

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan prototipe, pengujian fungsional, dan analisis kinerja sistem yang telah dilakukan, dapat disimpulkan hal-hal berikut:

1. Sistem kontrol otomatis penyulingan minyak atsiri kapasitas maksimal 5 kg berbasis **PLC Haiwell A8** telah berhasil dirancang dan diimplementasikan secara utuh dalam bentuk prototipe fisik skala laboratorium yang mencakup empat subsistem utama: **boiler, destilator, kondensor, dan separator**.
2. Seluruh parameter proses kritis (suhu, tekanan, dan level cairan) berhasil dimonitor secara real-time dan dikendalikan secara otomatis sesuai setpoint yang ditentukan melalui kombinasi sensor (PT-100, pressure transmitter, float level switch), aktuator (electric heater, motorized valve, pompa air), dan logika Ladder Diagram pada PLC.
3. Hasil pengujian menunjukkan performa sistem yang memuaskan, antara lain:
  - Akurasi sensor suhu rata-rata **99,76 %** (rata-rata error  $\pm 0,14$  °C)
  - Akurasi sensor tekanan rata-rata **98,6 %** (rata-rata error  $\pm 0,01$  bar)
  - Reliabilitas sensor level **100 %** pada seluruh siklus pengujian
  - Waktu pemanasan boiler dari  $\sim 30$  °C hingga 100 °C hanya **~25 menit** dengan stabilitas suhu operasi  $\pm 0,5$  °C dan overshoot maksimum  $\sim 4,7$  %
4. Sistem otomasi berhasil mengatasi sebagian besar kelemahan utama penyulingan konvensional yang umum digunakan UMKM, yaitu:
  - Kontrol parameter proses menjadi jauh lebih presisi dan konsisten
  - Mengurangi risiko keselamatan kerja (tidak perlu operator membuka-tutup katup secara manual pada kondisi panas/bertekanan)

- Menghemat konsumsi energi karena pemanas listrik hanya aktif sesuai kebutuhan
  - Proses berjalan secara sekuensial otomatis dari pengisian air → pemanasan → destilasi → kondensasi → pemisahan tanpa intervensi manual selama siklus normal
5. Tujuan utama penelitian telah tercapai, yaitu menghasilkan rancangan sistem kontrol berbasis PLC yang mampu meningkatkan efisiensi waktu produksi, stabilitas kualitas minyak atsiri, serta keamanan operasional pada skala kecil-menengah.

## 5.2 Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut dan penerapan yang lebih optimal, berikut beberapa saran yang dapat dipertimbangkan:

1. Mengganti strategi kontrol heater dari ON-OFF menjadi **kontrol PID dengan Auto-Tuning** agar overshoot dapat ditekan lebih rendah (<2 %) dan stabilitas suhu pada fase holding menjadi lebih baik, terutama ketika beban bahan baku bervariasi.
2. Mengintegrasikan sistem dengan **HMI/SCADA berbasis cloud** (Haiwell Cloud) atau menambahkan modul **IoT** sehingga operator dapat memantau dan mengendalikan proses dari jarak jauh melalui smartphone atau web browser, sekaligus merekam data historis untuk analisis tren produksi.
3. Melengkapi analisis efisiensi energi secara komprehensif dengan menghitung:
  - Efisiensi termal boiler (memperhitungkan kehilangan panas radiasi, konveksi, dan exhaust)
  - Konsumsi daya listrik spesifik per kg minyak yang dihasilkan
  - Potensi penghematan biaya operasional dibandingkan penggunaan kayu bakar
4. Menambahkan fitur keamanan tambahan yang lebih lengkap, seperti:
  - High-High Pressure Trip (shutdown otomatis >1,8–2 bar)
  - Low-Low Level Emergency Shutdown + alarm buzzer/sms

- Deteksi kebocoran uap/air pada pipa/kondensor
  - Password protection multi-level pada HMI
5. Mengembangkan versi lanjutan dengan kapasitas lebih besar (10–15 kg) dan mempertimbangkan opsi hybrid heating (listrik + gas LPG) atau renewable energy (solar thermal assisted) untuk menekan biaya operasional dan mendukung konsep green industry.
  6. Menyusun **SOP operasional, panduan perawatan preventif, dan dokumen risk assessment** lengkap agar prototipe ini siap diadopsi oleh UMKM penyulingan minyak atsiri di daerah penghasil serai wangi.

Dengan menerapkan sebagian atau seluruh saran di atas, sistem ini berpotensi menjadi solusi otomasi yang kompetitif, terjangkau, dan mudah direplikasi untuk industri minyak atsiri skala kecil-menengah di Indonesia.