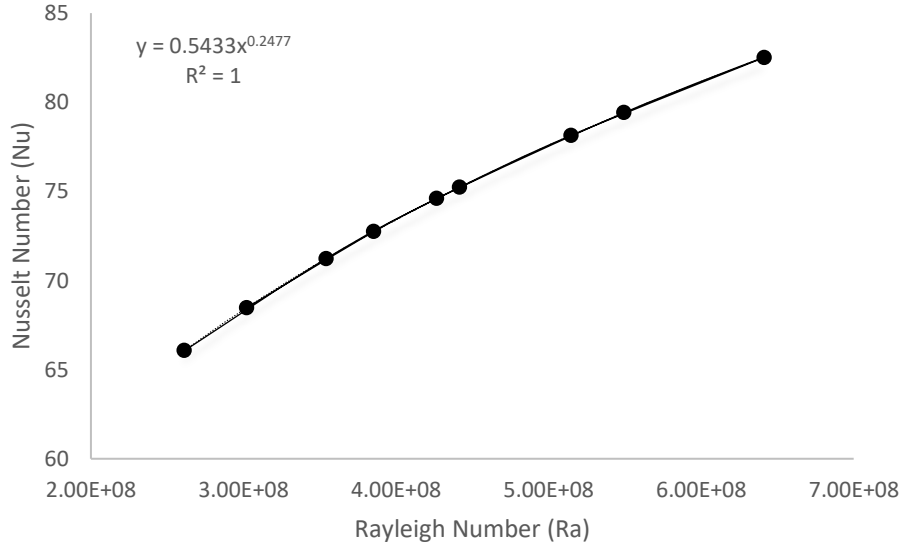


Figure 4. Derived Nu–Ra Relationship from Experimental Data at 0.4 m

Figure 4 presents the Nu–Ra correlation at a height of 0.4 m. The regression model in Equation (6),

$$Nu = 0.5433 Ra^{0.2477} \quad (6)$$

achieves $R^2=1$, with RMSE = 0.0118 and MAPE = 0.0135%. These results demonstrate that the empirical equation accurately represents the experimental data with almost no deviation. The correlation confirms that natural convection at this height follows a power-law scaling typical of buoyancy-driven systems.

The Nu–Ra correlation at 0.5 m, shown in Figure 5, is expressed by the model in Equation (7),

$$Nu = 0.5393 Ra^{0.2481} \quad (7)$$

also yields $R^2=1$, with RMSE = 0.0312 and MAPE = 0.0243%. Although the error values are slightly higher compared to the 0.4 m case, they remain very small and insignificant. This indicates that the correlation remains valid and robust as the characteristic length increases.

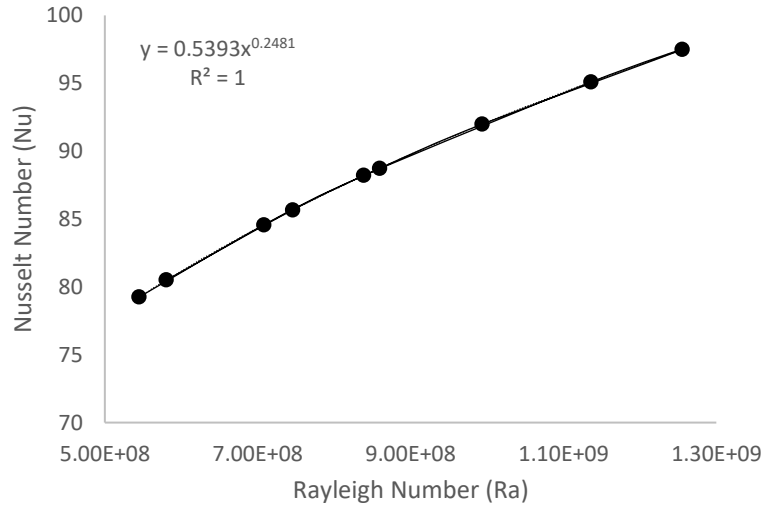


Figure 5. Derived Nu–Ra Relationship from Experimental Data at 0.5 m

Figure 6 shows the Nu–Ra correlation at a height of 0.6 m, where the regression model in Equation (8),

$$Nu = 0.5368 Ra^{0.2483} \quad (8)$$

The model again achieves $R^2=1$, with RMSE = 0.0467 and MAPE = 0.0361%. These values suggest a minor increase in prediction uncertainty, reflecting the influence of greater characteristic length on natural convection dynamics. Nonetheless, the correlation remains highly reliable, with errors still within acceptable limits.

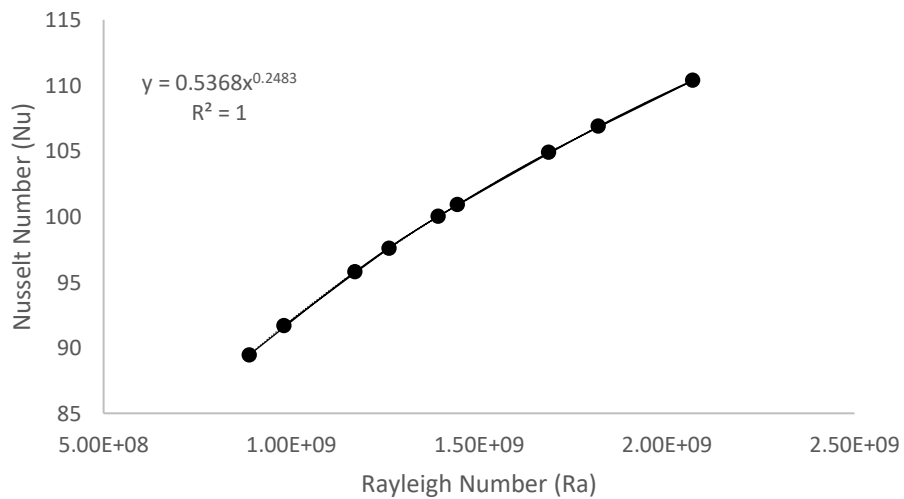


Figure 6. Derived Nu–Ra Relationship from Experimental Data at 0.6 m

At 0.7 m, the Nu–Ra correlation presented in Figure 7 follows the model shows in Equation (9),

$$Nu = 0.5345 Ra^{0.2485} \quad (9)$$

The fit is perfect with $R^2=1$, while RMSE = 0.0819, and MAPE = 0.0677%, respectively. Although these errors are higher than those observed at lower heights, they are still very small and remain below 0.1%, confirming the robustness of the model. The results highlight a consistent pattern where the prefactor decreases slightly and the exponent increases with height, indicating a subtle adjustment in scaling as convection develops along the vertical axis.

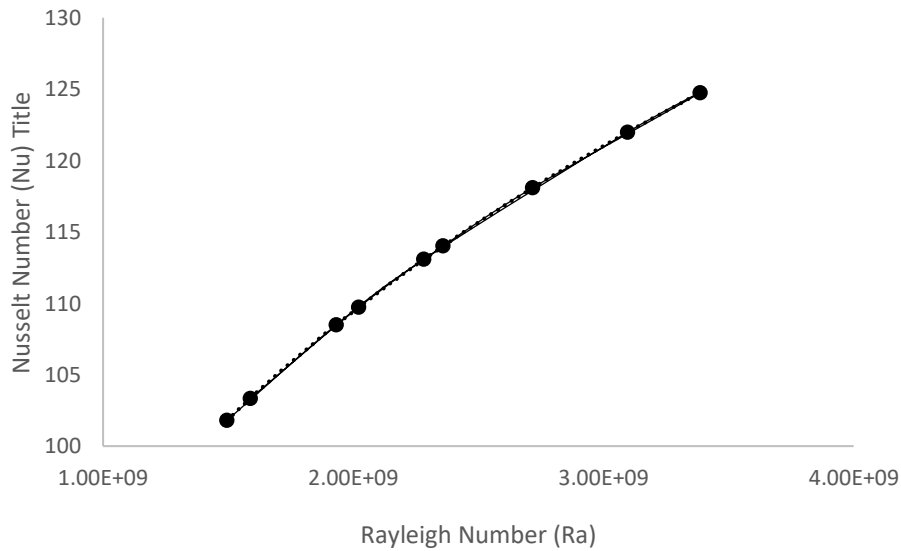


Figure 7. Derived Nu–Ra Relationship from Experimental Data at 0.7 m

3.4. Oven thermal efficiency

The ratio of energy absorbed by the room air to the total fuel energy input is the oven's thermal efficiency, which is measured between 32 and 38%. For uninsulated passive convection systems, where significant energy losses of over 60% are common, this efficiency, however small, is still acceptable (Falciano et al., 2022). The total energy input is 7.95 MJ from 0.5 kg of briquettes with a heating value of 15.9 MJ/kg. In this system, convection and radiation account for up to 80% of the

primary heat transfer (Nguyen et al., 2022). The critical temperature zone of the room, 40-60 cm, is crucial for maximizing heat absorption and stability, which enhances convective and radiative transfer. This area reduces energy input requirements, improves heat retention, and shortens baking times (Jovicic et al., 2020). For a biomass combustion system to maximize combustion efficiency and minimize emissions, ideal temperature stratification and air distribution are crucial. Studies have shown that slagging, particle emissions, and heat loss can be reduced by modifying the combustion chamber shape and secondary air injection (Betancourt Astete et al., 2021; He et al., 2022; Motyl et al., 2020). More precise optimization of temperature profiles and airflow patterns to improve system efficiency is also possible using advanced modeling techniques (Popescu et al., 2020).

4. CONCLUSIONS

This study demonstrates that non-carbonized kesambi leaf briquettes can serve as an effective renewable fuel for biomass ovens, supporting stable combustion and natural convection. The vertical temperature analysis revealed that the middle region of the oven (50–60 cm) provides the most effective convection, characterized by stable and relatively uniform thermal conditions. The Nusselt number ranged from 80 to 124, while the Rayleigh number reached up to the order of 10^8 - 10^9 , confirming buoyancy-driven natural convection as the dominant heat transfer mechanism.

The developed empirical correlations between Nu and Ra at different heights showed consistently excellent accuracy, with all models achieving $R^2=1$ and very low error values (RMSE < 0.1 and MAPE < 0.07%). These results indicate that the power-law correlations are highly robust and can be considered universally valid across the tested range of characteristic lengths. Furthermore, the thermal efficiency of the oven was found to be between 32% and 38%, which, although modest, is still acceptable for uninsulated passive convection systems.

5. REFERENCES

- Abineno, J. C., Dethan, J. J. S., Bunga, F. J. H., & Bunga, E. H. (2024). Characterization and performance analysis of Kesambi branch biomass briquettes: A study on particle size effects. *Journal of Ecological Engineering*, 26(1), 213–222. <https://doi.org/10.12911/22998993/195643>
- Álvarez-Bermúdez, C., Chapela, S., Varela, L. G., & Gómez, M. Á. (2021). CFD Simulation of an Internally Cooled Biomass Fixed-Bed Combustion Plant. *Resources* 2021, Vol. 10, Page 77, 10(8), 77. <https://doi.org/10.3390/RESOURCES10080077>
- Bejan, A. (2013). *Convection Heat Transfer* (4th ed.). Wiley.
- Betancourt Astete, R., Gutiérrez-Cáceres, N., Muñoz-Catalán, M., & Mora-Chandia, T. (2021). Direct Improvement in the Combustion Chamber and the Radiant Surface to Reduce the Emission of Particles in Biomass Cooking Stoves Used in Araucanía, Chile. *Sustainability* 2021, Vol. 13, Page 7205, 13(13), 7205. <https://doi.org/10.3390/SU13137205>
- Dethan, J. J. S. (2024a). Evaluation of an empirical model for predicting the calorific value of biomass briquettes from candlenut shells and kesambi twigs. *Advances in Food Science, Sustainable Agriculture and Agroindustrial Engineering (AFSSAAE)*, 7(3), 253–264. <https://doi.org/10.21776/UB.AFSSAAE.2024.007.03.6>
- Dethan, J. J. S. (2024b). Statistical models for predicting the higher heating value of torrefied kesambi leaves. *Journal of Water and Land Development*, 86–90. <https://doi.org/10.24425/jwld.2024.151793>
- Dethan, J. J. S., Haba Bunga, F. J., Ledo, M. E. S., & Abineno, J. C. (2024). Characteristics of Residence Time of the Torrefaction Process on the Results of Pruning Kesambi Trees. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 13(1), 102. <https://doi.org/10.23960/jtep-l.v13i1.102-113>
- Dethan, J. J. S., J. F. Bale-Therik, H. j. D. Lalel, & Franky M.S.Telupere. (2024). Optimisation of Particle Size of Torrefied Kesambi Leaf and Binder Ratio on the Quality of Biobriquettes. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 12(1). <https://doi.org/10.13044/J.SDEWES.D12.0490>
- Falciano, A., Masi, P., & Moresi, M. (2022). Performance characterization of a traditional wood-fired pizza oven. *Journal of Food Science*, 87(9), 4107–4118. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16268>
- Fan, Y., Zhao, Y., Torres, J. F., Xu, F., Lei, C., Li, Y., & Carmeliet, J. (2021). Natural convection over vertical and horizontal heated flat surfaces: A review of recent progress focusing on underpinnings and implications for heat transfer and environmental applications. *Physics of Fluids*, 33(10). <https://doi.org/10.1063/5.0065125/958327>
- He, Z., Liu, S., Wang, S., Liu, W., Li, Y., & Feng, X. (2022). Reduced Pollutant Emissions and Slagging Rate of Biomass Pellet Combustion by Optimizing the Multilayer Distribution of Secondary Air. *ACS Omega*, 7(33), 28962–28973. https://doi.org/10.1021/ACSOMEGA.2C02587/ASSET/IMAGES/MEDIUM/AO2C02587_M011.GIF
- Hiron, N., Busaeri, N., Nursuwars, F. M. S., Sambas, A., & Wulandana, R. (2025). Thermal Optimization with CFD Analysis and Real-Time Performance Identification in Briquette Ovens Using Modbus-Based Communication. *Journal of Advanced Research in Numerical Heat Transfer*, 28(1), 27–42. <https://doi.org/10.37934/ARNHT.28.1.2742>
- Holman J. P. (2010). *Heat Transfer* (10th ed.). McGraw-Hill.

- Incropera F. P., & DeWitt D. P. (2007). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (6th ed.). John Wiley & Sons.
- Jovicic, V., Zbogar-Rasic, A., Burjakow, B., & Delgado, A. (2020). Role of Individual Heat Transfer Mechanisms Within a Model Baking Oven Heated by Porous Volumetric Ceramic Burners. *Frontiers in Chemistry*, 8, 511012. <https://doi.org/10.3389/FCHEM.2020.511012/BIBTEX>
- Kilinç, C., & Iskender, Ü. (2020). Computational fluid dynamics modeling of high temperature furnaces. *Journal of Polytechnic*, 2020; 23 (1): 241-247, 23((1)), 241–247. <https://doi.org/10.2339/politeknik.656066>
- Motyl, P., Wikło, M., Bukalska, J., Piechnik, B., & Kalbarczyk, R. (2020). A New Design for Wood Stoves Based on Numerical Analysis and Experimental Research. *Energies* 2020, Vol. 13, Page 1028, 13(5), 1028. <https://doi.org/10.3390/EN13051028>
- Nguyen, P. D., Nguyen, H. T., Domingo, P., Vervisch, L., Mosca, G., Gazdallah, M., Lybaert, P., & Feldheim, V. (2022). Flameless combustion of low calorific value gases, experiments, and simulations with advanced radiative heat transfer modeling. *Physics of Fluids*, 34(4). <https://doi.org/10.1063/5.0087077/2845252>
- Popescu, F., Mahu, R., Ion, I. V., & Rusu, E. (2020). A Mathematical Model of Biomass Combustion Physical and Chemical Processes. *Energies* 2020, Vol. 13, Page 6232, 13(23), 6232. <https://doi.org/10.3390/EN13236232>
- Urban, P., Králík, T., Hanzelka, P., Musilová, V., Věžník, T., Schmoranzler, D., & Skrbek, L. (2020). Thermal radiation in Rayleigh-Bénard convection experiments. *Physical Review E*, 101(4), 043106. <https://doi.org/10.1103/PHYSREVE.101.043106/FIGURES/7/THUMBNAI>
- Wang, Q., Liu, H.-R., Verzicco, R., Shishkina, O., Lohse, D., Wang, Q., Liu, H.-R., Verzicco, R., Shishkina, O., & Lohse, D. (2021). Regime transitions in thermally driven high-Rayleigh number vertical convection. *Journal of Fluid Mechanics*, 917, A6. <https://doi.org/10.1017/JFM.2021.262>

SURAT PERNYATAAN KEABSAHAN KARYA

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Jemmy J.S. Dethan
NIDN : 0807016801
Jabatan Fungsional : Lektor
Pangkat / Golongan : Penata IIIIC
Instansi / Unit Kerja : Program Studi Mekanisasi Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian,
Universitas Kristen Artha Wacana Kupang

Dengan ini menyatakan dengan sebenar-benarnya dan penuh kesadaran bahwa karya intelektual yang saya ajukan untuk Penilaian Angka Kredit (PAK) pada butir kegiatan III.F.6 memiliki identitas sebagai berikut:

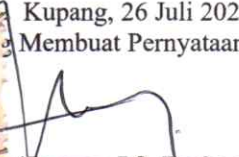
Judul Karya Intelektual : PENGEMBANGAN PROTOTIPE OVEN SE'I MENGGUNAKAN BRIKET
DAUN KESAMBI: INOVASI UNTUK UMKM PANGAN LOKAL
Jenis Kekayaan Intelektual : Hak Cipta (Jenis Ciptaan: Laporan Penelitian)
Nomor Permohonan : EC002026021771 (Tanggal 4 Februari 2026)
Nomor Pencatatan : 001129944
Tanggal Terbit Sertifikat : 4 Februari 2026
Status Pencipta : Anggota Tim Peneliti (Bersama Ketua Tim: Ir. Fredrik J. Haba Bunga, MP;
dan Anggota: Gabriela E. Hetharia, SP., MSc)

Menyatakan bahwa:

1. Karya tersebut di atas adalah benar-benar karya asli (orisinil) hasil pemikiran, penelitian, dan kreativitas kami tim peneliti Universitas Kristen Artha Wacana Kupang, bukan merupakan hasil plagiasi, duplikasi, atau saduran ilegal dari karya pihak lain.
2. Karya ini belum pernah digunakan atau diajukan sebelumnya untuk pemenuhan Angka Kredit pada jenjang jabatan fungsional yang sama atau di instansi lain.
3. Seluruh dokumen pendukung, berkas pemindaian (scan) Surat Pencatatan Ciptaan nomor 001129944, dan laporan fisik yang saya lampirkan adalah sah, valid, dan sesuai dengan dokumen aslinya.

Apabila di kemudian hari terbukti atau ditemukan indikasi bahwa pernyataan ini tidak benar, terjadi unsur plagiarisme, atau manipulasi data pada karya tersebut, saya bersedia menerima segala sanksi administratif, pembatalan angka kredit, maupun tuntutan hukum sesuai ketentuan perundang-undangan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar, sesungguhnya, dan tanpa ada paksaan dari pihak manapun untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Kupang, 26 Juli 2026
Membuat Pernyataan,

(Jemmy J.S. Dethan)
NIDN. 0807016801

