

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan seluruh tahapan perancangan, pembuatan, analisis data, dan pembahasan hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap alat *Wire Coiller* nikelin otomatis, dapat ditarik beberapa kesimpulan utama sebagai berikut:

- 1 Perangkat keras dan perangkat lunak alat *Wire Coiller* nikelin otomatis berbasis mikrokontroler Arduino Uno dengan sistem kontrol *Open Loop* telah berhasil berkoordinasi dan direalisasikan dengan baik. Mulai dari input nilai resistansi melalui *keypad 4x4* dan ditampilkan melalui LCD 16x2 I2C secara real time terbukti andal dalam mengoordinasikan putaran motor *stepper* Nema 17 yang terhubung dengan *lead screw* sampai body *jig* di sepanjang *Aluminium Profile* v-slot.
- 2 Berdasarkan uji coba hasil akhir koil resistansi kawat nikelin 0,3 mm terhadap tegangan 220 volt AC menunjukkan 17 variasi yang dapat bertahan selama 2 menit tanpa putus (*burnout*) tanpa *monitoring* suhu *real time* pada kawat saat terhubung tegangan AC.
- 3 Analisis statistik kuantitatif terhadap data hasil akhir koil resistansi menunjukkan hasil yang sangat presisi dengan nilai standar deviasi yang sangat rendah, yaitu hanya berkisar antara 0,13 hingga 0,60. Rendahnya fluktuasi data pada 5 kali replikasi di setiap target ini membuktikan bahwa *Driver A4988* mampu meminimalkan risiko slip langkah (*lost Steps*) pada motor *stepper* Nema 17, sehingga menjamin kualitas repetabilitas alat yang tinggi.
- 4 Rumusan fungsi linier matematika ($N_{rotasi} = R \cdot 2,53 \text{ lilitan}$) yang ditanamkan pada program Arduino IDE teruji sangat valid dan matang. Hal ini diperkuat oleh perolehan nilai koefisien variasi yang sangat minim dan mendekati nol persen, yaitu hanya berkisar antara 0,002% hingga 0,010% di sepanjang spektrum pengujian.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan keterbatasan sistem kendali yang ditemukan selama proses pengujian alat *Wire Coiller* nikelin otomatis ini, terdapat beberapa saran pengembangan yang dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya untuk meningkatkan performa, fleksibilitas, dan keandalan alat:

1. Mengubah sistem kendali dari *Open Loop* menjadi *closed loop* dengan menambahkan sensor enkoder posisi *rotary encoder* pada poros motor *stepper* Nema 17. Kehadiran sensor ini bertujuan untuk memverifikasi jumlah rotasi secara aktual dan mendeteksi secara dini jika terjadi gejala slip langkah (*lost Steps*) selama proses penggulangan kontinu.
2. Memasang sensor pembatas atau *limit switch* di ujung kanan dan kiri rel *Aluminium Profile* v-slot sepanjang 70 cm. Sensor ini sangat krusial sebagai sistem proteksi *hardware* untuk membatasi pergerakan translasional *body jig* secara otomatis, sehingga mencegah terjadinya benturan mekanis ekstrim apabila operator terlambat menekan tombol interupsi 'D' (*STOP*) pada *keypad* saat proses penggulangan balik (*Unwinding*).
3. Meningkatkan resolusi langkah menggunakan *microstepping* tinggi dengan mengganti modul *Driver* yang lebih tinggi (seperti mode 1/32 atau 1/64 *step*). Peningkatan resolusi ini akan membuat pergerakan translasi *lead screw* T8 menjadi jauh lebih halus, senyap, dan presisi.
4. Memperluas variasi pengujian karakteristik kawat dengan melakukan pengujian eksperimental lebih lanjut dengan menggunakan variasi diameter kawat nikelin yang lebih beragam (misalnya diameter 0,15 mm sampai 3 mm) serta memperluas rentang target hambatan di luar skala 30 ohm – 120 ohm.
5. Menambahkan komponen atau alat untuk mengeluarkan koil resistansi secara otomatis karena dalam alat ini pengeluaran koil pada *lead screw* masih secara manual.

Dengan adanya berbagai pengembangan tersebut, diharapkan alat *Wire Coiller* nikelin otomatis ini dapat menghasilkan kualitas gulungan yang jauh lebih baik, memiliki tingkat akurasi elektrik yang semakin tinggi. Melalui

penyempurnaan sistem kendali lingkaran tertutup (*closed loop*) dan optimalisasi manajemen termal sirkuit, alat ini diproyeksikan tidak hanya andal untuk skala laboratorium, melainkan juga siap diaplikasikan pada kebutuhan manufaktur massal dalam industri manufaktur skala kecil, khususnya pada fabrikasi elemen pemanas listrik (*heating element*) dan komponen resistor variabel yang konsisten serta bermutu tinggi.