

Perbandingan Teknologi Pengeringan Kopra dengan Metode Indeks Kinerja Komposit

(Comparing Copra Drying Technologies using The Composite Performance Index Method)

Mohamad Yani*, Naufal Ali Hamid, Tyara Puspaningrum, Ika Amalia Kartika, Andes Ismayana

(Diterima September 2021/Disetujui Maret 2022)

ABSTRAK

Kinerja teknologi pengeringan merupakan salah satu operasi terpenting dalam produksi kopra. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi berbagai metode pengeringan pada produksi kopra dan menentukan metode terbaik berdasarkan kriteria operasi pengeringan, dampak lingkungan, dan mutu produk kopra. Penelitian diawali dengan mengidentifikasi metode pengeringan kopra melalui kajian literatur dan pengumpulan data sekunder, dilanjutkan dengan penentuan metode pengeringan terbaik dengan menggunakan metode indeks kinerja komposit (*composite performance index*, CPI). Dari sembilan metode pengeringan, teridentifikasi enam kisaran: skala pengolahan kelapa 20–1.200 kg, suhu pengeringan kopra 40–70°C, waktu pengeringan 7,9–48 jam, laju pengeringan 1,05–5,70%/jam, penggunaan energi 110,7–32.140 kJ/kg-produk, dan menghasilkan emisi 0,10–34,07 kg-CO₂/kg-produk. Sembilan metode pengeringan tersebut menghasilkan produk yang bermutu baik berdasarkan standar produk kopra. Berdasarkan perhitungan nilai alternatif menggunakan metode CPI, metode pengeringan terbaik adalah pengeringan menggunakan alat pengering dengan kondisi suhu pengeringan 68°C dan laju pengeringan 5,70 %/jam. Metode pengeringan ini menggunakan energi sebesar 14.824 kJ/kg-produk dan menghasilkan nilai emisi 1,25 kg-CO₂/kg-produk. Kopra yang dihasilkan dari pengeringan ini memiliki kadar air 5%, kadar minyak 60%, dan kadar asam lemak bebas 1%.

Kata kunci: *composite performance index*, kelapa, kopra, teknologi pengeringan

ABSTRACT

The drying performance technology is one of the most critical operations in copra production. This study aims to identify various drying methods in copra production and determine the best copra drying method based on the criteria of drying operation, environmental impact, and copra product quality. The research was carried out with the stage of identifying the drying methods of copra through literature studies and secondary data collection and continued with the stage of determining the best drying method using the composite performance index (CPI) method. Of nine drying methods, six range were identified as coconut processing scale 20–1200 kg, copra drying temperature 40–70°C, drying time 7.9-48 hours, drying rate 1.05–5.70%/hour, energy use 110.7–32140 kJ/kg-product, and the emission of 0.1–34.074 kg-CO₂/kg-product. The nine methods of drying copra produce good quality copra based on copra product standards. Based on the calculation of alternative values using the CPI method, it has been shown that the best drying method was using a dryer with a drying temperature of 68°C and a drying rate of 5.70 %/hour. This drying method uses the energy of 14824 kJ/kg product and produces an emission value of 1.25 kg-CO₂/kg product. The copra produced by this drying method gives 5% moisture, 60% oil, and 1% free fatty acid.

Keywords: coconut, composite performance index, copra, drying technology

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan perkebunan kelapa terluas di dunia. Permintaan global akan produk kelapa senantiasa berubah dan merupakan potensi bagi Indonesia. Produksi kelapa Indonesia meningkat seiring dengan penambahan luas perkebunan kelapa, dengan rata-rata pertumbuhan 0,006%. Rata-rata pertumbuhan ini lebih tinggi daripada rata-rata dunia,

dan tepat untuk meningkatkan kembali hasil produksi. Menurut Ditjenbun (2021), pada tahun 2020 Indonesia memproduksi 2,8 juta ton kelapa dengan produktivitas 1,106 ton/ha. Luas perkebunan kelapa di Indonesia mencapai sekitar 3,57 juta ha atau 31% dari total areal kelapa di dunia.

Pada tahun 2016, kepemilikan areal kelapa terbagi menjadi tiga, yaitu perkebunan rakyat seluas 3,5 juta ha (98,97%), perkebunan besar swasta 32,7 ribu ha (0,92%), dan perkebunan besar negara 3,8 ribu ha (0,11%). Perkebunan rakyat selalu mendominasi total areal perkebunan kelapa Indonesia dari tahun 1971–2016 (Ditjenbun 2016). Salah satu produk olahan kelapa yang banyak dihasilkan oleh perkebunan rakyat adalah kopra yang merupakan produk setengah jadi.

Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

* Penulis Korespondensi: Email: moh.yani@apps.ipb.ac.id

yaitu 0,001%, artinya perlu ditempuh langkah cepat

Menurut the *United Nation Commodity Trade* (UNCT 2015), Produk kopra Indonesia menguasai 31,9% pangsa pasar dunia, dan pada tahun 2013 menjadi eksportir terbesar dunia. Pangsa pasar yang besar ini sangat penting karena menguntungkan secara ekonomi bagi negara, yaitu kontribusinya pada devisa negara dan posisi kompetitif kopra Indonesia di dunia. Meski menjadi produsen kopra terbesar di dunia, Indonesia masih mengimpor berbagai produk kopra dan turunannya. Bila dibandingkan dengan nilai impornya, nilai ekspor kopra Indonesia dan turunannya yang sangat tinggi dipandang berpotensi untuk meningkatkan daya saing guna menghasilkan produk kopra yang lebih berdaya saing di pasar internasional. Upaya peningkatan daya saing produk menjadi tantangan utama bagi produk kopra Indonesia untuk bertahan di era perdagangan bebas.

Daya saing produk kopra dan olahannya menjadi salah satu hal penting untuk perekonomian Indonesia. Salah satu parameter mutu dari kopra adalah kadar air yang sangat dipengaruhi oleh teknologi pengeringan yang diterapkan. Pengeringan merupakan proses penting yang memengaruhi mutu kopra untuk mencapai tingkat kadar air yang diinginkan. Penerapan teknologi pengeringan pada produksi kopra di Indonesia sangat beragam, dari yang hanya mengandalkan sinar matahari hingga pengeringan dengan menggunakan peralatan dengan masukan energi yang cukup besar. Efektivitas, efisiensi, dan kemampuan menangani teknologi pengeringan adalah beberapa hal yang perlu dipertimbangkan saat akan menerapkan metode pengeringan kopra. Oleh karena itu, pada penelitian ini dianalisis beberapa metode pada teknologi pengeringan kopra meliputi suhu pengeringan, waktu pengeringan, laju pengeringan, jumlah energi yang digunakan dalam proses pengeringan, dan emisi CO₂ yang dihasilkan dalam satu periode pengeringan agar menghasilkan kopra bermutu baik. Tujuan penelitian adalah mengidentifikasi berbagai metode pengeringan kopra meliputi penggunaan suhu pengeringan, skala pengeringan, waktu yang dibutuhkan pada proses pengeringan, laju pengeringan, dan mutu kopra yang dihasilkan, menghitung jumlah penggunaan energi dan emisi CO₂ yang dihasilkan, serta menentukan metode pengeringan yang efektif dan efisien.

METODE PENELITIAN

Pengumpulan Data

Jenis dan sumber data yang digunakan berupa data sekunder. Data sekunder diperoleh dari penelitian terdahulu, jurnal, kajian pustaka, dan catatan pemerintah yang didapatkan dari internet, repositori Institut Pertanian Bogor, dan Perpustakaan Balai Besar Industri Agro, Bogor.

Informasi yang dikumpulkan meliputi teori-teori yang berhubungan dengan pengeringan kopra khususnya mengenai aspek kadar air akhir, suhu

pengeringan, waktu yang dibutuhkan dalam satu kali operasi pengeringan, energi yang dibutuhkan, skala pengeringan, laju pengeringan, emisi CO₂ yang dihasilkan selama pengeringan, dan mutu kopra yang dihasilkan serta pelbagai teori yang berhubungan dengan masalah pengendalian mutu secara statistik.

Kriteria Data

Berdasarkan data pengolahan kopra yang tersedia, ditentukan tiga kriteria, yaitu proses pengeringan (X1–X3), dampak lingkungan (X4, X5), dan mutu kopra (X6–X8), sebagai berikut: X1 adalah suhu (°C); X2 adalah waktu (jam); X3 adalah laju pengeringan (%/jam); X4 adalah penggunaan energi (J/kg-produk); X5 adalah emisi CO₂ (kg-CO₂/kg-produk); X6 adalah kadar air (%); X7 adalah kadar minyak (%); dan X8 adalah asam lemak bebas (%).

Penskoran

Dari karakteristik mutu kopra, skor ditentukan menggunakan metode penskoran. Dengan metode ini, data kualitatif dianalisis dengan memberi nilai pada setiap fitur parameter subvariabel sehingga dapat diperingkatkan (Gunawan *et al.* 2014).

Indeks Kinerja Komposit (CPI)

Metode pengeringan kopra didasarkan pada tiga kriteria, yaitu operasi pengeringan (X1–X3), dampak lingkungan (X4, X5), dan mutu kopra (X6–X8), dengan menggunakan metode CPI.

Metode CPI adalah metode perhitungan pengambilan keputusan berdasarkan indikator kerja gabungan, yang menentukan evaluasi atau pemeringkatan berbagai alternatif (i) *n* menurut beberapa indikator (j). Metode CPI memberi nilai indikator yang tidak seragam (Marimin 2004). Formula yang digunakan untuk menilai atau memberi peringkat dari berbagai alternatif (i) berdasarkan beberapa indikator (j) pada metode CPI adalah sebagai berikut:

$$M_{i,j} = \frac{X_{i,j}}{\min(X_j)} \times 100$$

$$M(i+1, j) = \frac{X(i+1, j)}{\min(X_j)} \times 100$$

$$I_{i,j} = A_i \times P_j$$

$$I_i = \sum_{j=1}^m I_{i,j}$$

Keterangan:

$M_{i,j}$ = Nilai alternatif ke-*i* pada indikator ke-*j*

$X_{i,j}$ = Nilai ke-*i* pada indikator ke-*j*

$\min(X_j)$ = Nilai minimum pada indikator ke-*j*

$M(i+1, j)$ = Nilai alternatif ke-*i*+1 pada indikator ke-*j*

$X(i+1, j)$ = Nilai ke-*i*+1 pada indikator ke-*j*

P_j = Bobot kepentingan indikator

$I_{i,j}$ = Indeks alternatif ke-*i* pada indikator ke-*j*

I_i = Indeks gabungan indikator pada alternatif ke-*i*

i = 1, 2, 3, ..., *n*

$$j = 1, 2, 3, \dots, m$$

Prosedur dalam CPI dijelaskan sebagai berikut: 1) Identifikasi indikator tren positif (semakin tinggi nilainya, semakin baik) dan indikator tren negatif (semakin rendah nilainya, semakin baik); 2) Untuk indikator tren positif, nilai minimum setiap indikator diubah menjadi 100, sedangkan nilai lainnya dikonversi secara proporsional menjadi lebih tinggi; 3) Untuk indikator tren negatif, nilai minimum setiap indikator diubah menjadi 100, sedangkan nilai lainnya dikonversi secara proporsional menjadi lebih rendah; dan 4) Perhitungan nilai alternatif adalah penjumlahan hasil kali nilai indeks dan bobot indeks.

Pada pengolahan data CPI ditentukan bobot kriteria dari 8 parameter (X1–X8) berdasarkan kepentingan dari setiap kriteria operasi, dampak lingkungan, dan mutu kopra. Bobot ini ditentukan dengan metode wawancara dengan pakar bidang teknologi kelapa dan bidang lingkungan.

Perhitungan Emisi CO₂

Emisi gas rumah kaca yang akan terbentuk pada proses pengeringan meliputi CO₂ yang dihasilkan. Sumber energi yang digunakan pada proses pengeringan menghasilkan emisi CO₂ baik dari sumber energi yang berasal dari matahari, listrik, biomassa, maupun gas. Energi biomassa cukup banyak digunakan pada operasi pengeringan, tetapi emisi yang dihasilkan dari biomassa tersebut dikategorikan sebagai karbon netral karena karbon yang tersimpan di dalam tanaman selama pertumbuhan dilepaskan kembali dalam jumlah dan wujud yang sama. Emisi tersebut dapat dihitung menggunakan dasar perhitungan yang ditetapkan pada *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) tahun 2006. Hasil setiap perhitungan emisi dikonversi menjadi setara CO₂.

- **Listrik**

$$CO_2 = Q_L \times FE \text{ (5)}$$

Keterangan:

Q_L = Konsumsi listrik (kWh)

FE = Faktor emisi (0,99 kg CO₂/kWh) (RUPTL PLN 2015)

- **Biomassa (kayu bakar, sabut, dan tempurung kelapa)**

$$CO_2 = Q_F \times N_k \times FE \text{ (6)}$$

Keterangan:

Q_F = Konsumsi bahan bakar (kg)

N_k = Nilai kalor bersih bahan bakar (TJ/kg)

FE = Faktor emisi (100.000 kg CO₂/TJ) (IPCC 2006)

- **Gas LPG (*liquefied petroleum gas*)**

$$CO_2 = Q_F \times N_k \times FE \text{ (7)}$$

Keterangan:

Q_F = Konsumsi bahan bakar (kg)

N_k = Nilai kalor bersih (0,000045 TJ/kg)

FE = Faktor emisi (63.100 kg CO₂/TJ) (IPCC 2006)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Kopra

Buah kelapa yang cocok untuk membuat kopra adalah buah kelapa tua dan belum bertunas. Buah yang dipanen dan dibelah segera dibawa ke tempat pengolahan, karena lama waktu setelah kelapa dibelah akan memengaruhi kerusakan yang terjadi sebelum proses pengeringan sehingga akan memengaruhi mutu kopra yang dihasilkan. Semakin lama selisih waktu antara pembelahan dan pengeringan, jumlah dan persentase kopra mutu rendah/merah-merah dan hitam-merah akan meningkat. Kelapa yang sudah dibuka diarahkan menghadap ke atas agar terjadi penguapan. Sebelum diolah menjadi kopra, kelapa disimpan di tempat sejuk selama kurang lebih 2 pekan untuk membuat daging kelapa lebih keras sehingga lebih melindungi daging dari mikroba selama operasi pengeringan, sekaligus mempermudah pemisahan sabut dari buah kelapa, dan tempurung dari daging buah (Suheiti *et al.* 2005). Sabut dihilangkan untuk memudahkan operasi berikutnya, dan air buah dikeluarkan untuk mempertahankan mutu buah kelapa. Sabut dipisahkan dengan menggunakan pisau atau mesin pengupas sabut, lalu dibentuk sesuai dengan kebutuhan untuk pengolahan selanjutnya (Berliana 2004). Sabut kelapa dikupas pada permukaan yang keras dan bersih (Suheiti *et al.* 2005).

Pembuatan kopra pada dasarnya merupakan proses penurunan kadar air yang terkandung pada daging buah sehingga kadar air awal (±50%) berkurang menjadi 5–6% melalui operasi pengeringan. Pengeringan dapat dengan cara konvensional atau cara mekanis. Pengeringan konvensional menggunakan energi panas matahari, sedangkan cara mekanis menggunakan pengeringan dengan sumber panas buatan (Masela *et al.* 2019). Laju penguapan air dipengaruhi oleh suhu, luas permukaan, dan tekstur daging buah kelapa. Waktu pengeringan diupayakan sesingkat-singkatnya untuk mencegah kerusakan maupun dekomposisi komponen daging buah. Pengeringan pada suhu tinggi (>85°C) dan berkontak langsung dengan bahan dihindari karena dapat menyebabkan kopra bermutu rendah. Sebaliknya, suhu rendah (<40°C) menyebabkan pembusukan kopra oleh mikroba dan berbagai enzim. Kapang dapat tumbuh pada produk yang memiliki kadar air dan nutrisi yang baik (Apriyantono *et al.* 2017). Menurut Amperawati *et al.* (2021), pertumbuhan mikroba pada permukaan bagian dalam kopra dapat dianalisis secara visual, yaitu dengan pengamatan langsung pada kopra selama proses pengeringan berlangsung. Tingkat serangan mikroba dapat dibedakan dalam 4 tipe, yaitu jika 1) 0–¼ bagian permukaan kopra ditumbuhi mikroba, maka persentase kerusakan adalah 25%; 2) ¼–½ bagian permukaan kopra ditumbuhi

mikrob, maka persentase kerusakan adalah 50; 3) $\frac{1}{2}$ – $\frac{3}{4}$ bagian permukaan kopra ditumbuhi mikrob, maka persentase kerusakan adalah 75%; dan 4) $\frac{3}{4}$ –1 bagian permukaan kopra ditumbuhi mikrob, maka persentase kerusakan adalah 100%.

Pembuatan kopra merupakan operasi pengeringan daging buah kelapa. Tahap-tahap pengeringan agar memperoleh kopra bermutu baik adalah sebagai berikut (Bahri 2013) 1) Kadar air daging buah kelapa segar yang besarnya 50–55%, pada 24 jam pertama dikurangi menjadi 35%; 2) Pada periode 24 jam kedua, kadar air tersebut diturunkan sampai 20%; dan 3) Pada periode 24 jam berikutnya, diturunkan menjadi 6–5%.

Menurut Tulung (2016), kopra dibuat dengan berbagai cara: 1) Pengeringan dengan sinar matahari (*sun drying*); 2) Pengeringan dengan pengasapan di atas api (*smoke curing or drying*); 3) Pengeringan dengan pemanasan tidak langsung (*indirect drying*); dan 4) Pengeringan menggunakan solar sistem (tenaga panas matahari).

Banyak metode pengeringan kopra yang digunakan pada beberapa tingkatan/skala pengeringan. Metode pengeringan yang berbeda memerlukan waktu pengeringan yang berbeda dan menghasilkan mutu kopra yang berbeda juga. Menurut Tzempelikos *et al.* (2012), bentuk geometri ruang pengering berpengaruh pada mutu serta keseragaman dalam operasi pengeringan bahan. Pengeringan kopra dibedakan dari beberapa parameter seperti suhu yang dihasilkan pada tiap metode, lama pengeringan, laju pengeringan, skala pengeringan, energi yang digunakan, emisi CO₂ yang dihasilkan, dan mutu yang dihasilkan. Mutu kopra meliputi kadar air, kadar minyak, dan kadar asam lemak bebas. Ringkasan metode pengeringan yang dikaji pada penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

Satuan Operasi Pengeringan

Laju penguapan air selama pengeringan sangat bergantung pada kenaikan suhu. Menurut Agustini *et al.* (2014), suhu optimum pengeringan kopra adalah 60–66°C. Semakin lebar perbedaan suhu antara media pemanas dan bahan yang akan dikeringkan, semakin besar laju perpindahan panas ke bahan sehingga uap air dalam bahan semakin cepat menguap. Semakin tinggi suhu dan kecepatan udara pengeringan, semakin cepat operasi pengeringan. Semakin tinggi suhu udara kering, semakin besar energi panas yang dibawa oleh udara, sehingga semakin banyak massa zat cair yang menguap dari permukaan bahan yang akan dikeringkan. Jika laju aliran udara pengeringan semakin tinggi, massa uap air yang berpindah dari bahan ke atmosfer lebih cepat. Lama waktu pengeringan dari daging buah hingga menjadi kopra sangat dipengaruhi oleh suplai panas yang diterima oleh daging buah; semakin banyak panas yang diterima oleh daging buah, semakin cepat pengeringan, begitu juga sebaliknya (Fahmi *et al.* 2019).

Secara tradisional, pengeringan kopra dengan menggunakan sinar matahari banyak diterapkan oleh petani kelapa (Suheiti *et al.* 2005; Hendra *et al.* 2017; Apriyanto & Rujiah 2019). Pada operasi pengeringan diberikan sulfur (belerang) untuk menghambat pertumbuhan jamur (Kaseke 2016; Apriyanto & Rujiah 2019). Metode dan peralatan pengolahan kopra dengan cara tradisional memerlukan lebih banyak tenaga manusia dan waktu pengolahan yang lebih lama. Hal ini berdampak pada produksi kopra yang kurang baik dari segi mutu ataupun kuantitas, padahal untuk mempertahankan kestabilan pasar diperlukan produksi yang baik (Murad *et al.* 2015).

Tabel 1 Ringkasan metode pengeringan kopra yang dikaji

Metode	Judul	Sumber energi	Pustaka
M1	Kajian rumah plastik pengering kopra kasus Desa Siaw Tanjung Jabung Timur	Matahari	Suheiti <i>et al.</i> (2005)
M2	Pengaruh larutan sulfit pada bahan baku kelapa untuk pembuatan kopra putih	Gas LPG	Kaseke (2016)
M3	Pembuatan mesin pengering kelapa menggunakan sumber energi terbarukan untuk meningkatkan pendapatan masyarakat Kecamatan Pondok Kelapa Kabupaten Bengkulu Tengah	Matahari	Hendra <i>et al.</i> (2017)
M4	Analisa efisiensi <i>rooftop solar copra dryer</i> dengan susunan konektor secara seri	Matahari dan listrik	Sulaeman dan Rusyadi (2013)
M5	Rancang bangun dan uji kinerja alat pengering kopra tipe rak berbahan bakar biomassa	Biomassa kayu bakar dan tempurung kelapa	Triyono <i>et al.</i> (2008)
M6	Kinerja alat pengering kopra sistem oven skala kelompok tani dan karakteristik produk	Biomassa sabut kelapa	Lay dan Maskromo (2016)
M7	Uji performansi prototipe alat pengering kopra memanfaatkan panas buang PLTU berbahan bakar arang tempurung kelapa	Listrik dan biomassa	Suntoro <i>et al.</i> (2018)
M8	Desain eksperimen oven kopra menggunakan <i>response surface methodology</i> (RSM)	Listrik	Saputri <i>et al.</i> (2020)
M9	Desain uji performansi sistem pengering model rak pengering ERK	Biomassa tongkol jagung dan tempurung, matahari, dan listrik	Tahir <i>et al.</i> (2014)

Secara modern, kopra dikeringkan dengan menggunakan alat pengering. Sistem pengeringan yang digunakan akan memengaruhi mutu kopra yang dihasilkan. Menurut SNI 013946-1995, mutu kopra putih dinyatakan dengan kadar air, kadar minyak, dan kadar asam lemak bebas, yaitu kadar air maksimum 5%, kadar minyak 60–65%, dan kandungan asam lemak bebas 2%. Pengolahan yang benar akan menghasilkan kopra putih bermutu tinggi yang diharapkan dapat meningkatkan nilai ekonomi kopra putih dan memberikan nilai tambah bagi petani. Suhu dan waktu pengeringan terbaik dapat menghasilkan daging kering putih bermutu tinggi, kadar air, kadar minyak, dan kadar asam lemak bebas dari daging kelapa kering yang dihasilkan memenuhi standar (Agustini *et al.* 2014). Sistem pengendali suhu pada alat pengering kopra otomatis dapat menggunakan metode *proportional integral derivative* (PID) (Anton *et al.* 2019). Kondisi operasi pengeringan kopra dapat dilihat pada Tabel 2.

Suhu pengeringan paling rendah terdapat pada metode M1, yaitu 40°C. Rendahnya suhu pengeringan pada metode pertama adalah karena operasi pengeringan masih menggunakan energi panas matahari dengan gelombang pendek sehingga suhu pengeringan tergolong rendah dibandingkan dengan metode lainnya. Suhu pengeringan tertinggi terdapat pada metode M2 karena menggunakan sumber panas dari kompor berbahan bakar gas LPG yang dapat menghasilkan panas dengan cepat dan instan, sedangkan pada metode M6, yaitu 70°C adalah karena energi dalam operasi pengeringan bersumber dari uap panas pembakaran biomassa sabut kelapa yang disalurkan menggunakan pelat besi perambat panas, sehingga uap panas pembakaran biomassa sabut kelapa suhunya sampai ke dalam ruang pengering.

Waktu pengeringan kopra dipengaruhi oleh laju pengeringan kopra. Laju pengeringan kopra pada penelitian ini ditentukan dari laju penurunan kandungan air per satuan waktu (%/jam) daging buah kelapa sebelum operasi pengeringan hingga memenuhi standar mutu kadar air kopra yang ditetapkan. Kadar air buah kelapa berkisar antara 50 dan 55%, sedangkan kopra berkadar air 5–7% (Sulaeman & Rusyadi 2013). Pada metode M1, pengeringan kopra menggunakan energi matahari dan alat yang sederhana sehingga membutuhkan waktu pengeringan yang

terbilang lama, yaitu 48 jam dan laju pengeringan 1,046 %/jam. Metode M7 membutuhkan waktu pengeringan yang singkat, yaitu 7,9 jam dan laju pengeringan 5,696 %/jam karena pengeringan menggunakan gas buang dari PLTBm (pembangkit listrik tenaga biomassa), yakni hasil pembakaran arang tempurung kelapa untuk membangkitkan uap panas guna memutar turbin dan generator. Uap panas tersebut sebelum dibuang ke lingkungan dapat dimanfaatkan untuk pengeringan kopra. Udara panas hasil pembakaran biomassa tempurung kelapa dari boiler lewat saluran gas buang masuk ke dalam penukar panas (*heat exchanger*, HE) akibat isapan dari *induced draft* (ID) kipas boiler. Kipas pengering mengembuskan udara ke HE dan masuk ke dalam ruang pengering. Udara yang masuk ke dalam ruang pengering merupakan udara bersih yang telah terpanasi oleh HE. Skema pengeringan tersebut membuat waktu yang dibutuhkan untuk pengeringan kopra menjadi singkat.

Skala pengeringan ditentukan dari kemampuan alat pengering yang digunakan dalam proses pengeringan kopra. Sembilan metode pengeringan yang diamati pada penelitian ini berbeda-beda, mulai dari skala kecil (20 kg) sampai skala besar (1.200 kg).

Penggunaan Energi dan Emisi CO₂

Beragam sumber energi yang digunakan pada sembilan metode pengeringan kopra yang diamati ialah listrik, biomassa, surya, dan gas LPG. Pemakaian energi listrik digunakan untuk oven, konektor surya, *blower*, kipas aksial, penukar panas, dan alat penunjang proses pengering lainnya yang menggunakan listrik. Biomassa yang digunakan sebagai sumber panas pada beberapa metode pengeringan ialah kayu bakar, sabut, dan tempurung. Energi surya digunakan sebagai sumber energi untuk operasi pengeringan baik secara langsung ataupun disalurkan terlebih dahulu ke panel surya. Gas LPG digunakan sebagai bahan bakar kompor yang digunakan sebagai alat pengering kopra. Jenis dan jumlah emisi CO₂ dapat dilihat pada Tabel 3.

Jumlah energi yang digunakan pada metode M1 terhitung rendah, yaitu 110,7 kJ/kg-produk kopra karena sumber energi untuk pengeringan masih menggunakan energi matahari dan alat sederhana. Adapun tingginya penggunaan energi pada teknologi M9 ialah 32.140 kJ/kg-produk karena sumber energi yang digunakan menggunakan beragam sumber

Tabel 2 Kondisi operasi pengeringan kopra

Metode pengeringan	Suhu (°C) (X1)	Waktu (jam) (X2)	Laju pengeringan (%/jam) (X3)	Skala (kg)/batch
M1	40	48,0	1,046	130
M2	70	21,0	1,950	70
M3	65	20,0	1,714	20
M4	60	25,0	1,761	40
M5	60	30,0	1,470	160
M6	70	27,0	1,690	1200
M7	68	7,9	5,696	30
M8	68	13,0	3,461	280
M9	65	11,0	3,378	250

bahan bakar meliputi energi surya, listrik, dan biomassa (tongkol jagung dan tempurung).

Emisi yang dihasilkan pada metode M1 tergolong rendah karena pengeringan hanya menggunakan energi panas matahari, sedangkan tingginya emisi CO₂ pada metode M6 karena energi biomassa yang digunakan cukup banyak. Namun, emisi yang dihasilkan dari biomassa dapat dikategorikan sebagai karbon netral. Alasan asumsi karbon netral adalah karena karbon yang tersimpan di dalam tumbuhan selama pertumbuhan akan dilepaskan kembali dalam jumlah dan bentuk yang sama dengan cara terdekomposisi secara alami ataupun dibakar, sehingga hal tersebut tidak menambah gas rumah kaca yang ada di atmosfer (Wiloso *et al.* 2016). Karbon netral dianggap tidak menghasilkan emisi CO₂ karena adanya asumsi bahwa emisi CO₂ yang berasal dari pembakaran biomassa dapat dikompensasikan dengan penyerapan CO₂ dari pertumbuhan tanaman yang digunakan. Menurut Mahildin *et al.* (2014), proses pembakaran mengikuti karakteristik sistem pembakaran yang dirancang oleh unit reaktor, dengan memperhatikan kapasitas ruang bakar tentunya tidak lepas dari karakteristik biomassa itu sendiri untuk mendapatkan proses pembakaran yang diharapkan. Jumlah emisi CO₂ terbanyak dihasilkan pada M2, yakni 34,074 kg CO₂ dengan gas LPG sebagai sumber energi utama.

Mutu Kopra

Sembilan metode pengeringan kopra yang diamati menghasilkan mutu kopra yang masuk ke dalam standar mutu. Standar mutu kopra ditentukan dari lima indikator, yaitu kadar air, kadar minyak, kadar asam

lemak bebas, pengotor, dan kapang. Komposisi kopra yang dihasilkan ialah kadar air 4,62–9%, kadar minyak 59,25–63,85%, kadar asam lemak bebas (FFA) 0,085–2,1%, benda asing 2–3(b/b), dan kapang 1–8(b/b). Standar mutu kopra berdasarkan SNI 013946-1995 dapat dilihat pada Tabel 4 dan karakteristik kopra yang dihasilkan pada tiap metode pengeringan yang diamati dapat dilihat pada Tabel 5.

Metode penskoran mutu diterapkan untuk menentukan apakah kopra yang dihasilkan pada sembilan metode pengeringan yang diamati memenuhi standar mutu kopra sesuai pada SNI 013946-1995. Skor mutu kopra mengacu pada Tabel 1 mengenai jenis uji yang menjadi persyaratan mutu kopra sekaligus sebagai acuan penentu bobot pada tiap jenis uji mutu kopra. Besaran bobot dalam penskoran disesuaikan dengan kadar setiap jenis uji berdasarkan SNI 013946-1995, yakni kadar minyak memiliki nilai tertinggi, yaitu 0,6, sedangkan untuk kadar air, kadar asam lemak bebas, kadar benda asing, dan kadar berkapang masing-masing 0,1. Dalam menentukan skor, karakteristik kadar minyak semakin tinggi maka semakin bagus, sedangkan untuk kadar air, kadar asam lemak bebas, pengotor, dan kapang semakin tinggi nilainya maka semakin buruk. Penentuan skor kopra diawali dengan perhitungan skor mutu pada SNI 013946-1995 standar mutu kopra yang kemudian hasil penentuan tersebut menjadi parameter penentuan skor mutu kopra yang dihasilkan pada setiap metode pengeringan. Nilai skor mutu SNI 013946-1995 dapat dilihat pada Tabel 6.

Jika dilihat dari skor mutu SNI 013946-1995, dapat disimpulkan bahwa kopra dapat bermutu A jika skor yang melebihi 84,6, kopra bermutu B jika skor 57,9–

Tabel 3 Jenis dan jumlah emisi CO₂

Metode pengeringan	Jenis bahan bakar	Penggunaan energi (kJ/kg-produk) (X4)	Emisi CO ₂ (kg-CO ₂ /kg -produk)	Emisi CO ₂ (Kg-CO ₂ / kg-produk) dengan karbon netral (X5)
M1	Matahari	110,7	0,932	0,932
M2	Gas LPG	668,0	34,074	34,074
M3	Matahari, listrik	119,7	0,977	0,977
M4	Matahari, listrik	1102,0	12,177	12,177
M5	Biomassa	13.420,0	249,710	0,100
M6	Biomassa	5880,0	652,480	0,100
M7	Listrik, biomassa	14.824,0	10,220	1,250
M8	Listrik	434,0	33,410	33,410
M9	Matahari, biomassa, listrik	32.140,0	144,530	2,285

Tabel 4 Spesifikasi mutu kopra berdasarkan SNI 013946-1995

Jenis Uji	Satuan	Persyaratan Mutu			
		A		B	C
		I	II		
Kadar air (b/b), maks	%	5	5	8	12
Kadar minyak (b/b), mini	%	65	60	55	50
Kadar asam lemak bebas dalam minyak (asam larut) (b/b), maks	%	2	2	3	4
Benda asing (b/b), maks	%	0	1	1	1
Bagian berkapang (b/b), maks	%	2	2	3	3

Keterangan: Maks = Maksimal dan Min = Minimal.

Tabel 5 Karakteristik mutu kopra yang dihasilkan

Metode pengeringan	Kadar air (%)	Kadar minyak (%)	FFA (%)	Pengotor (%)	Kapang
M1	5,00	60,00	2,00	2	8
M2	9,00	59,25	1,60	3	0
M3	6,10	62,00	2,10	2	1
M4	5,97	61,00	2,00	2	1
M5	6,00	62,00	2,00	2	1
M6	4,62	63,80	0,085	2	1
M7	5,00	60,00	1,00	2	1
M8	5,00	62,00	1,60	2	1
M9	5,00	61,00	0,98	2	1

Tabel 6 Skor mutu SNI 013946-1995

Jenis uji	Skor		
	A	B	C
Kadar air (b/b), maks	10	6,25	4,17
Kadar minyak (b/b), min	60	55,00	50,00
Kadar asam lemak bebas dalam minyak (asam larut) (b/b), maks	10	6,70	5,00
Benda asing (b/b), maks	10	10,00	10,00
Bagian berkapang (b/b), maks	10	6,70	6,70
Total	100	84,60	57,80

Keterangan: Maks = Maksimal dan Min = Minimal.

84,6, dan kopra bermutu C jika skor di bawah 57,8. Skor mutu pada setiap jenis uji metode pengeringan dapat dilihat pada Tabel 7. Skor mutu akhir ditentukan dari jumlah total skor.

Berdasarkan perolehan skor mutu kopra dapat disimpulkan bahwa setiap metode pengeringan menghasilkan kopra dengan mutu mendekati atau melebihi mutu A dengan skor terendah 87,5 dan tertinggi 334,6 (Tabel 7). Skor terendah pada metode M1 adalah karena pengeringan masih menggunakan sumber energi matahari dan alat yang sederhana sehingga produk yang dihasilkan masih mengandung banyak kapang. Tingginya skor pada metode M6 berkaitan dengan sumber energi biomassa dan alat yang lebih modern sehingga kapang, pengotor, dan kadar asam lemak bebas dalam produknya rendah. Kopra bermutu tinggi dapat diekspor untuk diolah menjadi minyak kelapa, minyak rambut bernilai tinggi, serum rambut, minyak nabati, perawatan pria, sampo, dan perawatan kulit, sehingga pada skala nasional mampu berdampak baik bagi perekonomian (Marpaung 2020).

Indeks Kinerja Komposit (CPI)

Metode CPI diterapkan untuk menentukan metode pengeringan terbaik dari aspek satuan operasi, lingkungan, dan mutu. Indikator yang dikaji ialah suhu, waktu, laju pengeringan, penggunaan energi, emisi CO₂, kadar air, kadar minyak, dan asam lemak bebas. Penentuan bobot setiap indikator dikaitkan dengan tingkat kepentingannya. Dari hasil masukan pakar (wawancara mendalam) diperoleh bobot setiap kriteria pada operasi pengeringan, yaitu suhu 0,15, waktu pengeringan 0,10, laju pengeringan 0,10, penggunaan energi 0,15, emisi CO₂ 0,10, kadar air 0,15, kadar minyak 0,15, dan kadar asam lemak bebas 0,10, sehingga total seluruh bobot adalah 1.

Aspek operasi terdiri atas kriteria suhu, waktu, dan laju pengeringan. Perbedaan suhu yang digunakan dipengaruhi oleh sumber energi yang digunakan dalam operasi pengeringan. Selama operasi pengeringan, tidak hanya perpindahan panas yang terjadi tetapi juga perpindahan uap air ke udara. Peningkatan uap air dari bahan ke udara tersebut disebabkan oleh perbedaan tekanan uap saat operasi pengeringan terjadi dengan cara penguapan air. Semakin tinggi suhu yang digunakan, semakin cepat operasi pengeringan berlangsung. Namun, suhu terlalu tinggi juga dapat merusak kopra. Kriteria suhu memiliki bobot tertinggi di antara kriteria lainnya, yaitu 0,15, sebab menurut Rahayuningtyas dan Kuala (2016), semakin tinggi perbedaan suhu (antara medium pemanas dan bahan), semakin cepat operasi pindah panas berlangsung, yang berarti operasi penguapan semakin cepat berlangsung. Kriteria waktu pengeringan dipengaruhi oleh kriteria laju pengeringan kopra dengan bobot masing-masing 0,1. Laju pengeringan kopra ditetapkan berdasarkan penurunan kandungan air daging kelapa per satuan waktu (%/jam) sampai memenuhi standar mutu kadar air kopra yang ditetapkan.

Aspek lingkungan terdiri atas kriteria penggunaan energi dan emisi CO₂. Kriteria penggunaan energi memiliki bobot yang lebih besar, yaitu 0,15, sebab penggunaan energi yang berlebihan berdampak negatif, yaitu meningkatkan jumlah emisi CO₂. Emisi CO₂ yang berlebihan dapat menyebabkan kerusakan lingkungan (Kurdi 2008). Nilai kriteria operasi pengeringan, dampak lingkungan, dan mutu kopra dari setiap metode pengeringan disajikan pada Tabel 8.

Transformasi dilakukan terhadap nilai setiap alternatif M_i pada setiap indikator X_j. Indikator suhu, skala, dan laju pengeringan telah teridentifikasi dalam tren positif dan indikator waktu teridentifikasi dalam tren negatif. Hasil transformasi nilai terhadap matriks awal penilaian alternatif didapatkan dari pembagian

Tabel 7 *Scor* mutu jenis uji pada kopra yang dihasilkan

Metode pengeringan	Kadar air	Kadar minyak	Kadar asam lemak bebas	Pengotor	Kapang	Total skor*
M1	0,10	0,60	0,60	0,05	0,03	87,50
M2	0,05	0,59	0,13	0,03	0,20	99,50
M3	0,08	0,62	0,10	0,05	0,20	104,60
M4	0,08	0,61	0,10	0,05	0,20	104,30
M5	0,08	0,62	0,10	0,05	0,20	105,30
M6	0,11	0,64	2,35	0,05	0,20	334,60
M7	0,10	0,60	0,20	0,05	0,20	115,00
M8	0,10	0,62	0,13	0,05	0,20	109,50
M9	0,10	0,61	0,20	0,05	0,20	116,40

Keterangan: *(Skor akhir dikonversi ke 100).

Tabel 8 Nilai kriteria operasi pengeringan, dampak lingkungan, dan mutu kopra dari setiap metode pengeringan

Metode pengeringan (Mi)	Nilai kriteria							
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
M1	40	48	1,05	110,70	0,93	5,00	60,00	2,00
M2	70	21	1,95	668,00	34,07	9,00	59,25	1,60
M3	65	20	1,71	119,70	0,97	6,00	62,00	2,10
M4	60	25	1,76	1102,00	12,17	5,97	61,00	2,00
M5	60	30	1,47	13.420,00	0,10	6,00	62,00	2,00
M6	70	27	1,69	5880,00	0,10	4,62	63,80	0,09
M7	68	7,9	5,70	14.824,00	1,25	5,00	60,00	1,00
M8	68	13	3,46	434,00	33,41	5,00	62,00	1,60
M9	65	11	3,38	32.140,00	2,29	5,00	61,00	0,98

Keterangan: X1=Suhu (°C), X2=Waktu (jam), X3=Laju pengeringan (%/jam), X4=Penggunaan energi (J/kg-produk), X5=Emisi CO₂ (kg-CO₂/kg-produk), X6=Kadar air (%), X7=Kadar minyak (%), dan X8=Asam lemak bebas (%). Kriteria operasi pengeringan: X1–X3, kriteria dampak lingkungan: X4, X5; Kriteria mutu kopra: X6–X8.

antara nilai $X_{i,j}$ atau X_{i+j} dengan nilai $\min(X_i)$ kemudian dikalikan 100. Hasil transformasi nilai terhadap matriks awal penilaian alternatif menghasilkan tabel matriks transformasi nilai (Tabel 9). Setiap nilai kriteria yang telah ditransformasi dikalikan dengan nilai bobot kriteria untuk memperoleh nilai indeks alternatif setiap kriteria. Nilai indeks alternatif dapat dilihat pada Tabel 10.

Berdasarkan kriteria X1 (suhu) perolehan nilai terbaik pada alternatif M2 dan M6, yaitu 17,49. Pada kriteria X4 (penggunaan energi) perolehan nilai tertinggi pada alternatif M3, yaitu 13,38. Pada kriteria X5 (emisi CO₂) perolehan nilai tertinggi pada M5 dan M6, yaitu 10. Pada kriteria X6 (kadar air), X7 (kadar minyak), dan X8 (kadar asam lemak bebas) perolehan nilai tertinggi pada M6, yakni masing-masing 15, 16,5, dan 10.

Pada Tabel 11 disajikan nilai akhir kriteria operasi pengeringan, dampak lingkungan, dan mutu kopra dari setiap metode pengeringan, serta nilai total dan peringkat metode pengeringan. Berdasarkan kriteria operasi pengeringan, nilai tertinggi adalah pada metode M7. Berdasarkan kriteria dampak lingkungan, nilai tertinggi adalah pada metode M1, karena operasi pengeringan masih menggunakan energi matahari sehingga emisi yang dihasilkan terbilang rendah. Berdasarkan kriteria mutu kopra nilai tertinggi adalah pada metode M6, karena memiliki nilai kadar air dan asam lemak bebas yang tinggi. Operasi pengeringan

menggunakan sumber energi biomassa dan alat yang lebih modern, sehingga produk yang dihasilkan mengandung kapang, pengotor, dan kadar asam lemak bebas yang rendah.

Akhir dari metode CPI adalah perolehan nilai akhir yang diperoleh dari penjumlahan semua nilai indeks setiap kriteria yang digunakan untuk memberikan peringkat pada setiap metode pengeringan. Berdasarkan total nilai semua kriteria diperoleh peringkat pertama pada M7 dengan nilai alternatif 114,47 (Tabel 11). Metode pengeringan ini memperoleh peringkat pertama karena memanfaatkan udara panas hasil pembakaran biomassa tempurung kelapa dari boiler melalui saluran gas buang masuk ke dalam penukar panas (HE). Sistem pemanasan tersebut biasa disebut dengan sistem pemanasan tidak langsung (*indirect heating system*). Berdasarkan hasil pengujian metode M7, laju alir udara yang lebih tinggi meningkatkan laju pengeringan, menurunkan kebutuhan energi untuk menguapkan air dari bahan, meningkatkan efisiensi termal, dan meningkatkan efisiensi sistem pengeringan. Metode pengeringan ini membutuhkan waktu 7,9 jam dalam satu periode pengeringan berkapasitas 30 kg dengan laju pengeringan 5,696%/jam. Emisi CO₂ yang dihasilkan pada metode tersebut dalam satu periode pengeringan ialah 1,25 kg-CO₂/kg-produk, dengan kadar air 5%, kadar minyak 60%, dan kadar asam lemak bebas 1%.

Tabel 9 Nilai transformasi dan bobot kriteria operasi pengeringan, dampak lingkungan, dan mutu kopra dari setiap metode pengeringan

Metode pengeringan (Mi)	Nilai kriteria							
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
M1	66,00	16,45	100,00	100,00	10,75	62,40	101,26	4,25
M2	117,00	37,60	186,40	16,57	0,20	51,30	100,00	5,31
M3	108,30	39,50	163,80	92,48	10,30	75,73	104,64	4,04
M4	100,00	31,60	168,30	10,00	0,80	77,38	102,95	4,25
M5	100,00	26,30	140,50	0,82	100,00	77,00	104,64	4,25
M6	117,00	29,25	161,50	1,80	100,00	100,00	107,67	100,00
M7	113,00	100,00	544,50	0,74	8,00	92,40	101,26	8,50
M8	113,00	60,76	330,80	25,50	0,30	92,40	104,64	5,31
M9	108,30	71,80	322,90	0,34	4,36	92,40	102,95	8,67
Bobot kriteria	0,15	0,10	0,10	0,15	0,10	0,15	0,15	0,10

Keterangan: X1=Suhu, X2=Waktu, X3=Laju pengeringan, X4=Penggunaan energi, X5=Emisi CO₂, X6=Kadar air, X7=Kadar minyak, dan X8=Asam lemak bebas. Kriteria operasi pengeringan: X1–X3, kriteria dampak lingkungan: X4, X5; Kriteria mutu kopra: X6–X8.

Tabel 10 Indeks alternatif kriteria operasi pengeringan, dampak lingkungan, dan mutu kopra dari setiap metode pengeringan

Metode pengeringan (Mi)	Nilai kriteria							
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
M1	9,90	1,65	10,00	15,00	1,08	9,36	15,19	0,43
M2	17,49	3,76	18,64	2,49	0,02	7,70	15,00	0,53
M3	16,25	3,95	16,38	13,87	1,03	11,36	15,70	0,40
M4	15,00	3,16	16,83	1,50	0,08	11,61	15,44	0,43
M5	15,00	2,63	14,05	0,12	10,00	11,55	15,70	0,43
M6	17,49	2,93	16,15	0,27	10,00	15,00	16,15	10,00
M7	17,00	10,00	54,45	0,11	0,80	13,86	15,19	0,85
M8	17,00	6,08	33,08	3,83	0,03	13,86	15,70	0,53
M9	16,25	7,18	32,29	0,05	0,44	13,86	15,44	0,87

Keterangan: X1=Suhu, X2=Waktu, X3=Laju pengeringan, X4=Penggunaan energi, X5=Emisi CO₂, X6=Kadar air, X7=Kadar minyak, dan X8=Asam lemak bebas. Kriteria operasi pengeringan: X1–X3, kriteria dampak lingkungan: X4, X5; Kriteria mutu kopra: X6–X8.

Tabel 11 Nilai akhir kriteria operasi pengeringan, dampak lingkungan, dan mutu kopra dari setiap metode pengeringan, serta nilai total dan peringkat metode pengeringan kopra

Metode pengeringan (Mi)	Nilai Proses pengeringan (peringkat)	Nilai Dampak lingkungan (peringkat)	Nilai Mutu kopra (peringkat)	Nilai total	Peringkat
M1	21,55 (9)	16,08 (1)	24,98 (8)	62,59	9
M2	39,89 (4)	2,51 (6)	23,23 (9)	66,14	7
M3	36,58 (5)	14,90 (2)	27,46 (7)	79,22	5
M4	34,99 (7)	1,58 (7)	27,48 (6)	64,71	8
M5	31,68 (8)	10,12 (4)	27,68 (5)	69,58	6
M6	36,57 (6)	10,27 (3)	41,15 (1)	88,50	3
M7	81,45 (1)	0,91 (8)	29,90 (4)	114,47	1
M8	56,16 (2)	3,86 (5)	30,09 (3)	91,17	2
M9	55,72 (3)	0,49 (9)	30,71 (2)	87,40	4

KESIMPULAN

Berbagai macam metode pengeringan kopra menghasilkan mutu yang baik, tetapi pengeringan secara konvensional memberikan nilai efektivitas dan efisiensi yang kurang dibandingkan dengan penggunaan alat pengering, terutama pada kinerja proses pengeringan dan mutu kopra. Pengeringan konvensional memiliki dampak lingkungan yang rendah dibandingkan yang metode yang lain. Berdasarkan hasil analisis pada sembilan metode pengeringan yang dikaji, suhu berkisar 40–70°C, waktu pengeringan 7,9–48 jam, skala pengeringan 20–1.200 kg, dan laju

pengeringan 1,05–5,70%/jam. Jumlah penggunaan energi pada kesembilan metode berkisar 110,7–32.140 kJ/kg dan emisi CO₂ yang dihasilkan berkisar 0,10–34,07 kg-CO₂/kg produk. Kopra yang dihasilkan bermutu baik (grade A) dengan kadar air 4,62–9%, kadar minyak 59,25–63,8%, dan kadar asam lemak bebas 0,09–2%.

Perbandingan metode pengeringan kopra dapat ditentukan dengan metode indeks kinerja komposit (CPI) berdasarkan kriteria operasi pengeringan, dampak lingkungan, dan mutu kopra. Metode pengeringan terbaik adalah yang menggunakan alat pengering dengan kondisi suhu pengeringan 68°C, laju

pengeringan 5,696%/jam, penggunaan energi 14.824 kJ/kg produk, emisi CO₂ 1,25 kg-CO₂/kg produk, yang menghasilkan mutu kopra dengan kadar air 5%, kadar minyak 60%, dan kadar asam lemak bebas 1%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia yang telah mendanai penelitian ini melalui beasiswa program Pendidikan Magister Menuju Doktor untuk Sarjana Unggul (PMDSU) dengan nomor kontrak 2129/IT3.L1/PN/2021.

DAFTAR PUSTAKA

- [DiTJenbun] Direktorat Jenderal Perkebunan. 2016. *Statistik Perkebunan Indonesia 2015–2017*. Jakarta (ID): Direktorat Jenderal Perkebunan.
- [DiTJenbun] Direktorat Jenderal Perkebunan. 2021. *Statistik Perkebunan Indonesia 2019–2021*. Jakarta (ID): Direktorat Jenderal Perkebunan.
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. *IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories Volume 2: Energy*. Washington DC (USA): IPCC.
- [PLN] Perusahaan Listrik Negara (Persero). 2015. *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL)*. Jakarta (ID): Perusahaan Listrik Negara.
- [UNCT] United Nation Commodity Trade. 2015. United Nations Commodity Trade (UN COMTRADE) Statistics Database. <http://unstats.un.org/unsd/Comtrade8>. [diakses 24 September 2021].
- Agustini V, Burhan, Rahman A. 2014. Optimasi dan waktu pengeringan kopra putih dengan pemanasan tidak langsung (*indirect drying*). *Agrointek*. 8(2): 85–95.
- Amperawati S, Darmadji P, Santoso U. 2021. Daya hambat asap cair tempurung kelapa terhadap pertumbuhan jamur pada kopra selama penjemuran dan kualitas minyak yang dihasilkan. *Agritech*. 32(2): 192–198.
- Anton, Joi I, Syafriwandi R. 2019. Sistem pengontrol suhu pada alat pengering kopra dengan metode PID. *Elektron Jurnal Ilmiah*. 11(1): 14–17. <https://doi.org/10.30630/eji.11.1.95>
- Apriyanto M, Rujiah. 2019. Pengaruh Perendaman larutan sulfit dan pengasapan belerang terhadap mutu kopra putih di Kabupaten Indragiri Hilir. *Jurnal Teknologi Pertanian*. 8(2):91–96. <https://doi.org/10.32520/jtp.v8i2.941>
- Apriyantono M, Sutardi S, Supriyadi S, Harmayani E. 2017. Fermentasi biji kakao kering menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*, *Lactobacillus lactis*, *Acetobacter acetii*. *Agritech*. 37(3): 302–11. <https://doi.org/10.22146/agritech.17113>
- Bahri S. 2013. Tepung lengkuas sebagai adsorber untuk meningkatkan mutu minyak kopra. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*. 1(2): 49–62.
- Berliana R. 2004. Potensi buah kelapa muda untuk kesehatan dan pengolahannya. *Perspektif*. 3(2): 46–60.
- Fahmi A, Devianti, Agustina R. 2019. Kajian kualitas kopra dan minyak kelapa pada proses pengeringan dengan variasi sumber energi. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian Unsyiah*. 4(3): 95–104.
- Gunawan DW, Hartati SJ, Maulana YM. 2014. Rancang bangun aplikasi analisis kredit menggunakan metode scoring pada bintang jaya variasi audio. *Jurnal Sistem Informasi*. 3(2): 98–103.
- Hendra, Suhartini Y, Indriani A, Hernadewita. 2017. Pembuatan mesin pengering kelapa menggunakan sumber energi terbarukan untuk meningkatkan pendapatan masyarakat Kecamatan Pondok kelapa Kabupaten Bengkulu Tengah. *Jurnal Dharma Raflesia*. 16(1): 61–72. <https://doi.org/10.33369/dr.v15i1.4236>
- Kaseke H. 2016. Pengaruh larutan sulfit terhadap bahan baku kelapa untuk pembuatan kopra putih. *Jurnal Penelitian Teknologi Industri*. 8(2): 151–158. <https://doi.org/10.33749/jpti.v8i2.2218>
- Kurdi SZ. 2008. Pengaruh emisi CO₂ dari sektor perumahan perkotaan terhadap kualitas lingkungan global. *Jurnal Permukiman*. 3(2): 137–150. <https://doi.org/10.31815/jp.2008.3.137-150>
- Lay A, I Maskromo. 2016. Kinerja alat pengering kopra sistem oven skala kelompok tani dan karakteristik produk. *Buletin Palma*. 17(2): 175–183. <https://doi.org/10.21082/bp.v17n2.2016.175-183>
- Mahidin, Hamdani, Muhtadin, Faisal M, Mahyuddin. 2014. Karakteristik Pembakaran Beberapa Jenis Biomassa Dalam Fluidized Bed Boiler. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*. 10(1): 7–14. <https://doi.org/10.23955/rkl.v10i1.2167>
- Marimin. 2004. *Teknik dan Aplikasi Pengambilan Keputusan Kriteria Majemuk*. Jakarta (ID): Grasindo.
- Marpaung KBR. 2020. Motivasi Indonesia ekspor kopra putih ke Bangladesh (studi kasus: komoditi kopra putih dari CV. Amarta Indagri Hilir). *JOM FISIP*. 7(1): 1–21.
- Masela MR, Jamaludin, Suryaningsih LS, Mulyono T. 2019. Uji alat pengering pisang tipe rak energi surya

- dan biomassa. *Musamus AE Featur Journal*. 1(2): 54–57. <https://doi.org/10.37373/msn.v1i2.35>
- Murad, Sabani R, Putra GMD. 2015. Pengeringan lapis tipis kopra putih menggunakan oven pengering. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*. 3(2): 159–163.
- Rahayuningtyas A, Kuala SI. 2016. Pengaruh suhu dan kelembaban udara pada proses pengeringan singkong. *Jurnal Penelitian dan Pengabdian Masyarakat*. 4(1): 99–104. <https://doi.org/10.29313/ethos.v0i0.1663>
- Saputri R, Prawatya EY, Uslianti S. 2020. Desain eksperimen oven kopra menggunakan *response surface methodology*. *Jurnal Teknik Industri UNTAN* 4(1): 13–20.
- Suheiti K, Asni N, Endrizal. 2005. Kajian rumah plastik pengering kopra kasus desa siaw Tanjung Jabung Timur. <https://adoc.pub/kajian-rumah-plastik-pengering-kopra-kasus-desa-siaw-tanjung.html>
- Sulaeman, Rusyadi M. 2013. Analisa efisiensi *rooftop solar copra dryer* dengan susunan konektor secara seri. *Jurnal Teknik Mesin*. 3(2): 70–77.
- Suntoro D, Nafis S, Al-Kindi H. 2018. Uji performansi prototipe alat pengering kopra memanfaatkan panas buang PLTU berbahan bakar arang tempurung kelapa. *Jurnal Keteknikan Pertanian*. 6(3): 263–270. <https://doi.org/10.19028/jtep.06.3.263-270>
- Tahir M, Amiruddin, Nelwan OL, Subrata MDI. 2014. Desain dan uji performansi sistem pengering model rak ERK. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri II ATIM 2014*. ISBN : 978-602-14822-1-6.
- Triyono S, Haryanto A, Haryati RS. 2008. Rancang bangun uji kinerja alat pengering kopra tipe rak berbahan bakar biomassa. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Pertanian*.
- Tzempelikos, D.A., A.P. Vouros, A.V. Bardakas, A.E. Filios, D.P. Margaritis. 2012. Analysis of air velocity distribution in a laboratory batch-type tray air dryer by computational fluid dynamics. *International journal of mathematics and computers in simulation*. 5(6): 413–421.
- Wiloso EI, Heijungs R, Huppel G, Fang K. 2016. Effect of biogenic carbon inventory on the life cycle assessment of bioenergy: challenges to neutrality assumption. *Journal of Cleaner Production* 125: 18–85. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.096>