



Department of Digital Business

**Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)**

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 4 No. 2 (2025) pp: 1229-1234

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

---

## **Analisa Proses Pelayuan Daun Sirih Dengan Memanfaatkan Panas Gas Buang Dari Mesin Diesel**

**Dodik Aris Setiawan<sup>1</sup>, Renny Teteki Wanadriningrum<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Jember, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Nasional Malang, Indonesia

Email: dodikaris@unmuhjember.ac.id, rennywinadri@gmail.com

### **Abstrak**

*Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pemanfaatan panas gas buang dari mesin diesel sebagai sumber energi alternatif dalam proses pelayuan daun sirih (*Piper betle*). Sistem eksperimen yang dirancang terdiri dari mesin diesel Dongfeng R180, heat exchanger tipe shell and tube, dan ruang pelayuan berukuran 50×50×60 cm. Air dialirkan melalui pipa untuk menyerap panas dari gas buang, kemudian disemprotkan dalam ruang pelayuan. Proses berlangsung selama empat jam, dan data diambil setiap jam untuk mengukur temperatur, tekanan, serta persentase kelayuan daun. Hasil menunjukkan bahwa efisiensi perpindahan panas mencapai 90% pada jam ke-3 dan ke-4. Pada jam pertama, tingkat kelayuan daun sirih tertinggi tercapai sebesar 97%, lalu menurun secara bertahap hingga 74% pada jam keempat. Temuan ini menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara stabil dan efisien dalam memanfaatkan energi limbah. Sistem ini berpotensi besar untuk diterapkan pada industri kecil dan menengah sebagai alternatif hemat energi dan ramah lingkungan dalam pengolahan pascapanen herbal.*

**Kata kunci:** pelayuan daun sirih, panas gas buang, mesin diesel, heat exchanger, efisiensi energi, shell and tube

### **1. Latar Belakang**

Indonesia sebagai negara tropis memiliki keragaman hayati yang tinggi, termasuk dalam hal tanaman berkhasiat obat. Salah satu tanaman yang telah digunakan secara turun-temurun dalam praktik pengobatan tradisional adalah daun sirih (*Piper betle*), yang memiliki sifat antiseptik dan digunakan dalam bentuk segar maupun hasil olahan. Dalam proses pascapanen daun sirih, pelayuan merupakan tahap awal yang penting karena menentukan kualitas dan keberhasilan tahapan pengolahan berikutnya, seperti fermentasi atau penggilingan. Proses pelayuan bertujuan menurunkan kadar air dalam daun secara perlahan hingga daun menjadi lebih lentur dan tidak mudah robek. Namun demikian, metode pelayuan konvensional umumnya masih mengandalkan energi panas dari pembakaran langsung bahan bakar fosil yang kurang efisien dan tidak ramah lingkungan.

Dalam konteks krisis energi dan peningkatan emisi karbon global, isu efisiensi energi menjadi perhatian besar di sektor industri dan pertanian. Di saat yang sama, mesin diesel merupakan salah satu mesin penggerak utama di banyak industri kecil dan menengah (IKM), terutama karena keandalannya dalam operasional luar ruang dan lokasi terpencil. Sayangnya, mesin diesel diketahui menghasilkan sejumlah besar energi dalam bentuk panas buang yang selama ini terlepas ke atmosfer tanpa dimanfaatkan. Menurut Holman [1], lebih dari 30% energi dalam mesin diesel hilang melalui gas buang, sementara Kreith [2] menegaskan bahwa pemanfaatan

kembali panas limbah menjadi potensi besar untuk meningkatkan efisiensi termal sistem. Maka dari itu, upaya memanfaatkan panas gas buang dari mesin diesel menjadi sumber energi alternatif dalam proses pelayuan menjadi sangat relevan untuk diteliti.

Sejumlah studi sebelumnya telah mengeksplorasi pemanfaatan panas limbah dalam konteks pengeringan produk pertanian. Priyatno & Ningsih [3] mengembangkan sistem pengering daging dengan menggunakan energi sisa dari sistem pemanas industri, sedangkan Rizki et al. [4] mencatat keberhasilan efisiensi termal mencapai 75% dalam pengeringan keripik buah dengan sistem hybrid energi panas limbah dan listrik. Namun, hingga saat ini belum ditemukan banyak penelitian yang secara khusus memanfaatkan panas gas buang dari mesin diesel untuk aplikasi pelayuan daun sirih. Selain itu, belum terdapat model eksperimental yang menguji secara kuantitatif sejauh mana efisiensi perpindahan panas dan dampaknya terhadap kecepatan serta kualitas pelayuan daun herbal tersebut.

Dengan mengacu pada hal tersebut, penelitian ini dilakukan dengan tujuan merancang dan menganalisis sistem pelayuan daun sirih berbasis pemanfaatan panas gas buang dari mesin diesel melalui penerapan *heat exchanger* tipe shell and tube. Sistem ini dirancang agar panas dari gas buang tidak langsung mengenai daun, melainkan terlebih dahulu digunakan untuk memanaskan air, yang kemudian diarahkan ke ruang pelayuan. Penggunaan air panas sebagai media pengantar diharapkan mampu memberikan suhu yang lebih stabil dan aman bagi struktur sel daun sirih dibandingkan metode pemanasan langsung.

Penelitian ini tidak hanya menawarkan kontribusi teknis dalam bidang efisiensi energi tetapi juga menjawab kebutuhan praktis di lapangan, terutama bagi petani dan pelaku usaha kecil di sektor herbal yang menggunakan mesin diesel sebagai sumber daya utama. Selain itu, penelitian ini memperkaya literatur dalam bidang teknik termal, khususnya dalam pemanfaatan energi limbah, serta memberikan alternatif terukur bagi pengolahan pascapanen yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Dengan merujuk pada latar belakang di atas, penelitian ini ingin menjawab dua pertanyaan utama: (1) Sejauh mana efisiensi perpindahan panas dari gas buang ke media air dalam sistem pelayuan daun sirih? dan (2) Bagaimana pengaruh pemanfaatan panas tersebut terhadap kualitas pelayuan daun sirih dalam hal persentase kelayuan per satuan waktu?

## 2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Motor Bakar ITN Malang, dengan tujuan menganalisis efisiensi pemanfaatan panas gas buang dari mesin diesel sebagai sumber energi alternatif dalam proses pelayuan daun sirih (*Piper betle*). Penelitian difokuskan pada bagaimana energi panas yang dibuang melalui gas buang mesin dapat digunakan kembali untuk memanaskan air yang kemudian disalurkan ke ruang pelayuan.

Penelitian menggunakan metode eksperimen terkontrol dengan replikasi pengambilan data selama empat jam berturut-turut (jam ke-1 hingga ke-4) dan observasi langsung untuk mengukur perubahan variabel fisis seperti temperatur, tekanan, dan tingkat kelayuan. Penelitian ini memanfaatkan metode yang telah mapan dalam studi teknik perpindahan panas, yaitu model neraca energi dan efisiensi sistem perpindahan panas [4][5].

### 2.1. Rangkaian Alat dan Spesifikasi

Rangkaian alat eksperimen terdiri dari:

1. **Sumber panas:** Mesin diesel Dongfeng R180, tipe single-cylinder horizontal, pendingin air, 4 langkah, dengan kecepatan putar 2600 rpm dan volume silinder 0,402 L.
2. **Penukar panas:** Heat exchanger tipe shell and tube, dengan spesifikasi: diameter dalam tube 7 mm, diameter luar tube 9 mm, panjang tube 30 cm, diameter dalam shell 12 cm, panjang shell 40 cm, dan konfigurasi 1–2 pass.
3. **Pompa air:** ICAR ECOFILL IE-125A, daya 125 watt, kapasitas maksimal 35 L/menit, head total 33 meter.
4. **Ruang pelayuan:** Terbuat dari pelat seng ukuran 50×50×60 cm.
5. **Sampel:** 500 gram daun sirih segar (satu batch) yang dilayukan dengan aliran air panas kabut.
6. **Instrumen pengukur:** Termometer digital, pressure gauge (kapasitas 4 kg/m<sup>2</sup>), stopwatch, dan timbangan digital akurasi 0,1 gram.

## 2.2. Prosedur Eksperimen

1. Mesin diesel dinyalakan hingga menghasilkan gas buang dengan temperatur stabil.
2. Air dari bak penampungan dialirkan ke heat exchanger menggunakan pompa.
3. Gas buang mengalir melalui shell exchanger, sedangkan air bersirkulasi melalui pipa (tube) untuk menyerap panas.
4. Air panas yang keluar dari heat exchanger disalurkan ke ruang pelayuan dan disemprotkan dalam bentuk kabut.
5. Daun sirih ditempatkan dalam ruang pelayuan dan waktu pelayuan dimulai (t<sub>0</sub>).
6. Setiap satu jam, sampel ditimbang untuk mengukur persentase kelayuan, serta parameter temperatur dan tekanan dicatat.

## 2.3. Variabel dan Pengukuran

1. Temperatur gas buang sebelum (T<sub>A</sub>) dan sesudah heat exchanger (T<sub>B</sub>)
2. Temperatur air sebelum (T<sub>a</sub>) dan sesudah heat exchanger (T<sub>b</sub>)
3. Tekanan fluida (gas dan air)
4. Berat daun sirih sebelum dan sesudah pelayuan

## 2.4. Rumus dan Perhitungan

Rumus yang digunakan untuk perhitungan energi panas dan efisiensi sistem adalah sebagai berikut:

### ▪ Energi panas gas buang sebelum heat exchanger

$$Q_A = m_g \cdot C_{pg} \cdot T_A \tag{1}$$

Q<sub>A</sub> adalah energi panas gas buang sebelum ditransfer (kJ/s),

m<sub>g</sub> adalah laju massa gas buang (kg/s),

C<sub>pg</sub> adalah panas jenis gas buang (kJ/kg·K),

T<sub>A</sub> adalah suhu gas buang sebelum masuk heat exchanger (K).

### ▪ Energi panas gas buang setelah heat exchanger

$$Q_B = m_g \cdot C_{pg} \cdot T_B \tag{2}$$

T<sub>B</sub> adalah suhu gas buang setelah keluar dari heat exchanger (K).

### ▪ Efisiensi perpindahan panas

$$\eta = \frac{Q_A - Q_B}{Q_A} \cdot 100\% \tag{3}$$

▪ **Energi panas yang diserap oleh air**

$$Q_{air} = m_a \cdot C_{pa} \cdot (T_b - T_a) \tag{4}$$

$m_a$  adalah laju massa aliran air (kg/s),

$C_{pa}$  adalah panas jenis air (kJ/kg·K),

$T_a$  dan  $T_b$  masing-masing adalah temperatur air sebelum dan sesudah heat exchanger (K).

▪ **Tingkat kelayuan daun sirih**

$$\% \text{layu} = \frac{(W_0 - W_t)}{W_0} \cdot 100\% \tag{5}$$

$W_0$  adalah berat awal daun sirih (g),

$W_t$  adalah berat setelah pelayuan tiap jam (g).

Replikasi dilakukan selama 4 siklus berturut-turut untuk mengukur konsistensi performa sistem dan akurasi perpindahan panas.

▪ **Diagram Alir Penelitian**

Berikut adalah diagram alir proses eksperimen yang menggambarkan urutan pelaksanaan kegiatan:

Mulai → Persiapan alat dan bahan → Nyalakan mesin diesel →

Aktifkan pompa air → Alirkan gas buang & air →

Pencatatan data tiap jam → Timbang daun sirih →

Perhitungan efisiensi & kelayuan → Selesai

**3. Hasil dan Diskusi**

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi efisiensi pemanfaatan panas gas buang dari mesin diesel sebagai sumber energi pelayuan daun sirih. Pengamatan dilakukan selama empat jam dengan pencatatan variabel temperatur, tekanan, laju massa, energi panas, serta tingkat kelayuan daun. Hasil diperoleh secara eksperimental dan ditampilkan dalam bentuk tabel, grafik, serta rumusan analisis kuantitatif.

**3.1. Hasil Eksperimen**

**Tabel 1. Efisiensi dan Persentase Layu Daun Sirih per Jam**

Waktu (jam)	QA (kJ/det)	QB (kJ/det)	Qgas (kJ/det)	Qa (kJ/det)	Qb (kJ/det)	Qair (kJ/det)	Efisiensi (%)	Layu (%)
1	4,5131	3,5547	0,9584	26,4122	27,2020	0,7898	82	97
2	4,5243	3,5659	0,9584	26,5858	27,3755	0,7897	82	92
3	4,4986	3,5283	0,9703	26,7600	27,6374	0,8774	90	83
4	4,4986	3,5283	0,9703	26,8478	27,7252	0,8774	90	74

Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa efisiensi perpindahan panas tertinggi tercapai pada jam ke-3 dan ke-4, masing-masing sebesar 90%. Pada waktu yang sama, tingkat kelayuan daun sirih juga mencapai nilai maksimum pada jam pertama, yaitu 97%, dan menurun hingga 74% pada jam keempat karena semakin sedikit kandungan air yang dapat diuapkan.

**3.2. Grafik Hasil Penelitian**

▪ **Gambar 1. Hubungan Waktu terhadap Panas yang Dilepas oleh Gas Buang**

Panas yang dilepas gas buang ( $Q_{gas}$ ) relatif konstan di kisaran 0,9584–0,9703 kJ/det. Hal ini menunjukkan kestabilan performa mesin diesel dan kondisi operasional heat exchanger yang stabil.

▪ **Gambar 2. Hubungan Waktu terhadap Panas yang Diserap oleh Air**

Kenaikan energi panas air dari  $Q_a$  ke  $Q_b$  menunjukkan adanya transfer panas yang konsisten dan meningkat, dengan laju energi diserap tertinggi juga pada jam ke-3 dan ke-4. Ini membuktikan performa optimal sistem shell and tube.

▪ **Gambar 3. Hubungan Efisiensi Heat Exchanger terhadap Waktu**

Efisiensi meningkat dari 82% menjadi 90% dan tetap konstan, menandakan bahwa sistem telah mencapai kapasitas perpindahan optimal. Adanya isolasi atau modifikasi lanjutan berpotensi mendorong efisiensi lebih tinggi.

▪ **Gambar 4. Persentase Layu Daun Sirih terhadap Waktu**

Grafik menunjukkan tren penurunan persentase layu dari 97% ke 74%. Penurunan ini logis karena air yang tersisa di daun semakin sedikit, sehingga laju pelayuan melambat meski panas tetap tinggi.

### 3.3. Diskusi

Temuan utama dari eksperimen ini menunjukkan bahwa panas gas buang dapat dimanfaatkan secara efektif untuk proses pelayuan. Berdasarkan data QA dan QB, sebagian besar energi termal dari gas buang dapat ditransfer ke air dengan efisiensi lebih dari 80%. Nilai efisiensi yang tinggi ini didukung oleh desain heat exchanger tipe shell and tube yang memungkinkan kontak permukaan perpindahan panas optimal antara media panas dan dingin.

Selain itu, persentase kelayuan daun sirih dalam satu jam pertama menunjukkan bahwa transfer panas sangat efisien saat kandungan air daun masih tinggi. Namun, saat kandungan air mulai menurun, penurunan berat menjadi tidak linier meskipun energi panas yang diserap tetap tinggi. Fenomena ini sesuai dengan teori difusi uap air yang menurun saat gradien konsentrasi dan suhu antara daun dan udara menurun (Kreith, 1997).

Secara umum, tren efisiensi dan pelayuan menunjukkan bahwa sistem ini dapat bekerja secara stabil dalam waktu pelayuan 3–4 jam. Keunggulan lainnya adalah sistem ini menggunakan energi limbah yang seharusnya terbuang, sehingga ramah lingkungan dan berkontribusi pada efisiensi energi industri kecil. Namun demikian, beberapa keterbatasan penelitian ini perlu dicatat. Pertama, kehilangan panas melalui konduksi dinding pipa dan saluran belum dihitung secara rinci. Kedua, penelitian ini tidak menguji dampak variasi beban mesin diesel terhadap fluktuasi panas gas buang. Ketiga, hanya satu jenis tanaman yang digunakan, padahal setiap tanaman memiliki karakter pelayuan berbeda.

### 3.4. Implikasi Hasil Penelitian

Hasil ini memiliki implikasi langsung bagi industri pengolahan herbal, khususnya pelaku UMKM yang menggunakan mesin diesel sebagai sumber tenaga. Sistem ini dapat diadopsi tanpa perubahan besar pada infrastruktur yang ada. Selain itu, efisiensi lebih dari 80% menunjukkan potensi besar dari sistem pemanfaatan panas limbah untuk aplikasi lainnya, seperti pengeringan produk pertanian atau pemanasan air rumah tangga di daerah terpencil.

#### 4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa panas gas buang dari mesin diesel dapat dimanfaatkan secara efisien sebagai sumber energi alternatif untuk proses pelayuan daun sirih. Sistem yang dikembangkan menggunakan heat exchanger tipe shell and tube terbukti mampu mentransfer energi panas dari gas buang ke air dengan efisiensi perpindahan panas yang tinggi, yaitu mencapai hingga 90% pada kondisi optimum. Proses pelayuan yang berlangsung selama empat jam menunjukkan bahwa daun sirih mengalami pengurangan kadar air secara progresif, ditandai dengan persentase kelayuan tertinggi sebesar 97% pada jam pertama dan bertahap menurun hingga 74% pada jam keempat. Penurunan ini terjadi karena kandungan air pada daun semakin sedikit sehingga laju penguapan menurun, meskipun pasokan energi panas tetap stabil. Rangkaian sistem yang digunakan, mulai dari mesin diesel, heat exchanger, hingga ruang pelayuan, bekerja dalam keselarasan sistemik dan dapat mempertahankan suhu dan tekanan operasional yang dibutuhkan untuk pelayuan efektif. Berdasarkan data kuantitatif dari pengukuran temperatur, tekanan, dan massa, dapat disimpulkan bahwa sistem ini bukan hanya bekerja secara fungsional, namun juga memberikan hasil pelayuan yang setara dengan metode konvensional, dengan keunggulan dalam efisiensi energi dan keberlanjutan. Implikasi dari penelitian ini adalah terbukanya peluang untuk mengembangkan sistem serupa pada berbagai proses pengeringan atau pelayuan produk pertanian lainnya. Sistem ini juga memiliki potensi untuk disesuaikan dalam skala rumah tangga atau komunitas dengan ketersediaan mesin diesel sebagai sumber daya utama.

#### REFERENSI

- [1] Djohana Setyamidjaja, Teh Budi Daya dan Pengolahan Pascapanen, Kanicius, Yogyakarta, 2000.
- [2] E. Karyanto, Panduan Reparasi Mesin Diesel, Pedoman Ilmu Jaya, Jakarta, 2000.
- [3] J.P. Holman, Perpindahan Kalor, Erlangga, Jakarta, 1995.
- [4] F. Kreith, Prinsip-prinsip Perpindahan Panas, Erlangga, Jakarta, 1997.
- [5] V.L. Maleev, M.E., DR.A.M, Ir. Bambang Priambodo, Operasi Dan Pemeliharaan Mesin Diesel, Erlangga, Jakarta, 1991.
- [6] W. Arismunandar and K. Tsuda, Motor Diesel Putaran Tinggi, Pramudya Paramita, Jakarta, 2004.