

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian, perhitungan neraca energi, dan analisis termodinamika pada rancang bangun alat pengering berbasis *Thermal Energy Storage* (baterai pasir), dapat ditarik beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

1. **Karakteristik Ekstraksi Energi Baterai Pasir ($Q_{ekstraksi}$)**

Modifikasi sistem injeksi udara langsung / *semi close loop* (Versi 2) terbukti memiliki laju ekstraksi panas yang jauh lebih masif dibandingkan sirkulasi perpipaan / *close loop* (Versi 1). Kecepatan sirkulasi udara yang mencapai 8,6 m/s pada Versi 2 menciptakan fenomena konveksi paksa yang sangat agresif, bahkan mampu menyerap energi termal melampaui suplai daya dari panel surya pada pengujian siang hari (ditandai dengan nilai ΔQ_{pasir} yang bernilai negatif / menguras tabungan energi pasir).

2. **Pemanfaatan Energi pada Ruang Pengering ($Q_{pengering}$)**

Tinjauan beban energi menunjukkan bahwa serapan energi terbesar di dalam kabinet oven mutlak didominasi oleh kebutuhan kalor laten untuk menguapkan massa air pada irisan jahe. Sementara itu, kebutuhan kalor sensibel untuk mencapai *setpoint* suhu sangat kecil, hal ini dibuktikan secara kuantitatif oleh ringannya massa total udara di dalam volume ruang pengering yang hanya sebesar 0,0717 kg.

3. **Efisiensi Termal Keseluruhan (η_{termal})**

Sistem menunjukkan nilai efisiensi termal yang sangat logis secara hukum termodinamika. Persentase efisiensi pada malam hari (kondisi murni *discharging*) terukur jauh lebih optimal (berkisar antara 40% hingga 69%) karena seluruh energi yang dipindahkan murni berasal dari tabungan panas pasir. Penurunan persentase pada siang hari disebabkan oleh sangat besarnya suplai daya masuk (Q_{input}) dari elemen pemanas, di mana sisa energi yang tidak terserap oleh jahe terbuang sebagai rugi-rugi termal (*heat loss*) melalui konduksi plat dinding oven dan batas insulasi.

4. Efektivitas Daya Elektromekanik Aktuator

Evaluasi kelistrikan motor *blower* membuktikan bahwa sistem Versi 2 (*semi close loop*) memiliki rasio konversi kerja yang jauh lebih unggul. Untuk setiap Joule energi listrik yang dikonsumsi oleh *blower* berdasarkan kalkulasi waktu aktifnya (T_{on}), konfigurasi Versi 2 mampu memindahkan dan mendistribusikan total energi termal ($Q_{ekstraksi}$) dalam jumlah yang jauh lebih besar dibandingkan Versi 1. Hal ini menegaskan bahwa meniadakan hambatan pipa radiator memberikan nilai tambah performa yang signifikan terhadap efektivitas daya alat pengering.

6.2 Saran

Berdasarkan keterbatasan dan evaluasi dari hasil pengujian sistem saat ini, terdapat beberapa saran perbaikan yang dapat direkomendasikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya:

1. **Perbaikan Insulasi Termal Ruang Pengering:** Disarankan untuk meningkatkan kualitas dan ketebalan material isolator pada dinding ruang pengering (*oven enclosure*). Hal ini sangat krusial untuk menekan rugi-rugi panas (*heat loss*) ke lingkungan, sehingga alat dapat mencapai suhu 45°C dengan mudah dan beroperasi secara optimal pada malam hari (*off-grid*) tanpa membebani kapasitas baterai pasir.
2. **Peningkatan Kapasitas Sand Battery:** Untuk mendukung operasional pengeringan durasi panjang di malam hari, volume media pasir silika dan insulasi wadah *Thermal Energy Storage* perlu diperbesar agar sistem mampu menyimpan kapasitas panas sensibel yang jauh lebih masif.
3. **Penyempurnaan Metode Kendali (Kontrol PID):** Untuk mengatasi efek *thermal inertia* (keterlambatan respons suhu) yang terjadi pada sistem radiator tertutup (Versi 1), penelitian selanjutnya disarankan untuk mengganti kontrol ON/OFF dengan kontrol **PID** (*Proportional-Integral-Derivative*) yang dipadukan dengan *blower* DC yang dapat diatur kecepatan putarannya (PWM). Dengan begitu, suplai udara panas akan lebih mulus (*smooth*) tanpa adanya osilasi (gigi gergaji) yang terlalu tajam.

4. **Standarisasi Preparasi Objek Uji:** Pada pengujian fungsionalitas pengeringan di masa mendatang, disarankan untuk menggunakan alat pemotong mekanis (*slicer machine*) dalam menyiapkan sampel komoditas organik. Hal ini bertujuan untuk memastikan seluruh irisan bahan memiliki ketebalan yang identik, sehingga kurva penyusutan massa (laju pengeringan) dapat dianalisis secara lebih akurat dan presisi.