

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian Sistem Agitator Otomatis Berbasis Mikrokontroler ATmega328P untuk Proses Pendinginan Biji Kopi pada Skala *Home Industry*, dapat disimpulkan bahwa sistem telah berfungsi sesuai dengan tujuan yang direncanakan. Sistem ini mampu mengaduk biji kopi secara otomatis dengan pengaturan kecepatan motor berdasarkan parameter berat dan kondisi hasil *roasting*, sehingga proses pendinginan dapat berlangsung lebih cepat, merata, dan efisien dibandingkan metode manual.

Dari hasil pengujian, diperoleh beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

1. Sistem pengendalian berbasis mikrokontroler Arduino Uno ATmega328P mampu mengolah data dari sensor suhu dan berat secara simultan dan mengontrol kecepatan motor penggerak melalui sinyal PWM dengan baik. Hal ini memungkinkan proses agitasi yang teratur dan adaptif terhadap variasi beban.
2. Berdasarkan hasil pengujian efisiensi waktu, diperoleh rentang efisiensi ideal untuk setiap klasifikasi beban, yaitu:
 - Beban ringan 250–400 g: efisiensi 47,02%–57,14%, rata-rata 52,78%.
 - Beban sedang 450–700 g: efisiensi 41,18%–45,27%, rata-rata 43,06%.
 - Beban besar 750–1000 g: efisiensi 33,61%–35,45%, rata-rata 34,32%.
3. Berdasarkan hasil pengujian kecepatan, diperoleh rentang kecepatan ideal untuk setiap klasifikasi beban, yaitu:
 - Beban ringan (250–400 gram): 120 PWM
 - Beban sedang (450–700 gram): 160 PWM
 - Beban berat (750–1000 gram): 200 PWM

Ketiga kecepatan tersebut terbukti menghasilkan agitasi yang stabil, merata, dan tidak menyebabkan biji kopi pecah atau terpentol, sehingga dapat dianggap sebagai titik operasi ideal.

4. Selain kecepatan agitasi, parameter suhu akhir pendinginan juga menjadi acuan penting dalam proses pasca-roasting. Berdasarkan praktik penanganan pasca-roasting, biji kopi dinilai ideal untuk masuk tahap packaging ketika suhu telah turun hingga sekitar $\pm 40^{\circ}\text{C}$, karena pada suhu ini biji kopi sudah cukup stabil, risiko kondensasi berkurang, dan kualitas fisik maupun aroma lebih terjaga saat proses pengemasan.
5. Sistem agitator otomatis ini secara keseluruhan berhasil meningkatkan efisiensi waktu pendinginan, mengurangi *intervensi* tenaga manusia, serta menjaga kualitas fisik dan aroma biji kopi hasil *roasting*. Dengan rancangan ini, proses *pasca-roasting* pada skala *home industry* dapat dilakukan dengan hasil yang lebih konsisten dan profesional.

Dengan demikian, rancang bangun sistem agitator otomatis berbasis ATmega328P ini telah memenuhi kriteria fungsional yang direncanakan, baik dari aspek elektronik, mekanik, maupun kinerja sensor. Sistem ini layak dijadikan prototipe dasar untuk pengembangan teknologi otomasi *pasca-roasting* kopi di skala kecil dan menengah.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan evaluasi yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran untuk pengembangan sistem agar dapat bekerja lebih optimal di masa mendatang, antara lain:

1. Peningkatan akurasi sensor:

Disarankan untuk menggunakan sensor *load cell full bridge* guna meningkatkan stabilitas pembacaan berat serta sensor suhu tipe MAX31855 yang memiliki kompensasi suhu lebih baik dibanding MAX6675.

2. Penerapan sistem kontrol cerdas:

Implementasi kontrol PID (*Proportional–Integral–Derivative*) pada pengaturan kecepatan motor sangat dianjurkan untuk mendapatkan

kestabilan rotasi yang lebih presisi, terutama saat menghadapi perubahan beban besar.

3. Penambahan sistem proteksi kelistrikan:

Diperlukan penambahan proteksi arus lebih, fuse, dan kapasitor filter pada jalur *step down converter* untuk menjaga kestabilan tegangan dan mencegah gangguan pada modul mikrokontroler atau LCD saat beban berat bekerja.

4. Integrasi monitoring digital:

Sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan modul komunikasi nirkabel seperti Wi-Fi (ESP8266) atau Bluetooth, sehingga data suhu dan berat dapat dipantau melalui aplikasi atau antarmuka berbasis web secara *real-time*.

5. Perbaikan aspek mekanik:

Desain wadah agitator dan bentuk *paddle* (dayung) perlu dioptimalkan agar pergerakan biji kopi lebih efisien tanpa menyebabkan tumbukan keras. Penggunaan bahan tahan panas dan ringan juga direkomendasikan untuk meningkatkan durabilitas alat.

6. Kalibrasi dan validasi berkala:

Sensor suhu dan berat perlu dikalibrasi secara rutin menggunakan alat standar laboratorium untuk memastikan akurasi tetap terjaga, terutama setelah periode penggunaan yang panjang.

7. Pengembangan sistem pendingin terpadu:

Penggabungan antara sistem agitator dan sistem pendingin udara otomatis berbasis sensor suhu lingkungan dapat meningkatkan efisiensi pendinginan dan menghemat energi secara signifikan.

Dengan penerapan saran-saran tersebut, diharapkan sistem agitator otomatis ini dapat dikembangkan menjadi perangkat otomasi industri kopi yang lebih handal, presisi, dan ramah pengguna, sekaligus mendukung modernisasi proses produksi kopi pada level *home industry* hingga semi-industri.