



**RANCANG BANGUN ALAT *WIRE COILLER* NIKELIN OTOMATIS
MENGUNAKAN MOTOR STEPPER DENGAN KENDALI *OPEN LOOP*
UNTUK PEMBUATAN KOIL RESISTANSI LISTRIK**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Menyelesaikan Pendidikan Pada
Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri
Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro**

**Disusun Oleh:
TEDDY YUNUS SUMARTO SITUMORANG
NIM. 40040622650066**

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNIK LISTRIK INDUSTRI
DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

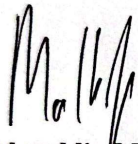
2026

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR
RANCANG BANGUN ALAT *WIRE COILLER* NIKELIN OTOMATIS
MENGUNAKAN MOTOR STEPPER DENGAN KENDALI *OPEN LOOP*
UNTUK PEMBUATAN KOIL RESISTANSI LISTRIK

Diajukan Oleh:
Teddy Yunus Sumarto Situmorang
NIM: 40040622650066

TELAH DISETUJUI DAN DITERIMA DENGAN BAIK OLEH

Dosen Pembimbing

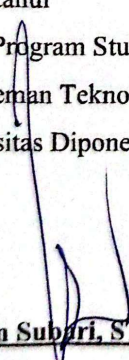


Fakhruddin Mangkusasmito, ST, MT
NIP. 198908202019031012

Semarang, 28 Juli 2026

Mengetahui

Ketua Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri
Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro



Arkhan Subari, ST, M.Kom
NIP. 197710012001121002

Semarang, 28 Juli 2026

HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR
RANCANG BANGUN ALAT *WIRE COILLER* NIKELIN OTOMATIS
MENGGUNAKAN MOTOR STEPPER DENGAN KENDALI *OPEN LOOP*
UNTUK PEMBUATAN KOIL RESISTANSI LISTRIK

Diajukan Oleh:
Teddy Yunus Sumarto Situmorang
NIM: 40040622650066

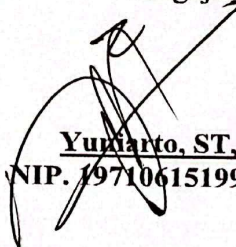
Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada tanggal:
Hari : Selasa
Tanggal : 28 Juli 2026

Ketua Penguji



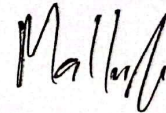
Dista Yoel Tadeus, S.T., M.T.
NIP. 198812282015041002

Penguji I



Yuniarto, ST, MT.
NIP. 197106151998021001

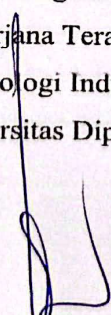
Penguji II



Fakhruddin Mangkusasmitho, ST, MT.
NIP. 198908202019031012

Mengetahui,

Ketua Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri
Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro



Arkhan Suhari, S.T. M.Kom.
NIP. 197710012001121002

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Teddy Yunus Sumarto Situmorang
NIM : 40040622650066
Program Studi : Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri
Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro
Judul Tugas Akhir : RANCANG BANGUN ALAT *WIRE COILER*
NIKELIN OTOMATIS MENGGUNAKAN
MOTOR STEPPER DENGAN KENDALI *OPEN*
LOOP UNTUK PEMBUATAN KOIL
RESISTANSI LISTRIK

Dengan ini menyatakan bahwa dalam tugas akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh derajat keahlian di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah dituliskan atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dirujuk dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti plagiat dalam tugas akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan Mendiknas RI No. 17 tahun 2010 dan peraturan perundang – undangan yang berlaku.

Semarang, 28 Juli 2026



Teddy Yunus Sumarto Situmorang
NIM. 40040622650066

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji syukur yang tak terhingga penulis panjatkan atas selesainya penyusunan Laporan Tugas Akhir ini. Karya sederhana ini tidak akan pernah terwujud tanpa adanya doa, bimbingan, dukungan, dan kasih sayang dari berbagai pihak yang sangat berarti. Oleh karena itu, dengan penuh rasa syukur, karya ini saya persembahkan kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus, atas segala penyertaan, kasih karunia, dan kebaikan-Nya yang sangat luar biasa dalam setiap langkah hidup saya, sehingga saya diberikan kekuatan dan kemudahan untuk menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua saya tercinta, atas segala cinta kasih, pengorbanan tanpa batas, dukungan moril maupun materiel, serta doa yang tak pernah putus. Kalian adalah inspirasi dan alasan utama saya untuk terus berjuang.
3. Ketiga kakak saya dan lae saya, terima kasih atas segala dukungan, nasihat, dan semangat yang selalu diberikan agar saya terus melangkah maju dan pantang menyerah.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Budiyo, M.Si., selaku Dekan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
5. Bapak Arkhan Subari, S.T., M.Kom., selaku Ketua Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri. Terima kasih atas dedikasinya dalam memimpin program studi tempat saya menimba ilmu.
6. Fakhruddin Mangkusasmito, ST, MT., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu dan sabar memberikan ilmu, bimbingan, serta arahan selama proses penyusunan Laporan Tugas Akhir ini.
7. Seluruh staf pengajar dan karyawan Program Studi Teknik Listrik Industri, atas segala bantuan dan ilmu yang telah diberikan selama masa perkuliahan.
8. Naren Dramardhani Sasda, teman seperjuangan yang sudah sangat banyak membantu, menemani, dan memberikan dukungan tanpa lelah dari awal semester satu hingga sampai di titik ini.

9. Teman-teman sejurusan Teknik Listrik Industri angkatan 2022, atas kebersamaan, solidaritas, dan kenangan luar biasa yang kita lewati bersama selama menempuh masa perkuliahan.
10. Teman-teman Persekutuan Mahasiswa Kristen (PMK) Sekolah Vokasi, yang telah menjadi keluarga kedua, tempat bertumbuh bersama dalam iman, dan sumber energi positif selama masa perkuliahan.

ABSTRAK

Koil resistansi listrik merupakan komponen utama elemen pemanas pada berbagai peralatan laboratorium dan industri kecil. Pembuatan koil secara konvensional atau manual sering kali menghasilkan kerapatan lilitan dan jumlah putaran yang tidak konsisten, sehingga memicu ketidakakuratan nilai resistansi akhir dan meningkatkan risiko kegagalan produk akibat kesalahan manusia (human error). Untuk mengatasi permasalahan tersebut, Tugas Akhir ini merealisasikan rancang bangun alat Wire Coiller nikelin otomatis menggunakan kawat nikelin berdiameter 0,3 mm dengan Open Loop berbasis mikrokontroler Arduino Uno. Sistem mekanik alat ini memanfaatkan kombinasi motor stepper Nema 17 dan lead screw T8 sepanjang 70 cm di atas rel V-slot Aluminium Profile untuk mengonversi gerak rotasi menjadi gerak translasi linier pada jig pemandu kawat secara presisi. Alat ini dilengkapi dengan antarmuka keypad 4x4 sebagai Input nilai target resistansi variabel (rentang 30 ohm hingga 120 ohm) dan LCD 16x2 I2C untuk menampilkan status proses secara real-time. Algoritma sistem mengonversi Input resistansi target menjadi jumlah putaran mekanis secara otomatis melalui rumus fungsi linear kalibrasi yang ditanamkan pada program, yaitu $(N_{rotasi}) = R \cdot 2,53 \text{ lilitan}$. Berdasarkan hasil pengujian eksperimental terhadap 19 variasi target resistansi dengan interval kelipatan 5 ohm, alat ini menunjukkan tingkat akurasi elektrik yang sangat tinggi dengan persentase kesalahan (error percentage) yang sangat minim, yaitu berkisar antara 0,002% hingga 0,010%. Kerapatan dan presisi produk terbukti melalui nilai standar deviasi yang rendah (0,13 hingga 0,60) serta linearitas mekanis yang konsisten, di mana setiap kenaikan parameter 5 ohm berbanding lurus dengan penambahan panjang fisik koil sekitar 2 cm hingga 3,5 cm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun bekerja tanpa sensor umpan balik, alat Wire Coiller ini memiliki ketelitian, keandalan, dan stabilitas tinggi yang sangat layak diaplikasikan untuk manufaktur elemen pemanas pada skala industri kecil.

Kata Kunci: Wire Coiller, Kawat Nikelin, Motor Stepper, Arduino Uno, Open Loop, Koil Resistansi.

ABSTRACT

Electrical resistance coils serve as the primary components of heating elements in various laboratory equipment and small-scale industries. Conventional or manual coil fabrication frequently results in inconsistent winding density and number of turns, which triggers inaccuracies in the final resistance value and increases the risk of product failure due to human error. To address these challenges, this Final Project realizes the design and construction of an automatic nichrome wire coiler using 0.3 mm diameter nichrome wire, governed by an open-loop control system based on an Arduino Uno microcontroller. The mechanical system utilizes a combination of a Nema 17 stepper motor and a 70 cm T8 lead screw mounted on a V-slot aluminum profile rail to precisely convert rotational movement into linear translational movement for the wire guide jig. The apparatus is equipped with a 4x4 keypad interface for variable target resistance Input (ranging from 30 ohm to 120 ohm) and a 16x2 I2C LCD to display real-time process status. The system algorithm automatically converts the target resistance Input into the mechanical number of turns via a calibration linear function embedded in the program, specifically $(N_{\text{rotation}}) = R \cdot 2,53 \text{ turns}$. Based on experimental test results across 19 target resistance variations with intervals of 5 ohm increments, the device demonstrates an exceptionally high level of electrical accuracy with minimal error percentages ranging between 0.002% and 0.010%. The density and precision of the product are verified by low standard deviation values (0.13 to 0.60) and consistent mechanical linearity, where every 5 ohm parameter increment directly corresponds to a physical coil length increase of approximately 2 cm to 3.5 cm. The research results indicate that despite operating without a feedback sensor, this wire coiler possesses high precision, reliability, and stability, making it highly viable for application in heating element manufacturing within small-scale industries.

Keywords: Wire Coiler, Nichrome Wire, Stepper Motor, Arduino Uno, Open Loop, Resistance Coil.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas segala kasih karunia, penyertaan, dan berkat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul " **RANCANG BANGUN ALAT *WIRE COILLER* NIKELIN OTOMATIS MENGGUNAKAN MOTOR STEPPER DENGAN KENDALI *OPEN LOOP* UNTUK PEMBUATAN KOIL RESISTANSI LISTRIK** ".

Dalam kesempatan ini, kami mengucapkan terima kasih atas bimbingan, arahan, serta bantuan moril maupun materiil yang telah diberikan oleh pihak-pihak yang membantu sehingga kami dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini dengan baik. Dengan hormat, kami menyampaikan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus, atas segala penyertaan, kasih karunia, dan kebaikan-Nya yang sangat luar biasa dalam setiap langkah hidup saya, sehingga saya diberikan kekuatan dan kemudahan untuk menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua saya tercinta, atas segala cinta kasih, pengorbanan tanpa batas, dukungan moril maupun materiel, serta doa yang tak pernah putus. Kalian adalah inspirasi dan alasan utama saya untuk terus berjuang.
3. Ketiga kakak saya dan lae saya, terima kasih atas segala dukungan, nasihat, dan semangat yang selalu diberikan agar saya terus melangkah maju dan pantang menyerah.
4. Bapak Prof. Dr. Ir. Budiyo, M.Si., selaku Dekan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
5. Bapak Arkhan Subari, S.T., M.Kom., selaku Ketua Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri. Terima kasih atas dedikasinya dalam memimpin program studi tempat saya menimba ilmu.
6. Fakhruddin Mangkusasmito, ST, MT., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu dan sabar memberikan ilmu, bimbingan, serta arahan selama proses penyusunan Laporan Tugas Akhir ini.
7. Seluruh staf pengajar dan karyawan Program Studi Teknik Listrik Industri, atas segala bantuan dan ilmu yang telah diberikan selama masa perkuliahan.

8. Naren Dramardhani Sasda, teman seperjuangan yang sudah sangat banyak membantu, menemani, dan memberikan dukungan tanpa lelah dari awal semester satu hingga sampai di titik ini.
9. Teman-teman sejurusan Teknik Listrik Industri angkatan 2022, atas kebersamaan, solidaritas, dan kenangan luar biasa yang kita lewati bersama selama menempuh masa perkuliahan.
10. Teman-teman Persekutuan Mahasiswa Kristen (PMK) Sekolah Vokasi, yang telah menjadi keluarga kedua, tempat bertumbuh bersama dalam iman, dan sumber energi positif selama masa perkuliahan.

Semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penyusun maupun semua pihak terutama mahasiswa Teknik Listrik Industri. Penyusun menyadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna oleh karena itu, penyusun mengharapkan kritik dan saran yang membangun agar laporan tugas akhir ini menjadi lebih baik

Semarang, 28 Juli 2026



Teddy Yunus Sumarto Situmoang

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.5.1 Manfaat Akademis	3
1.5.2 Manfaat Teknis.....	3
1.5.3 Manfaat Pengembangan Teknologi.....	4
1.5.4 Manfaat Praktis	4
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II LANDASAN TEORI	6
2.1 Tinjauan Pustaka	6
2.2 Dasar Teori	8
2.2.1 Penggulungan Kawat Secara Otomatis	10
2.2.2 Mikrokontroler Arduino Uno.....	11
2.2.3 Motor Stepper (Nema 17)	14
2.2.4 Lead Screw 8mm.....	15
2.2.5 Coupler Flexible (5mm ke 8mm).....	17
2.2.6 Power Supply 12V 5A.....	18
2.2.7 Step Down LM2596.....	19

2.2.8	<i>Driver Stepper A4988</i>	20
2.2.9	Kapasitor 470 μ F/25V	22
2.2.10	LCD 16x2	23
2.2.11	Key Pad	25
2.2.12	V-Slot <i>Aluminium Profile</i> 2040	26
2.2.13	Roda Openbuilds V-wheel Stainless 255zz	27
2.2.14	Analisis Perhitungan	28
BAB III PERANCANGAN ALAT		32
3.1	Diagram Blok	32
3.2	Spesifikasi dan Kapasitas Fungsional Sistem	34
3.2.1	Target Keluaran (<i>Requirement</i>)	34
3.2.2	Antarmuka Pengguna dan Kontrol (<i>Set Point</i>)	34
3.2.3	Spesifikasi Teknis Perangkat (<i>Hardware Specification</i>)	35
3.3	Wiring Diagram	38
3.3.1	Rangkaian Keseluruhan Sistem	38
3.4	Flowchart Sistem	40
3.5	Perancangan Model 3D Menggunakan Fushion 360	42
BAB IV PEMBUATAN ALAT		44
4.1	Alat dan Bahan	45
4.2	Perancangan Perangkat Keras (<i>Hardware</i>)	46
4.2.1	Perakitan Mekanik Alat	47
4.2.2	Perakitan Sistem Elektronik Alat	50
4.3	Perancangan Perangkat Lunak	53
4.3.1	Persiapan Pemograman	54
4.3.2	Pembuatan Program Arduino	56
4.3.3	Cara Kerja Program	58
BAB V PENGUJIAN ALAT DAN ANALISA		71
5.1	Analisis Target Resistansi Terhadap Tegangan, Arus dan Daya Aktif	71
5.2	Uji Coba Ketahanan Koil pada Tegangan AC 220V	74
5.3	Perhitungan Nilai Resistansi menjadi Nilai Rotasi	76
5.4	Pengujian Alat	79
5.5	Pengujian Resistansi Koil	81

5.4.1	Data Hasil Pengujian Resistansi	82
5.4.2	Analisis Resistansi Coil	84
5.6	Analisis Panjang Akhir Koil.....	88
5.7	Analisis Ketelitian Alat	92
5.8	Pembahasan Hasil Pengujian.....	93
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		96
6.1	Kesimpulan.....	96
6.2	Saran.....	97
DAFTAR PUSTAKA		99
LAMPIRAN.....		101

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2- 1 Arduino Uno	11
Gambar 2- 2 Nema 17	14
Gambar 2- 3 Lead Screw.....	15
Gambar 2- 4 Coupler Flexible.....	17
Gambar 2- 5 Power Supply	18
Gambar 2- 6 Step Down.....	19
Gambar 2- 7 Driver Stepper	20
Gambar 2- 8 Kapasitor	22
Gambar 2- 9 LCD 16x2.....	23
Gambar 2- 10 Keypad 4x4	25
Gambar 2- 11 V-Slot Aluminium Profile.....	26
Gambar 2- 12 Roda Openbuilds.....	27
Gambar 3- 1 Diagram Blok Sistem.....	32
Gambar 3- 2 Wiring Diagram Sistem	38
Gambar 3- 3 Flowchart	40
Gambar 3- 4 Perancangan Model Jig 3D	42
Gambar 3- 5 Perancangan Model 3D.....	43
Gambar 4- 1 Nema 17 dan <i>Flexible Coupler</i> yang terpasang.....	48
Gambar 4- 2(a) Nema 17 terhubung dengan Lead Screw sampai Jig (b) Lead Screw terhubung dengan Jig menggunakan Nut T8	48
Gambar 4- 3 Sistem Mekanik terhubung dengan Sistem Elektrik.....	49
Gambar 4- 4 Pemasangan Arduino Uno, A4988, LM2596 dan Power Supply 12 VDC	50
Gambar 4- 5 Pemasangan rangkaian akhir pada Box Hitam	51
Gambar 4- 6 Box Rangkaian <i>Wire Coiller</i>	52
Gambar 4- 7 (a) Inisiasi dan Konfigurasi (b) Pengaturan pin dan Variabel Kontrol	58
Gambar 4- 8 Inisialisasi Sistem.....	60
Gambar 4- 9 Standby dan Navigasi	61
Gambar 4- 10 (a) <i>Input</i> Resistansi (b) Logika Konversi.....	63

Gambar 4- 11 (a) Widing Otomatis (b) Akselerasi Deselerasi	64
Gambar 4- 12 Arah Unwiding	66
Gambar 4- 13 Jogging Manual (Maju).....	68
Gambar 4- 14 Riwayat Data Koil Resistansi yang telah terbentuk.....	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2- 1 Spesifikasi Arduino Uno.....	13
Tabel 2- 2 Spesifikasi Nema 17	15
Tabel 2- 3 Spesifikasi Lead Screw	16
Tabel 2- 4 Spesifikasi Power Supply	18
Tabel 2- 5 Spesifikasi Step Down	20
Tabel 2- 6 Spesifikasi <i>Driver</i> Stepper.....	21
Tabel 2- 7 Spesifikasi LCD 16x2.....	24
Tabel 2- 8 Konfigurasi Pin-Out LCD 16x2.....	24
Tabel 2- 9 Konfigurasi Pin-Out Key Pad.....	26
Tabel 3- 1 Spesifikasi Teknis Komponen	36
Tabel 4- 1 Alat dan Bahan	45
Tabel 5- 1 Daya dan Arus pada setiap Target Resistansi.....	73
Tabel 5- 2 Uji Coba Koil pada Tegangan AC 200V	75
Tabel 5- 3 Rotasi Nema 17 dan Panjang untuk Target Resistansi	78
Tabel 5- 4 Parameter Pengujian Alat	81
Tabel 5- 5 Hasil Pengukuran Dengan Multimeter	82
Tabel 5- 6 Rata-rata Target Resistansi	85
Tabel 5- 7 Standar Deviasi Resistansi.....	86
Tabel 5- 8 Persentase Error Resistansi.....	87
Tabel 5- 9 Pengukuran Panjang Koil setiap Resistansi.....	88
Tabel 5- 10 Rata-rata Panjang Koil Resistansi	91

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Koil resistansi listrik merupakan komponen utama yang digunakan sebagai elemen pemanas pada berbagai peralatan listrik, baik untuk kebutuhan laboratorium, industri kecil, maupun aplikasi teknik lainnya. Kinerja elemen pemanas sangat ditentukan oleh nilai resistansi listrik dari koil, karena nilai resistansi tersebut berhubungan langsung dengan arus yang mengalir dan daya panas yang dihasilkan berdasarkan Hukum Ohm dan persamaan daya listrik.

Di pasaran, koil resistansi umumnya tersedia dalam bentuk jadi dengan spesifikasi tertentu. Namun, produk jadi tersebut memiliki biaya yang relatif tinggi karena telah melalui proses fabrikasi dengan dimensi, panjang kawat, dan nilai resistansi yang disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi. Di sisi lain, bahan dasar pembuat koil berupa kawat nikelin tersedia secara komersial dengan harga yang jauh lebih ekonomis dan memiliki karakteristik listrik yang stabil serta tahan terhadap temperatur tinggi dengan titik leleh di 1200°C . Kondisi ini menunjukkan bahwa nilai tambah utama dari koil resistansi terletak pada proses pembentukan dan pengaturan parameternya, bukan pada material dasarnya.

Secara teoritis, nilai resistansi suatu kawat ditentukan oleh sifat material dan dimensi geometrinya. Pada penggunaan kawat nikelin dengan diameter tertentu, nilai resistivitas dan luas penampang bersifat konstan, sehingga parameter yang paling berpengaruh dalam menentukan resistansi adalah panjang kawat yang digunakan. Dengan demikian, pengaturan resistansi koil secara praktis dilakukan dengan mengendalikan panjang kawat yang dililitkan, yang secara mekanis direpresentasikan oleh jumlah lilitan pada *lead screw*.

Agar diperoleh nilai resistansi yang sesuai dengan target perancangan, diperlukan suatu sistem yang mampu mengontrol proses penggulangan secara terukur dan berulang. Ketelitian jumlah lilitan menjadi faktor penting karena setiap lilitan memberikan kontribusi penambahan panjang kawat yang akan menentukan nilai resistansi akhir koil. Oleh sebab itu, diperlukan suatu alat

yang mampu mengatur proses penggulungan secara presisi sehingga target resistansi yang direncanakan dapat dicapai secara konsisten.

Berdasarkan kebutuhan tersebut, dirancang sebuah alat *Wire Coiller* nikelin otomatis dengan mikrokontroler sebagai sistem kendali *Open Loop*. Sistem ini memanfaatkan pengaturan jumlah putaran penggerak untuk menentukan panjang kawat yang dililitkan, sehingga nilai resistansi koil dapat dirancang sesuai kebutuhan tanpa memerlukan sistem umpan balik yang kompleks. Dengan adanya alat ini, diharapkan proses pembuatan koil resistansi menjadi lebih terencana, terukur, dan sesuai dengan parameter kelistrikan yang diinginkan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membangun alat *Wire Coiller* nikelin yang mampu menghasilkan koil resistansi secara otomatis dan terukur?
2. Bagaimana menerapkan mikrokontroler sebagai sistem kendali *Open Loop* pada *motor stepper* untuk mengatur jumlah putaran penggulungan sehingga panjang kawat yang dililitkan sesuai dengan nilai yang direncanakan?
3. Bagaimana menentukan hubungan antara jumlah rotasi dengan nilai resistansi koil dan panjang kawat yang dihasilkan berdasarkan parameter material kawat nikelin?
4. Bagaimana menetapkan target resistansi koil melalui perancangan panjang kawat dan dimensi penggulungan agar sesuai dengan kebutuhan daya listrik yang diinginkan?

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan dalam tugas akhir ini lebih terarah dan tidak menyimpang dari tujuan penelitian, maka ditetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Material yang digunakan sebagai elemen resistansi adalah kawat nikelin dengan diameter 0,3 mm.
2. Metode kendali yang diterapkan adalah mikrokontroler sebagai sistem *Open Loop* tanpa menggunakan sensor umpan balik.

3. Penentuan nilai resistansi koil difokuskan pada pengaturan panjang kawat yang direpresentasikan melalui jumlah lilitan.
4. Penelitian ini tidak membahas temperatur terhadap perubahan resistansi, melainkan difokuskan pada perancangan dan pembuatan koil.
5. Hasil akhir koil resistansi alat ini digunakan khusus untuk tegangan AC 220 volt.
6. Setelah koil sudah terlilit di *lead screw*, proses pengeluaran koil dilakukan secara manual.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam pelaksanaan tugas akhir ini adalah:

1. Merancang dan merealisasikan alat *Wire Coiller* nikelin yang mampu membentuk koil resistansi secara otomatis dengan mikrokontroler Arduino Uno sebagai kontrol utama sistem kendali *Open Loop*.
2. Menemukan hubungan jumlah putaran (rotasi) Nema 17 dengan rumus resistansi berdasarkan karakteristik material kawat nikelin dari nilai resistansi koil, jumlah lilitan hingga panjang kawat.
3. Menghasilkan koil resistansi dengan nilai yang sesuai dengan target perancangan melalui pengaturan parameter penggulangan.
4. Mengevaluasi kinerja alat dalam menghasilkan koil resistansi yang konsisten dan sesuai dengan perhitungan teoritis.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1.5.1 Manfaat Akademis

Memberikan kontribusi sebagai media pembelajaran dan penerapan ilmu Teknik Elektro, khususnya pada bidang sistem kendali, elektromekanik, serta analisis rangkaian resistif melalui implementasi langsung dalam bentuk alat.

1.5.2 Manfaat Teknis

Menghasilkan suatu alat yang mampu menggulung kawat nikelin secara terukur sehingga dapat digunakan untuk membuat koil resistansi dengan nilai yang dapat dirancang sesuai kebutuhan.

1.5.3 Manfaat Pengembangan Teknologi

Menjadi dasar pengembangan sistem pembuatan elemen pemanas listrik yang lebih presisi dan dapat dikembangkan lebih lanjut dengan sistem kendali yang lebih kompleks pada penelitian selanjutnya.

1.5.4 Manfaat Praktis

Memberikan alternatif solusi dalam proses pembuatan koil resistansi sehingga parameter listrik yang diinginkan dapat dicapai melalui pengaturan panjang kawat dan jumlah lilitan secara sistematis.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini disusun untuk memberikan gambaran secara menyeluruh mengenai isi penelitian, yang dibagi ke dalam beberapa bab sebagai berikut:

- **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan laporan tugas akhir.

- **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini membahas teori-teori yang mendukung penelitian, meliputi konsep dasar resistansi listrik, karakteristik kawat nikelin sebagai bahan elemen pemanas, hubungan panjang kawat terhadap nilai resistansi, prinsip kerja motor stepper, serta konsep mikrokontroler sebagai sistem kendali *Open Loop*.

- **BAB III PERANCANGAN ALAT**

Bab ini menjelaskan proses perancangan alat, spesifikasi dan kapasitas sistem, *wiring diagram*, *flowchart* sistem dan perancangan model 3D.

- **BAB IV PEMBUATAN ALAT**

Bab ini menjelaskan proses perancangan alat, meliputi desain mekanik, sistem penggerak, perancangan rangkaian kendali *Open Loop*, serta penentuan parameter yang digunakan untuk mencapai nilai resistansi yang direncanakan.

- **BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS**

Bab ini berisi hasil pengujian alat yang telah dibuat, pengukuran nilai resistansi koil yang dihasilkan, serta analisis kesesuaian antara hasil pengujian dengan perhitungan teoritis.

- **BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini memuat kesimpulan dari hasil perancangan dan pengujian alat serta saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Rancang bangun alat penggulung otomatis merupakan teknologi yang memungkinkan proses pembentukan koil resistansi dilakukan secara presisi berdasarkan parameter yang telah ditentukan melalui sistem kontrol. Untuk menghasilkan koil pemanas (*heater*) yang memiliki nilai hambatan akurat, diperlukan sinkronisasi antara pergerakan mekanis *lead screw* dengan jumlah putaran motor yang konsisten. Teknologi ini bertujuan untuk mengoptimalkan efisiensi produksi elemen pemanas, mengurangi kesalahan manusia dalam penghitungan lilitan, serta memastikan setiap koil memenuhi spesifikasi daya listrik yang direncanakan.

Sistem ini bekerja dengan memanfaatkan mikrokontroler Arduino Uno sebagai pusat kendali yang menggerakkan Nema 17 melalui logika pemrograman. Mekanisme alat ini mengombinasikan lead screw 8mm dengan sebuah jig khusus yang dirancang untuk bergerak secara linier mendekati motor saat proses pelilitan dimulai dan menjahui motor saat proses mengeluarkan koil. Kawat nikelin berdiameter 0,3mm dimasukkan melalui lubang khusus pada jig untuk memastikan posisi kawat masuk dengan rapi ke dalam titik awal pelilitan pada *lead screw*.

Inovasi pada alat ini terletak pada kemudahan operasionalnya, di mana pengguna dapat menentukan target resistansi antara 30 ohm hingga 120 Ohm cukup dengan menekan tombol pada *keypad*. Sistem secara otomatis akan menghitung jumlah lilitan yang diperlukan dan menampilkan status prosesnya melalui LCD 16x2 secara *real-time*. Setelah proses pelilitan selesai, operator akan memotong kawat dan mengeluarkan koil dengan memanfaatkan arah putaran motor yang berlawanan jarum jam. Untuk mengembangkan sistem pembuatan elemen pemanas berbasis kendali digital yang lebih akurat dan efisien, perlu dilakukan pemahaman penelitian-penelitian sebelumnya yang memiliki relevansi dengan mekanika penggulangan dan karakteristik material nikelin ini:

1. Penelitian yang dilakukan oleh Widodo, Hartono, dan Sentana (2023) dalam studinya yang berjudul “Perancangan dan Pembuatan Mesin *Wire Coiller* Komponen *Atomizer* Otomatis” berfokus pada otomasi produksi koil untuk rokok elektrik (vape). Penelitian tersebut menekankan bahwa kerapatan lilitan yang seragam merupakan parameter krusial dalam menjaga stabilitas rasa *e-liquid*. Perbedaan mendasar antara penelitian tersebut dengan penelitian ini terletak pada jenis kawat yang digunakan, spesifikasi nilai resistansi, serta tujuan aplikasi koilnya. Jika penelitian sebelumnya berfokus pada kebutuhan mikroskopis *atomizer*, alat yang dikembangkan dalam tugas akhir ini dirancang untuk aplikasi beban daya yang lebih besar, seperti elemen pemanas pada setrika listrik, pemanas air, *rice cooker*, maupun kompor listrik portabel
2. Penelitian yang dilakukan oleh Januar Abdul Aziz, Farid Baskoro, Miftahur Rohman, dan Lusya Rakhmawati (2025) dalam studinya yang berjudul “Rancang Bangun Alat Penggulung Lilitan Kawat Motor Listrik Dengan Menggunakan Aplikasi Telegram Berbasis *Internet of Things* (IoT)” menitikberatkan pada proses perbaikan motor listrik melalui penggulangan ulang kumparan secara otomatis. Dalam penelitian tersebut, sistem penggerak menggunakan motor DC yang dikendalikan oleh *Driver* L298N dengan *sensor optocoupler* sebagai pemantau pulsa (penghitung lilitan). Sebagai bentuk pengembangan, penelitian ini mengadopsi motor stepper Nema 17 yang diintegrasikan dengan lead screw 8 mm. Penggunaan *motor stepper* memungkinkan kendali posisi dan jumlah lilitan yang jauh lebih presisi dalam sistem *Open Loop*, sehingga meniadakan kebutuhan sensor eksternal seperti *optocoupler* untuk fungsi perhitungan.
3. Penelitian yang dilakukan oleh Ampala Khoryanton, Ermanu Azizul Hakim (2024) dalam studinya yang berjudul “Analisis Perancangan *Coil Heater* Menggunakan Simulasi *SolidWorks Flow*” dalam studinya mengkaji efektivitas elemen pemanas yang bersifat statis. Dalam literatur tersebut, *coil heater* dipasang secara permanen pada saluran masuk udara

dan berfungsi murni sebagai penukar panas (*heat exchanger*) tanpa melibatkan komponen mekanik yang bergerak. Sebaliknya, alat yang dikembangkan ini memiliki karakteristik dinamis dengan mekanisme pergerakan linier yang kompleks. Melalui integrasi *lead screw* dan jig yang bergerak di atas *V-slot aluminium*, sistem ini tidak hanya berfungsi sebagai elemen pemanas, tetapi sebagai mesin manufaktur yang secara aktif membentuk produk melalui kontrol pergerakan mekanik yang presisi.

4. Berdasarkan data dari *Kanthal Heating Alloys Technical Handbook* mengkaji tentang kawat nikelin dengan komposisi 80% nikel dan 20% kromium diklasifikasikan ke dalam seri paduan Nikrothal® 80. Material ini dirancang khusus untuk aplikasi elemen pemanas karena memiliki resistivitas tinggi, ketahanan terhadap oksidasi pada suhu tinggi, serta kemampuan mempertahankan bentuk mekanis (*creep strength*) yang sangat baik dibandingkan jenis logam biasa. kawat Nikrothal® 80 dengan diameter nominal 0,3 mm (setara dengan ukuran 28 AWG) memiliki parameter operasi batas yang sangat rigid terhadap paparan suhu sebesar 1200°C dan batas arus listrik yang aman secara kontinu sebesar 1,4 ampere sampai 2,2 ampere. Dalam pembuatan alat ini, dilakukan uji coba hasil akhir koil dengan tegangan AC 220 volt selama 2 menit dan sehingga dapat diketahui nilai resistansi koil yang dapat bertahan dengan arus dan suhu tertentu.

2.2 Dasar Teori

Sistem penggulungan kawat otomatis merupakan solusi modern dalam bidang manufaktur elemen pemanas yang bertujuan untuk meningkatkan presisi nilai hambatan listrik serta efisiensi produksi koil resistansi. Dalam metode konvensional, pembuatan koil pemanas masih mengandalkan tenaga manusia atau alat manual, yang sering kali menyebabkan ketidakkonsistenan dalam kerapatan lilitan dan jumlah putaran kawat. Kondisi tersebut berakibat pada tidak akuratnya nilai resistansi yang dihasilkan, sehingga daya disipasi panas yang dikeluarkan oleh heater tidak sesuai dengan perencanaan teknis

serta meningkatkan risiko kegagalan produk akibat keterbatasan ketelitian manusia (*human error*).

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, dikembangkanlah alat *Wire Coiller* nikelin otomatis berbasis mikrokontroler Arduino Uno. Sistem kendali pada alat ini menerapkan metode kontrol loop terbuka (*Open Loop control system*), di mana instruksi pulsa keluaran dari mikrokontroler langsung dieksekusi oleh *Driver* untuk menggerakkan aktuator tanpa adanya sensor pembaca posisi sebagai umpan balik (*feedback*). Kendali *Open Loop* ini dipilih karena struktur sistem yang lebih sederhana, ekonomis, serta tetap memiliki keandalan tinggi selama beban torsi mekanis tidak melebihi kapasitas operasional dari motor *stepper* Nema 17.

Akurasi posisi pada alat ini bertumpu pada keberhasilan proses konversi mekanis dari gerak rotasi menjadi gerak translasi (*linier*). Motor *stepper* Nema 17 bergerak dalam inkremen sudut yang diskrit ($1,8^\circ$ per *step*), di mana putaran porosnya diteruskan oleh *Flexible Coupler* untuk memutar lead screw T8 berdiameter 8mm. Interaksi antara ulir lead screw dengan nut yang terpasang pada jig pemandu memaksa komponen tersebut bergerak maju atau mundur secara linier di atas V-Slot *Aluminium Profile*. Melalui mekanisme translasional ini, kawat nikelin dapat diumpankan secara konsisten agar membentuk kerapatan lilitan yang seragam di sepanjang sumbu horizontal.

Untuk menjamin keandalan konversi gerak rotasi ke translasi pada sistem *Open Loop* ini, dilakukan validasi melalui uji repetisibilitas mekanik. Berdasarkan hasil pengujian eksperimental dengan mengambil 10 data sampel untuk setiap kelipatan 20 putaran motor, sistem mekanis ini menunjukkan tingkat kepresisian yang tinggi dengan nilai deviasi rata-rata pergeseran linier sebesar 4 cm. Karakteristik pergeseran yang konsisten ini membuktikan bahwa kombinasi Nema 17 dan lead screw sepanjang 70 cm mampu melakukan konversi jarak secara linear dengan kestabilan yang terjaga, sehingga standarisasi nilai hambatan tinggi pada koil nikelin yang dihasilkan dapat terpenuhi secara optimal.

2.2.1 Penggulungan Kawat Secara Otomatis

Sistem penggulungan kawat otomatis merupakan implementasi teknologi mekatronika yang bertujuan untuk meningkatkan presisi dan efisiensi dalam proses manufaktur komponen induktif maupun elemen pemanas. Sistem ini dirancang untuk menggantikan metode manual yang sering kali menghasilkan lilitan tidak seragam dan memakan waktu lama. Dengan mengintegrasikan kontrol motor yang presisi, sistem ini mampu menghasilkan jumlah lilitan yang akurat serta kerapatan yang konsisten, yang secara langsung memengaruhi nilai resistansi dan performa elektromagnetik dari produk yang dihasilkan.

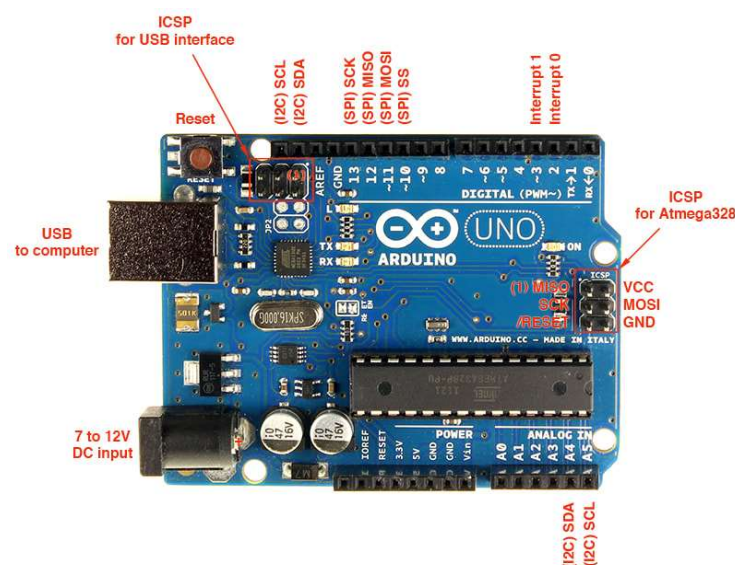
Inti dari mekanisme ini terletak pada sinkronisasi antara motor penggerak utama (spindel) dan sistem distribusi kawat (pemandu linier). Mikrokontroler, seperti Arduino Uno berfungsi sebagai pusat kendali yang memproses algoritma pergerakan berdasarkan parameter yang dimasukkan, seperti diameter kawat dan lebar gulungan. Penggunaan motor stepper sering menjadi pilihan utama karena kemampuannya dalam kontrol posisi open-loop yang akurat, di mana setiap langkah motor berkorelasi langsung dengan jarak pergeseran kawat. Integrasi komponen mekanis seperti lead screw memastikan pergerakan jig pemandu berlangsung secara linear dan stabil di atas rel, seperti profil V-slot.

Komponen utama dalam sistem penggulungan otomatis ini meliputi unit mikrokontroler, *Driver* motor (seperti A4988 atau TB6600), motor stepper Nema 17, serta mekanisme transmisi daya berupa lead screw dan coupling. Selain itu, sistem sering dilengkapi dengan panel antarmuka pengguna (LCD dan keypad) untuk mengatur jumlah lilitan secara fleksibel. Dalam pengembangan yang lebih lanjut, sensor kecepatan atau penghitung pulsa dapat ditambahkan untuk memverifikasi putaran spindel secara real-time, memastikan bahwa hasil akhir sesuai dengan spesifikasi teknis yang direncanakan.

Keunggulan sistem penggulungan otomatis dibandingkan metode konvensional sangat signifikan, terutama dalam hal standarisasi kualitas.

Sistem ini mampu meminimalisir kesalahan manusia (*human error*), seperti tumpang tindih kawat atau ketidaksesuaian jumlah putaran yang dapat merusak karakteristik elektrik koil. Melalui otomasi ini, proses produksi menjadi lebih cepat, terukur, dan memiliki repetibilitas yang tinggi, sehingga sangat efektif untuk diaplikasikan pada pembuatan koil resistansi perangkat pemanas rumah tangga maupun kebutuhan industri lainnya.

2.2.2 Mikrokontroler Arduino Uno



Gambar 2- 1 Arduino Uno

Arduino Uno adalah papan pengembangan mikrokontroler berbasis chip ATmega328P yang berfungsi sebagai unit pemrosesan pusat (Central Processing Unit) dalam sistem kontrol elektronik. Sebagai otak dari perangkat, Arduino Uno bertanggung jawab untuk mengeksekusi instruksi program, mengolah data dari *Input*, dan memberikan perintah kepada komponen *Output*. Papan ini menjadi pilihan utama dalam pengembangan purwarupa alat industri maupun edukasi karena stabilitas arsitekturnya dan kemudahan dalam pengoperasian melalui perangkat lunak Arduino IDE. Dalam aplikasinya pada alat *Wire Coiller* otomatis, mikrokontroler ini berperan vital untuk mengatur sinkronisasi pergerakan motor sesuai dengan algoritma yang telah ditentukan.

Pemilihan Arduino Uno dalam penelitian ini didasarkan pada ketersediaan pin *Input/Output* (I/O) yang mencukupi untuk mengintegrasikan seluruh komponen pendukung sistem secara simultan. Mikrokontroler ini mampu menangani manajemen data yang kompleks, mulai dari menerima *Input* parameter operasional melalui Keypad, mengolah logika pergerakan presisi pada *Driver* Motor Stepper melalui sinyal digital dan PWM, hingga menyajikan informasi status proses secara real-time kepada pengguna melalui layar LCD 16x2. Efisiensi distribusi pin pada Arduino Uno memungkinkan sistem kontrol tetap kompak namun mampu menjalankan fungsi otomasi yang responsif dan akurat.

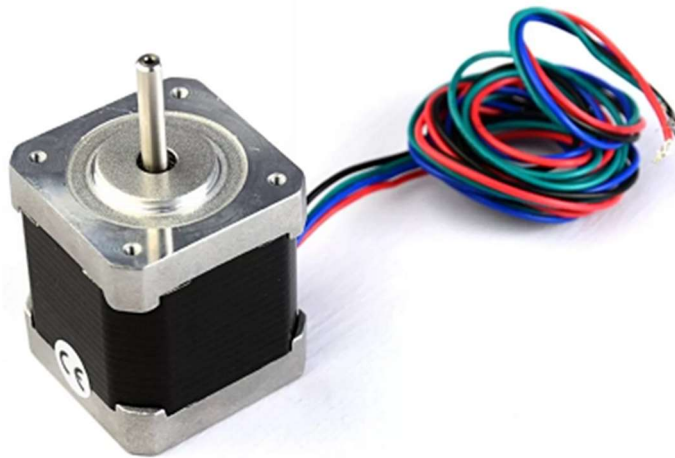
Arduino Uno dilengkapi dengan berbagai pin *Input/Output* (I/O) yang mendukung fleksibilitas desain sistem, dengan spesifikasi fungsi sebagai berikut:

1. Digital *Input/Output*: Memiliki 14 pin digital yang dapat dikonfigurasi untuk membaca sinyal logika (0 atau 1) maupun memberikan tegangan *Output* untuk mengaktifkan komponen seperti *Driver* motor.
2. PWM (Pulse Width Modulation): Terdapat 6 pin digital (ditandai dengan simbol ~) yang mampu menghasilkan sinyal gelombang lebar pulsa untuk mengendalikan perangkat yang membutuhkan variasi daya, seperti kecepatan motor atau posisi servo.
3. ADC (*Analog to Digital Converter*): Tersedia 6 saluran *Input* analog (A0-A5) dengan resolusi 10-bit yang berfungsi mengubah sinyal tegangan analog dari sensor menjadi nilai numerik digital.
4. Komunikasi Serial (UART): Memiliki sepasang pin khusus (RX dan TX) yang memungkinkan pertukaran data secara serial antara mikrokontroler dengan perangkat lain seperti komputer atau modul tambahan.
5. Protokol I2C dan SPI: Mendukung antarmuka komunikasi data bus untuk menghubungkan berbagai modul eksternal secara efisien, seperti layar LCD yang menggunakan modul I2C untuk menghemat penggunaan pin digital.

Tabel 2- 1 Spesifikasi *Arduino Uno*

Kategori	Spesifikasi
Mikrokontroler	ATmega328P (8-bit)
CPU	AVR 8-bit
Kecepatan Clock	16 MHz
Memori RAM	2 KB (SRAM)
Memori ROM	32 KB (Flash Memory) + 1 KB (EEPROM)
Konektivitas	UART, SPI, I2C (Wire)
GPIO	14 Pin Digital (6 mendukung PWM)
Tegangan Operasi	5 V
Arus Maksimum per Pin	20 mA (rekomendasi) / 40 mA (limit)
ADC (<i>Analog-to-Digital Converter</i>)	Memiliki 6 saluran <i>Input</i> analog (A0-A5) dengan resolusi 10-bit
PWM (<i>Pulse Width Modulation</i>)	Tersedia pada 6 pin digital (3, 5, 6, 9, 10, dan 11) untuk kontrol aktuator analog.
SPI (<i>Serial Peripheral Interface</i>):	Mendukung komunikasi sinkron melalui pin 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), dan 13 (SCK)
I2C (<i>Inter-Integrated Circuit</i>):	Mendukung komunikasi dua kabel melalui pin SDA dan SCL.
UART (<i>Universal Asynchronous Receiver-Transmitter</i>)	Tersedia satu jalur komunikasi serial melalui pin 0 (RX) dan 1 (TX).

2.2.3 Motor Stepper (Nema 17)



Gambar 2- 2 Nema 17

Motor stepper Nema 17 merupakan jenis motor sinkron brushless yang berfungsi mengubah energi pulsa listrik menjadi pergerakan mekanis diskrit yang disebut sebagai langkah (step). Berbeda dengan motor DC konvensional yang berputar secara kontinu, Nema 17 bergerak dalam inkremen sudut yang tetap, sehingga memungkinkan kontrol posisi dan kecepatan yang sangat akurat tanpa memerlukan sistem umpan balik (feedback loop) seperti sensor encoder.

Pemilihan Nema 17 dalam rancang bangun ini didasarkan pada kemampuannya untuk melakukan konversi gerak dari rotasi menjadi translasi secara presisi. Melalui poros motor yang dihubungkan ke mekanisme lead screw, setiap putaran sudut motor diterjemahkan menjadi pergeseran linier pada jig pemandu kawat. Hal ini sangat krusial dalam mesin *Wire Coiller* otomatis, di mana Nema 17 bertindak sebagai aktuator utama yang memastikan setiap lilitan kawat diletakkan pada posisi yang tepat sesuai diameter kawat nikelin yang digunakan. Kemampuan motor ini untuk berputar secara instan dan menahan posisi melalui holding torque (torsi penahan) sangat krusial untuk menjaga ketegangan kawat agar tidak kendur, sehingga menghasilkan koil dengan kerapatan seragam dan nilai resistansi yang akurat.

Dalam operasionalnya, Nema 17 tidak dihubungkan langsung ke mikrokontroler karena membutuhkan arus yang besar. Cara pemakaiannya melibatkan penggunaan *Driver* motor (A4988) sebagai perantara. *Driver* tersebut menerima sinyal step dan direction dari Arduino Uno untuk mengatur kecepatan serta arah putaran motor. Selain itu, motor ini dipasangkan dengan *Flexible Coupler* untuk menyambungkan poros motor ke lead screw, guna meredam getaran dan kompensasi ketidaksejajaran mekanis, sehingga pergerakan translasi jig berlangsung halus dan stabil.

Tabel 2- 2 Spesifikasi Nema 17

Step Angle	1,8° per step
Arus (Current per Phase)	antara 1,0 A hingga 2,0 A.
Tegangan (Rated Voltage)	12V - 24V
Tahanan (Resistance)	Sekitar 1,0 hingga 3,0 Ohm per fase
Holding Torque	3,2 kg-cm hingga 5,5 kg-cm (0,32 Nm - 0,55 Nm)

2.2.4 Lead Screw 8mm



Gambar 2- 3 Lead Screw

Lead screw atau sekrup penggerak adalah komponen transmisi daya mekanis yang berfungsi untuk mengubah gerak rotasi dari motor stepper menjadi gerak linier (translasional). Dalam rancang bangun mesin *Wire*

Coiller otomatis ini, lead screw bertindak sebagai poros penggerak utama bagi mekanisme jig pemandu kawat. Pemilihan diameter 8mm didasarkan pada keseimbangan antara kekuatan mekanis dalam menahan beban dan kepresisian pergeseran yang dibutuhkan. Komponen ini dipilih dengan panjang 70 cm guna memberikan jangkauan area kerja yang luas, sehingga memungkinkan mesin untuk memproduksi koil nikelin dengan dimensi panjang yang bervariasi sesuai kebutuhan.

Prinsip kerja lead screw ini bergantung pada interaksi antara ulir baut dengan nut (mur) yang terpasang pada jig. Ketika motor stepper Nema 17 berputar, lead screw akan ikut berputar dan memaksa nut bergerak maju atau mundur sepanjang sumbu linier. Dalam sistem ini, lead screw berfungsi sebagai mitra mekanis bagi Nema 17 untuk memastikan konversi energi dari rotasi menjadi translasi berjalan secara konsisten dan sinkron. Keunggulan utama dari penggunaan lead screw dibandingkan sistem sabuk (belt) adalah kemampuannya untuk menahan posisi secara mekanis dan memberikan torsi yang lebih besar pada kecepatan rendah, yang sangat penting untuk memastikan kawat nikelin tergulung dengan kerapatan yang konsisten di setiap lapisan koil.

Tabel 2- 3 Spesifikasi Lead Screw

Material	Stainless Steel (Screw) & Brass/Tembaga (Nut)
Diameter Luar	8 mm
Pitch (Jarak Ulir)	2 mm
Lead (Jarak per Putaran)	8 mm (untuk tipe <i>4-start</i>)
Konektivitas	Dihubungkan ke Motor via Coupler Flexible (5mm ke 8mm)