

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semakin berkembang jaman, teknologi yang digunakan oleh masyarakat juga berkembang dari waktu ke waktu. Alat teknologi yang digunakan tersebut terbuat dari berbagai macam- macam komponen di dalamnya. Salah satu komponen yang paling banyak digunakan adalah transformator (trafo) [1]. Trafo yang tersedia di pasaran menggunakan bermacam ukuran koker dari yang kecil hingga besar. Koker juga bisa disebut sebagai rumah atau wadah untuk tempat meletakkan gulungan lilitan kawat tembaga. Penggunaan besar kecilnya koker disesuaikan dengan kapasitas arus listrik, voltase dan ketebalan kawat yang akan digunakan. Pembuatan trafo memerlukan ketelitian yang tinggi, karena trafo merupakan salah satu komponen terpenting dalam dunia elektronika. Upaya pembuatan transformator biasanya menggunakan perangkat belitan kawat tembaga yang diputar secara manual dengan tangan, dimana hasil penggulangannya tidak selalu rapi dengan putaran gulungan dan pengontrolannya tidak melepas pandangan dari alat penggulang [1].

Untuk mempermudah dan meningkatkan efisiensi dalam pembuatan transformator, maka dirancanglah mesin penggulang lilitan kawat transformator otomatis berbasis Arduino Atmega. Mesin ini dirancang untuk menggulang kawat transformator pada koker secara otomatis tanpa harus dilakukan secara manual oleh tenaga kerja manusia. Mesin ini dilengkapi dengan motor DC gear box, dan sistem kontrol arah putaran untuk memudahkan dan mengoptimalkan penggulangan kawat transformator. Sensor optocoupler dipasang pada mesin untuk mengukur putaran dan posisi penggulang untuk memastikan ketepatan jumlah lilitan yang dihasilkan.

Selain itu, dengan menggunakan Arduino Atmega 328 sebagai dasar kendali mesin, mesin ini dapat dikendalikan dengan lebih presisi dan akurat. Arduino Atmega 328 adalah sebuah mikrokontroler yang memungkinkan pengguna untuk mengendalikan perangkat elektronik dengan program yang dibuat menggunakan bahasa pemrograman C/C++. Dengan menggunakan Arduino Atmega 328, mesin ini dapat dikendalikan dengan lebih presisi dan akurat, sehingga dapat memastikan kualitas lilitan kawat yang dihasilkan. Maka penulis memutuskan untuk menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“RANCANG BANGUN MESIN PENGGULUNG LILITAN KAWAT TRANSFORMATOR OTOMATIS BERBASIS ARDUINO ATMEGA”**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara merancang mesin penggulung lilitan kawat transformator otomatis berbasis Arduino ATmega ?
2. Apa saja komponen yang diperlukan untuk membuat mesin penggulung lilitan kawat transformator otomatis berbasis Arduino ATmega ?
3. Bagaimana sistem kontrol mesin penggulung lilitan kawat transformator otomatis berbasis Arduino ATmega bekerja ?
4. bagaimana hasil pengujian pada fungsi keypad, hasil tegangan pada blok rangkaian catudaya, konversi jumlah lilitan ke putaran motor, dan pengujian keakuratan jumlah lilitan tiap tegangan pada alat penggulung lilitan trafo secara otomatis yang telah dibuat ?

1.3 Tujuan

Dari rumusan masalah diatas, maka tujuan pada tugas akhir ini adalah :

1. Merancang dan membangun mesin penggulung lilitan kawat transformator otomatis yang dapat mempermudah proses pembuatan koker transformator.

2. Mengurangi kesalahan dalam proses dan memperoleh hasil gulungan yang akurat untuk meningkatkan kualitas koker transformator.
3. Dengan adanya otomatisasi, mesin penggulung lilitan kawat dapat bekerja dengan kecepatan yang konsisten dan efisien. Ini akan meningkatkan produktivitas dan mengurangi kesalahan yang mungkin terjadi selama proses manual.

1.4 Batasan Masalah

Pada penulisan tugas akhir, pembahasan masalah dibatasi pada :

1. Komponen yang digunakan Arduino ATmega328p, motor DC *gearbox*, motor stepper nema 23, serta driver motor DRV8825, IC PWM *Controller* NE 555, keypad 4x4, LCD 16x2, sensor *optocoupler*, *Op-Amp 741* dan mosfet IRFZ44N.
2. Tempat kawat email dan koker yang digunakan yaitu dengan dimensi koker 32x45 mm .
3. Menggunakan kawat email size 0,6 mm.

1.5 Manfaat Tugas Akhir

Manfaat bagi pengguna rancang bangun mesin penggulung lilitan kawat transformator otomatis berbasis arduino atmega ini:

1. Bagi Penulis
 - a. Untuk menerapkan ilmu dan teori yang diperoleh selama perkuliahan.
 - b. Agar lebih mengerti tentang sistem kontrol pada proses penggulangan lilitan kawat transformator dengan kecerdasan Arduino ATmega 328p.
2. Bagi Pembaca

Dapat menjadi referensi bacaan dan informasi khususnya bagi para mahasiswa Teknologi Rekayasa Otomasi yang sedang menyusun tugas akhir dengan pokok permasalahan yang sama.

1.6 Sistematika Tugas Akhir

Untuk mewujudkan penulisan yang tertata dengan baik diperlukan sebuah sistematika penulisan, dan berikut ini adalah sistematika dalam penelitian ini.

BAB 1 PENDAHULUAN

Berisikan latar belakang penelitian, tujuan dan manfaat dari penelitian yang dibuat, batasan masalah, tempat dan waktu pelaksanaan, dan sistematika penulisan laporan.

BAB 2 DASAR TEORI

Berisikan deskripsi dari metode, spesifikasi perangkat alat yang digunakan, dan penjelasan terhadap penelitian-penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan tema penelitian ini.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Berisi tentang diagram blok dan flowchart dari penelitian ini agar lebih mudah dipahami.

BAB 4 PENGUJIAN DAN ANALISA

Berisikan metode pengujian dan hasil pengujian yang telah dilakukan untuk mendapatkan kesimpulan dari penelitian ini.

BAB 5 PENUTUP

Berisikan kesimpulan dari hasil penelitian dan saran untuk pengembangan sistem lebih lanjut.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Teori Dasar Traformator

Transformator adalah alat listrik yang sangat penting karena dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian lainnya tanpa merubah frekuensi sistem. Hal ini dicapai melalui penggunaan gandengan magnet dan prinsip induksi elektromagnetik. Trafo memiliki aplikasi yang luas dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga memungkinkan untuk memilih tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk setiap keperluan, seperti kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh.

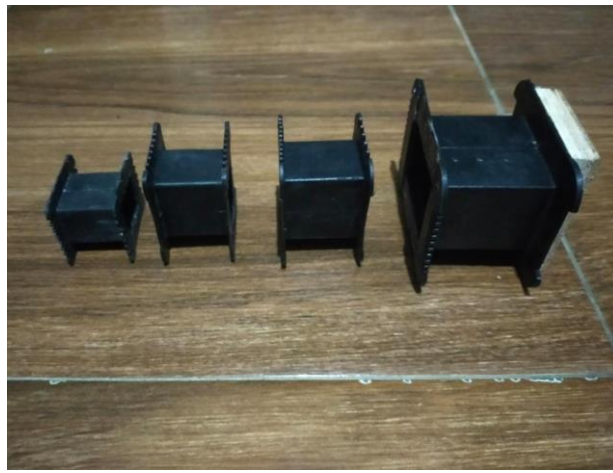
Dalam bidang tenaga listrik, transformator digunakan dalam beberapa kategori, yaitu:

- a. Transformator daya: Trafo ini umumnya digunakan untuk menaikkan tegangan yang dihasilkan oleh pembangkit menjadi tegangan transmisi yang lebih tinggi.
- b. Transformator distribusi: Fungsinya adalah menurunkan tegangan transmisi yang tinggi menjadi tegangan distribusi yang lebih rendah, sesuai dengan kebutuhan di area pemakaian.
- c. Transformator instrument: Jenis ini digunakan untuk pengukuran dan terdiri dari transformator arus (current transformer-CT) dan transformator tegangan (potential transformer-PT).

Setiap jenis transformator memiliki perencanaan dan pembuatan yang khusus sesuai dengan penggunaannya. Namun, semua jenis transformator memiliki prinsip dasar yang sama dalam operasinya

2.1.1 Lilitan Kawat Transformator

Lilitan Transformator atau trafo adalah suatu komponen elektronik yang berfungsi untuk mentransformasikan atau mengubah tegangan listrik AC (arus bolak-balik) dari suatu level ke level yang lain. Transformator terdiri dari dua atau lebih lilitan kawat tembaga yang terisolasi satu sama lain dan diletakkan di dalam sebuah koker atau wadah [2].

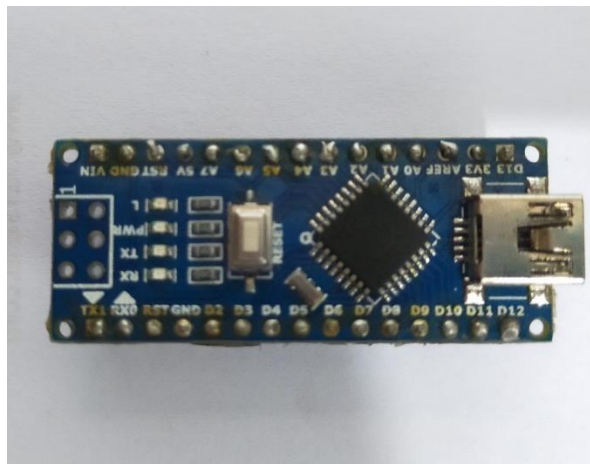


Gambar 2. 1 Koker Transformator

Ukuran koker transformator biasanya ditentukan oleh kapasitas daya atau daya yang dihasilkan oleh trafo tersebut. Semakin besar daya yang dihasilkan, maka semakin besar pula ukuran koker yang dibutuhkan. Selain itu, kebutuhan untuk pendinginan dan pengamanan juga menjadi pertimbangan dalam menentukan ukuran koker. Transformator dengan koker kecil umumnya digunakan pada perangkat elektronik seperti charger ponsel, speaker, atau amplifier dengan daya kecil. Sedangkan transformator dengan koker besar umumnya digunakan pada perangkat listrik seperti trafo distribusi yang digunakan di gardu listrik, atau pada mesin-mesin industri yang membutuhkan daya besar. Selain ukuran koker, jenis kawat yang digunakan dan jumlah lilitan kawat tembaga di dalam transformator juga berpengaruh terhadap kinerja dan daya yang dihasilkan oleh trafo tersebut. Oleh karena itu, pemilihan komponen trafo yang tepat sangat penting untuk memastikan kinerja dan keamanan perangkat elektronik atau listrik yang menggunakan trafo tersebut [3].

2.1.2 Arduino Nano ATmega

Arduino adalah papan sirkuit elektronik open-source dengan satu komponen utama, chip mikrokontroler tipe AVR. Mikrokontroler adalah chip atau IC (*integrated circuit*) yang dapat diprogram[4]. Tujuan pemberian program pada mikrokontroler adalah agar rangkaian elektronik dapat membaca input, memprosesnya, dan kemudian menghasilkan output yang diinginkan. Mikrokontroler bertindak sebagai "otak" yang mengontrol input, proses, dan output dari rangkaian elektronik. Saat ini, Arduino sangat populer di seluruh dunia. Bahasa yang digunakan di Arduino bukanlah bahasa ran yang relatif sulit, tetapi bahasa C yang umumnya lebih mudah dipahami. Dengan mikrokontroler lain, beberapa masih memerlukan rangkaian beban terpisah untuk memuat program ke dalam mikrokontroler.



Gambar 2. 2 Arduino Nano ATmega328

Selain itu modul Arduino pada Gambar 2.2 sudah memiliki charger berupa USB sehingga memudahkan untuk memprogram mikrokontroler pada Arduino. Selain fungsi port USB sebagai perangkat pengisi daya selama pemrograman, juga dapat berfungsi sebagai port komunikasi serial. Arduino mendeteksi lingkungan menggunakan berbagai jenis sensor dan dapat mengontrol lampu, motor, dan berbagai aktuator lainnya [5].

Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino Nano[6]

Spesifikasi	Keterangan
Microcontroller	Atmega328p
Struktur	AVR
Tegangan Operasional	5 V
Memori Flash	32 KB(Atmega328p) Of Which 2 Kb Used by. Bootloader
RAM	2 KB
Kecepatan Jam	16 Mhz
Analog IN Pins	8
EEPROM	1 KB
Arus DC per Pin I/O	40 mA (I/O Pins)
Tegangan Input	7-12 V
Digital I/O Pins	22 (6 of which are PWM)
Keluaran PWM	6
Konsumsi Daya	19 mA
Ukuran PCB	18 x 45 mm
Berat	7 kg
Kode Produk	A000005

Arduino Nano memiliki 14 pin digital input/output, yang masing-masing dapat berfungsi sebagai input atau output. Pin digital pada Arduino Nano diberi label sebagai D0 hingga D13. Selain itu, terdapat juga pin digital khusus, yaitu pin RX dan TX yang digunakan untuk komunikasi serial. Pin digital pada Arduino Nano juga dapat digunakan sebagai pin PWM (*Pulse Width Modulation*) untuk menghasilkan sinyal analog, kecuali pin D0 dan D1 yang juga berfungsi sebagai pin komunikasi serial. Platform Arduino juga memiliki perangkat lunak tersendiri berbentuk *integrated Development Environment* (IDE) yang dapat digunakan untuk menulis program, melakukan kompilasi, serta menggugah program ke perangkat keras Arduino. Arduino IDE dibuat menggunakan Java, sehingga kompatibel

dengan berbagai sistem operasi seperti Window, Mac OS, maupun Linux. Penulisan program dalam arduino IDE menggunakan bahasa pemrograman C++ yang lebih dimudahkan adanya berbagai macam *library* yang dapat digunakan untuk berbagai macam perangkat I/O untuk Arduino. Arduino IDE terdiri dari editor program yang digunakan untuk mengedit dan menulis program dalam bahasa C++ kemudian terdapat *Compiler* yang merupakan sebuah modul untuk mengubah bahasa pemrograman C++ menjadi kode biner. Serta terdapat *uploader* yang digunakan untuk mengunggah kode biner ke dalam memori mikrokontroler pada papan arduino.

2.1.3 Liquid Cristal Display (LCD)

LCD (*Liquid Cristal Display*) adalah salah satu jenis display elektronik yang dibuat dengan teknologi CMOS logic yang bekerja dengan tidak menghasilkan cahaya tetapi memantulkan cahaya yang ada di sekelilingnya terhadap front-lit atau mentransmisikan cahaya dari *back-light*. Pengendali LCD (*Liquid Cristal Display*) dalam modul LCD pada umumnya adalah mikrokontroler yang akan mengendalikan tampilan karakter pada LCD [7].



Gambar 2. 3 Liquid Cristal Display (LCD) 16X2

Berikut adalah beberapa pin, kaki, atau jalur input dan kontrol yang umumnya terdapat pada modul LCD (*Liquid Cristal Display*):

Tabel 2.2 Deskripsi Pin LCD 16x2 [8]

No	Pin	Fungsi
1	VSS	Pin ground LCD
2	VDD	Pin tegangan suplai LCD
3	V0	Menyesuaikan kontras LCD
4	RS	Beralih antara Register Perintah/Data
5	R/W	Mengalihkan LCD antara Operasi Baca/Tulis
6	E	Harus diangkat tinggi-tinggi untuk melakukan Operasi Baca/Tulis
7	DB0 – DB7	Pin yang digunakan untuk mengirim Perintah atau data ke LCD.
15	A/VEE	Pengoperasian seperti LED normal untuk menerangi LCD
16	K	Pengoperasian seperti LED normal untuk menerangi LCD yang terhubung dengan GND.

Pada penelitian ini digunakan LCD 16x2 yang berfungsi untuk memberi informasi kepada pengguna, informasi tersebut berupa menginputkan lilitan dan hasil lilitan. LCD diletakkan pada *box framework*, LCD membutuhkan tegangan 5V dan terhubung langsung dengan pin x ESP32.

Tabel 2.3 Spesifikasi LCD 16x2 [8]

No	Spesifikasi	Keterangan
1	<i>Operating voltage</i>	4.7V to 5.3V
2	<i>The number of columns</i>	16
3	<i>The number of rows</i>	2
4	<i>Number of LCD pins</i>	16
5	<i>Characters</i>	32
6	<i>The pixel box of each character</i>	5×8 pixel
7	<i>Font size</i>	0.125Width x 0.200height

2.1.4 Keypad 4x3

Modul keyboard 4x3 adalah modul keyboard 4 kolom x 3 baris seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Modul ini dapat berfungsi sebagai input untuk jumlah lilitan kawat email. Keyboard digunakan untuk membuat empat kolom sebagai output pemindaian dan tiga baris sebagai input pemindaian [9].



Gambar 2. 4 Keypad 3x4

Tabel 2.4 Spesifikasi Keypad 3x4 [10]

Spesifikasi	Keterangan
<i>Connector</i>	7 pin header female 2.54mm pitch
<i>Max. Circuit Rating</i>	35V DC, 100mA
<i>Pad Size</i>	69,2 x 76,9 x 0,8 mm
<i>Cable Length</i>	86 mm (<i>include connector</i>)
<i>Insulation Spec</i>	100M Ohm, 100V
<i>Dielectric Withstand</i>	250VRms (60Hz, 1min)
<i>Contact Bounce</i>	<=5ms
<i>Life Expectancy</i>	1 million closures
<i>Operation Temperature</i>	-20 to +40 C

2.1.5 Motor DC Gearbox

Motor DC merupakan motor yang menggunakan arus searah (*Direct Current*) untuk mengubah energi listrik menjadi energi mekanik melalui prinsip elektromagnetik [11]. Motor DC berputar terus menerus selama disuplai dengan tegangan DC, dan arah putarannya dapat diatur dengan memberikan polaritas arus. Motor DC menghasilkan putaran per menit atau biasa disebut dengan *Revolution per minute* (RPM)[12]. *Gearbox* biasanya terdiri dari beberapa roda gigi atau roda gigi yang saling berhubungan yang dapat digunakan untuk mempercepat atau memperlambat putaran motor atau mesin, memungkinkan pengguna untuk mengatur kecepatan atau torsi keluaran [13].



Gambar 2. 5 Motor Dc Gearbox

Motor DC umumnya terdiri dari 4 bagian utama yaitu magnet, kumparan komutator dan sikat. Saat dihubungkan ke sumber tegangan, arus akan mengalir melalui sikat dan komutator ke kumparan motor. Kumparan yang diposisikan secara vertikal di tengah medan magnet tetap menciptakan gaya yang menggerakkan kumparan [14].

Pada studi tugas akhir ini menggunakan motor DC reduksi kecepatan menggunakan *gearbox*. *Gearbox* merupakan bagian dari sistem transmisi yang digunakan untuk mengubah atau memindahkan tenaga dari suatu mesin atau motor [15]. *Gearbox* pada sistem transmisi ini berfungsi untuk mengatur kecepatan gerak serta torsi dari sebuah motor. Besaran kecepatan dan torsi yang dihasilkan ditentukan oleh rasio gir dari *gearbox*. Rasio gir merupakan perbandingan jumlah mata gigi antara 2 gir atau lebih [16] . Pada motor DC ini menggunakan rasio gir 1:15 yang akan mereduksi kecepatan namun menaikkan torsi yang dihasilkan oleh motor DC. Adapun spesifikasi motor DC *gearbox* secara singkat dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 2.5 Spesifikasi Motor Dc *Gearbox* [17]

Spesifikasi	Keterangan
Built-in	<i>gearbox</i>
Tegangan Operasional	DC 12V-24V
Arus	4A
Kecepatan	500 rpm
Torsi	100 kg.cm
Dimensi body	panjang 12,5 cm x diameter 5 cm
Dimensi shaft	panjang 1,5 cm x diameter 1,5 cm
Berat	930 gram

Untuk menghitung torsi (torque) yang dibutuhkan oleh motor DC gearbox dalam menggulung lilitan kawat, perlu memahami beberapa faktor yang terlibat dalam proses tersebut. Berikut adalah rumus persamaan umum untuk menghitung torsi motor DC gearbox:

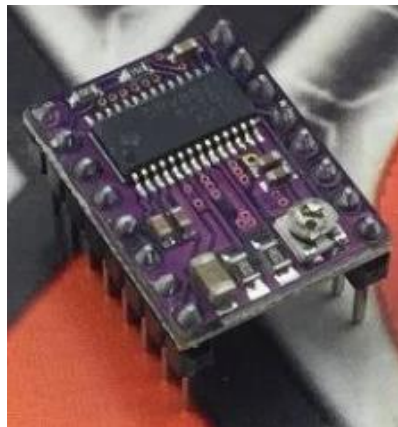
$$T = \frac{F \times r}{\eta} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

- T adalah torsi yang dihasilkan oleh motor DC gearbox, diukur dalam Newton-meter (Nm).
- *F* adalah gaya yang diperlukan untuk menggulung kawat, diukur dalam Newton (N).
- *r* adalah jari-jari drum atau pemandu kawat, diukur dalam meter (m).
- η adalah efisiensi gearbox. Efisiensi ini menghitung seberapa efisien gearbox dalam mengalihkan daya dari motor ke drum atau pemandu kawat. Efisiensi biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase.

2.1.6 Driver DRV8825

IC *driver* motor stepper jenis DRV8825 yang direka oleh *Texas Instruments* (TI) telah digunakan. Driver jenis ini ialah jenis driver untuk motor stepper bipolar. Fitur yang istimewa dari IC driver ini adalah motor stepper dapat dikendalikan hanya dengan dua sinyal yang dapat diproses pada IC driver yaitu sinyal STEP dan sinyal arah. Pin *DIRECTION* mengontrol arah putaran motor stepper, searah jarum jam atau berlawanan arah jarum jam. Kemudian, ketika gelombang pulsa (bentuk gelombang persegi) diterapkan ke pin *STEP*, motor stepper berputar satu langkah ke arah yang ditentukan.



Gambar 2. 6 Driver DRV8825

DRV8825 ini memiliki dua *H-Bridge* driver yang memungkinkan kontrol independen terhadap dua kumparan motor langkah-langkah bipolar. Dengan *H-Bridge* driver ini dapat mengendalikan arah putaran motor serta mengatur kecepatan dan percepatannya. DRV8825 juga dilengkapi dengan indexer mikrostepping. Ini memungkinkan gerakan motor dengan langkah yang lebih kecil daripada langkah penuh, yang menghasilkan gerakan yang lebih halus dan akurat. DRV8825 mendukung mode mikrostepping seperti 1/2, 1/4, 1/8, atau bahkan 1/32 langkah, tergantung pada konfigurasi yang dipilih. DRV8825 dirancang khusus untuk mengendalikan motor stepper bipolar. Motor stepper bipolar memiliki dua kumparan yang memungkinkan kontrol arah putaran dan gerakan yang presisi. DRV8825 mendukung pembatasan arus aktif dan potensiometer pemangkas pada papan dapat digunakan untuk mengatur batas arus, untuk mengatur batas arus

dengan mengukur tegangan pada pin "ref" dan menghitung batas arus yang dihasilkan (resistor pengindera arus adalah $0,100\Omega$). Batas arus dalam ampere berhubungan dengan tegangan referensi dalam volt sebagai berikut:

$$\text{Current Limit} = V_{REF} \cdot 2 \dots\dots\dots (2.2)$$

$$V_{REF} = \frac{\text{Current Limit}}{2} \dots\dots\dots (2.3)$$

Tabel 2.6 Spesifikasi Motor DRV8825 [18]

Spesifikasi	Keterangan
Tegangan Outout Moto	8.2V-45V
Arus Continue Per Phase	1.5A
Maks. Arus Per Phase	2.2A
Min. Tegangan Logic	2.5V
Maks. Tegangan Logic	5.25V
Microstepping	Full Step, 1/2 step, 1/4 step, 1/8 step, dan 1/32 step

Berikut konfigurasi pin yang terdapat pada driver motor DRV8825 :

Tabel 2.7 Pin Konfigurasi DRV8825

Pin	Keterangan
EN, RST, dan SLEEP	Mengontrol status daya
M0, M1, M2	Pemilihan mode <i>microstepping</i>
VMOT dan GND	Suplai daya motor
VDD dan GND	Suplai daya driver
STEP	Mengontrol step motor stepper
DIRECTION	Mengontrol arah putaran motor stepper
A1, A2, B1, dan B2	Keluaran <i>coil</i> motor stepper

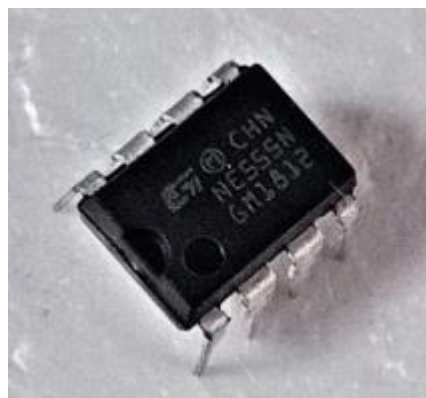
Sedangkan untuk pemilihan mode atau resolusi *microstepping* dapat melalui tabel kebenaran berikut :

Tabel 2.8 Tabel Kebenaran microstepping

M0	M1	M2	Microstep Resolution
Low	Low	Low	Full Step
High	Low	Low	Half Step
Low	High	Low	1/4 Step
High	High	Low	1/8 Step
Low	Low	High	1/16 Step
High	Low	High	1/32 Step
Low	High	High	1/32 Step
High	High	High	1/32 Step

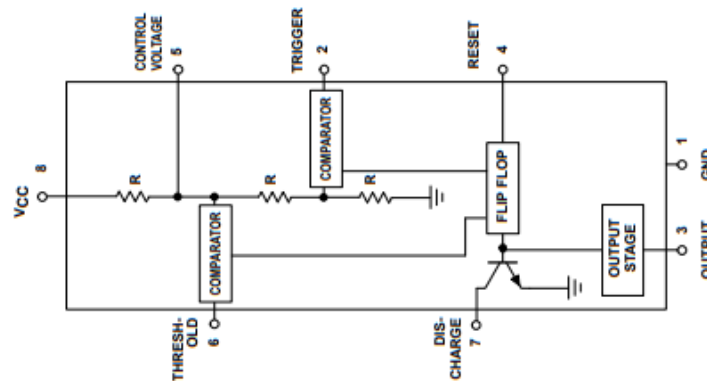
2.1.7 IC PWM Contoller NE 555

IC 555 merupakan sebuah *integrated circuit* (IC) yang dirancang untuk menghasilkan sinyal PWM dengan menggunakan timer 555. IC ini terdiri dari beberapa komponen penting, termasuk resistensi eksternal, kapasitansi, dan potensiometer, yang digunakan untuk mengatur frekuensi dan lebar pulsa sinyal output. Pulse width modulation (PWM) adalah sebuah teknik pengaturan daya yang efisien, di mana sinyal output terdiri dari serangkaian pulsa dengan lebar pulsa yang dapat diatur. Dalam aplikasi yang memerlukan kontrol daya yang akurat, seperti motor DC, lampu LED, dan kipas, penggunaan PWM dapat membantu menghemat daya dan meningkatkan efisiensi [19].



Gambar 2. 7 IC NE 555

Berikut adalah beberapa pin, atau jalur input dan kontrol yang umumnya terdapat pada IC 555:



Gambar 2. 8 Rangkaian IC NE 555

Tabel 2.9 Konfigurasi pin IC NE 555

Pin	Nama	Fungsi
1	GND	Terminal negatif sumber tegangan DC
2	Trigger	pulsa negatif pendek pada pin ini menyulut pewaktuan
4	Output	Selama pewaktuan, keluaran berada pada +VCC
5	Reset	interval pewaktuan dapat disela dengan memberikan pulsa reset 0V
6	Threshold	memungkinkan untuk mengakses pembagi tegangan internal ($2/3 VCC$)
7	Discharge	menentukan akhir pewaktuan (pewaktuan berakhir $V_{thr} < 2/3 VCC$)
8	VCC	disambungkan ke kondensator, dan waktu pembuangan muatan kondensator menentukan interval pewaktuan

Pada penelitian ini digunakan IC 555 yang berfungsi untuk Sinyal PWM yang dihasilkan oleh IC 555 akan diubah menjadi sinyal DC oleh filter RCIC NE555 dirancang sebagai multivibrator yang stabil dengan frekuensi operasi tetap (nilai RC tetap), yang keluarannya diumpankan ke rangkaian driver motor DC MOSFET sederhana. Konsep dasar kontrol PWM dengan rangkaian di atas adalah penambahan dua dioda yang mengontrol pengisian dan pengosongan kapasitor

100nF. Posisi tuas potensiometer 50 K yang terhubung ke dua dioda menentukan waktu pengisian atau pengosongan kapasitor 100 Nf.

Tabel 2.10 Spesifikasi IC NE 555

Spesifikasi	Keterangan
Catu daya	4.5 ~ 15 V
Besaran arus untuk 5 vdc	3 ~ 6 mA
Besaran arus untuk 15 vdc	10 ~ 15 mA
Maksimum output Arus	200 mA
Daya	600 mW
Suhu kerja antara	0 to 70 °C

2.1.8 Sensor Optocoupler

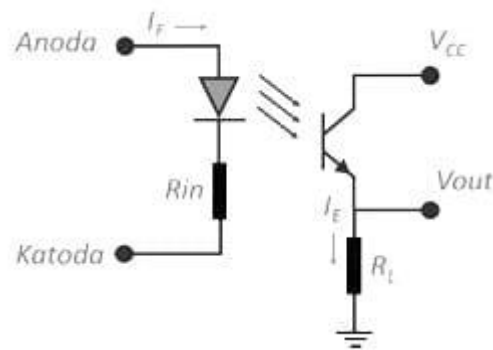
Optocoupler adalah perangkat yang terdiri dari dua bagian, yaitu pemancar dan penerima, dipisahkan antara bagian cahaya dan bagian pendeteksi sumber cahaya. Pemancar adalah bagian yang terhubung ke sirkuit input atau kontrol. Bagian ini memiliki LED infra merah yang mengirimkan sinyal ke penerima. Di sisi lain, penerima adalah bagian yang terhubung ke keluaran atau rangkaian beban dan berisi komponen yang menerima cahaya yang dipancarkan oleh pemancar. Komponen penerima cahaya ini dapat berupa fotodiode [20].



Gambar 2. 9 Sensor Optocoupler

Pada gambar diatas optocoupler PC817 digunakan sebagai transistor sebagai saklar digital. Yang membedakan keduanya adalah antara pemancar sinyal dan penerima sinyal. Pemisah octo terputus saat transistor menyatu. Pada dasarnya, sebuah optocoupler terdiri dari sebuah komponen, seperti LED, yang memancarkan cahaya infra merah saat sumber listrik dihubungkan. Cahaya tersebut kemudian

mengenai phototransistor, sebuah komponen semikonduktor yang merespon cahaya inframerah. Di penerima, ia mendeteksi cahaya inframerah yang berasal dari LED IR. Dan ketika phototransistor terkena cahaya infra merah, itu menciptakan kondisi jenuh yang menghubungkan kaki emitor dan kolektor.



Gambar 2. 10 rangkaian analog sensor optocoupler

Berikut adalah beberapa pin, atau jalur input dan kontrol yang umumnya terdapat pada sensor Optocoupler:

Tabel 2.11 Konfigurasi pin Sensor Optocoupler

Deskripsi	Pin	Keterangan
Anoda	Pin 1	Pin 1 adalah pin anoda input IR dalam <i>Optocoupler</i> . Ini akan memberikan sinyal input logis ke IR internal.
Katoda	Pin 2	Pin 2 adalah pin katoda IR di dalam <i>optocoupler</i> . Ini akan memberikan IR untuk membuat landasan bersama dengan sirkuit dan catu daya.
Collector	Pin 3	Pin 3 adalah pin output dari penerima IR internal optocoupler. Ini akan memberikan output logis dengan menerima sinyal IR.
Emitter	Pin 4	Pin 4 adalah pin ground untuk penerima IR. Pin ini akan digunakan untuk membuat <i>ground</i> bersama dengan catu daya dan sirkuit.

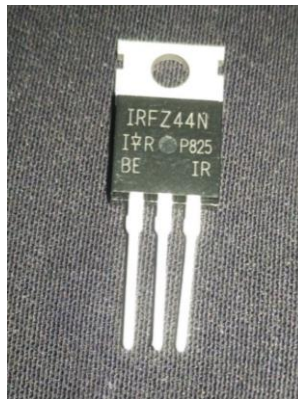
Pada penelitian digunakan Sensor *Optocoupler* yang berfungsi dalam sistem encoder inkremental yang menggunakan roda gigi dengan lubang-lubang kecil sebagai target putaran. Cahaya dari transmitter pada sensor *optocoupler* akan diteruskan melalui lubang-lubang tersebut dan diterima oleh receiver sensor di sisi lain, sehingga dapat digunakan untuk menghitung putaran pada sistem encoder tersebut.

Tabel 2.12 Spesifikasi Sensor Optocoupler

Spesifikasi	Keterangan
Disipasi Daya pada (atau di bawah) Udara Bebas 25°C	75 mW
Tegangan Balik	5 V
Maju Arus	50 mA

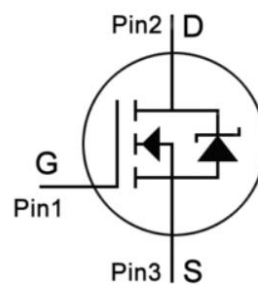
2.1.9 Mosfet IRFZ44N

Mosfet IRFZ44N adalah jenis transistor mosfet (*Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor*) yang sering digunakan dalam rangkaian elektronik. Mosfet IRFZ44N ini memiliki kemampuan untuk mengontrol arus dengan cepat dan efisien pada tegangan yang relatif tinggi. Mosfet IRFZ44N biasanya digunakan dalam aplikasi daya yang membutuhkan arus dan tegangan yang cukup besar, seperti rangkaian sumber daya switching (*switching power supply*), pengendali motor DC, dan inverter. Mosfet IRFZ44N memiliki nilai $V_{gs(th)}$ atau tegangan ambang gate-source ser 2 hingga 4 volt dan mampu menangani arus hingga 49 amper dengan daya hingga 55 watt. Mosfet IRFZ44N juga memiliki tegangan drain-source maksimum ser 55 volt [21].



Gambar 2. 11 Mosfet IRFZ44N

MOSFET IRFZ44N dikenal dengan arus drain yang tinggi dan kecepatan switching yang cepat. Selain itu, ia memiliki nilai R_{ds} yang rendah, yang membantu meningkatkan efisiensi sirkuit. MOSFET dimulai dengan tegangan gerbang kecil 4V, tetapi arus drain akan maksimum hanya ketika tegangan gate 10V.



Gambar 2. 12 Rangkaian Mosfet IRFZ44N

Berikut adalah beberapa pin, atau jalur input dan kontrol yang umumnya terdapat pada Mosfet IRFZ44N:

Tabel 2.13 Pin Mosfet IRFZ44N

Nomor Pin	Nama Pin	Deskripsi
1	Gate	Mengontrol bias MOSFET
2	Drain	Arus mengalir masuk melalui Drain
3	Source	Arus mengalir keluar melalui source/sumber

Pada penelitian ini digunakan Mosfet berfungsi sebagai saklar elektronik untuk mengatur daya yang diberikan ke motor dan mengontrol kecepatan atau putaran motor.

Tabel 2.14 Spesifikasi Mosfet IRFZ44N

Spesifikasi	Keterangan
Daya max	94 W
Tegangan drain- source max	55 V
Tegangan gate – source max	20 V
Tegangan thresold gate max	2 V- 4 V
Arus drain max.	49 A
Suhu kerja max.	170 °C
Kapasitansi gate	62 nC
Resistensi drain – source	0.24 m

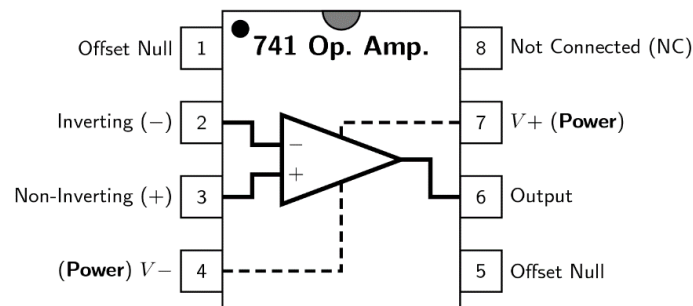
2.1.10 Komparator (Op-Amp 741)

Komparator (Op-Amp 741) adalah salah satu rangkaian keputusan elektronik paling sederhana yang mengeksploitasi gain loop terbuka yang sangat tinggi dari sebuah op-amp. Penelitian ini menggunakan jenis op-amp khusus yang sedikit berbeda dengan op-amp lainnya yang disebut juga sebagai komparator. Komparator membandingkan dua tegangan listrik dan mengubah output untuk menunjukkan tegangan yang lebih tinggi di antara keduanya [22].



Gambar 2. 13 IC Op-Amp 741

IC LM 741 (penguat operasional) adalah IC analog (linear) dimana respon yang dibutuhkan oleh rangkaian sepenuhnya linier sehingga sinyal tidak terdistorsi saat diperkuat. Alat ini juga dapat digunakan dalam banyak aplikasi amplifikasi, pemrosesan sinyal, dan pembangun bentuk gelombang yang berbeda. Penguat operasional pada dasarnya adalah penguat DC loop terbuka dengan bias rendah dan penguatan diferensial yang sangat tinggi. Kapasitor internal memberikan stabilitas dan mencegah osilasi yang menyebabkan penguatan loop terbuka menurun dengan meningkatnya frekuensi.



Gambar 2. 14 Pin IC LM741

Berikut adalah beberapa pin, atau jalur input dan kontrol yang umumnya terdapat pada pin IC LM741 :

Tabel 2.15 Pin IC LM741

Nomor Pin	Nama Pin	Deskripsi
1	<i>Offset Null</i>	Untuk meniadakan tegangan offset amplifier.
2	<i>Inverting Input</i>	Untuk terminal input pembalik amplifier.
3	<i>Non-Inverting</i>	Untuk terminal input non-inverting amplifier.
4	V-	Tegangan catu daya negatif
5	<i>Offset Null</i>	Untuk meniadakan tegangan offset amplifier. Pin ini terhubung ke pin 1.
6	Output	Sinyal output yang diperkuat
7	V+	Tegangan catu daya positif
8	NC	Pin ini tidak digunakan untuk apa pun dan harus dibiarkan terbuka

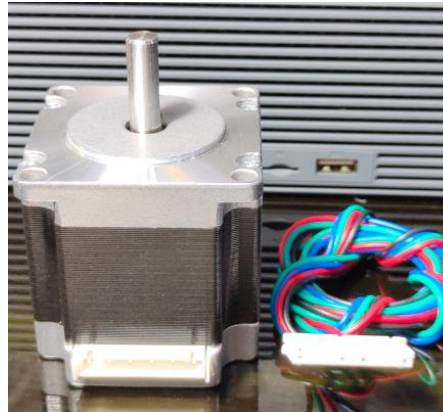
Pada penelitian ini digunakan LM741 Komparator digunakan bersama dengan sensor optocoupler untuk memperkuat dan mengolah sinyal yang diterima oleh sensor tersebut. Komparator akan membandingkan sinyal listrik dari receiver sensor optocoupler dengan sebuah referensi tegangan yang ditentukan.

Tabel 2.16 Spesifikasi Komparator

Spesifikasi	Keterangan
Tegangan Suplai	± 22 V
Tegangan Input Diferensial	± 30 V
Tegangan Masukan	± 15 V
Disipasi Daya	500 mV
Kisaran Suhu Penyimpanan	-65 to + 150 °C

2.1.11 Motor Stepper NEMA-23

Motor stepper merupakan jenis motor listrik yang dapat dikendalikan dengan pulsa-pulsa digital dan digunakan dalam berbagai aplikasi yang membutuhkan presisi dan akurasi tinggi. Untuk menggerakkan motor stepper, diperlukan pengendali motor stepper yang menghasilkan pulsa periodik yang dibutuhkan oleh motor stepper [23]. Selain itu, perhitungan jumlah pulsa sebanding dengan jumlah putaran yang dibutuhkan secara otomatis tanpa memerlukan umpan balik (*feedback*) dari motor stepper ke perangkat kontrol. Ketepatan gerak motor stepper juga dipengaruhi oleh jumlah *step* tiap putaran atau *full step angle*. Semakin banyak jumlah *step* dalam satu putaran berarti semakin kecil *full step angle*, maka semakin tepat pula gerakan yang dihasilkan. Selain dari spesifikasi tiap motor stepper, ketetapan gerak motor *stepper* juga dapat diatur melalui driver motor *stepper* yang dapat membagi *full step angle* menjadi *half step* atau pun *micro step*[24].



Gambar 2.15 Motor Stepper NEMA 23

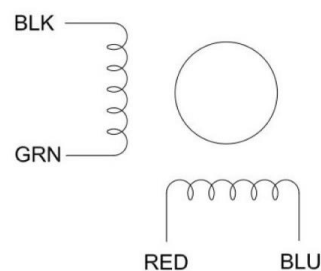
Bagian penyusun motor stpper hampir sama dengan motor DC pada umumnya, antara lain rotor, stator, *bearing*, *casing*, dan *shaft*. Sumbu atau *shaft* merupakan bagian yang ikut berputar dengan rotor. *Shaft* kemudian ditahan oleh 2 buah *bearing* pada ujung-ujungnya agar dapat berputar pada *casing* motor *stepper*. Pada umumnya, *casing* motor *stepper* terbuat dari alumunium. Selain digunakan sebagai dudukan *bearing* untuk rotor, *casing* motor *stepper* juga digunakan sebagai dudukan pelat inti untuk lilitan stator moor *stepper* [24]. Berdasarkan stator atau *wiring*, motor *stepper* dibagi menjadi 2 jenis, yaitu motor *unipolar* dan *bipolar*. Sedangkan berdasarkan rotornya, motor *stepper* dibagi menjadi 3 jenis yaitu *permanent magnet* (PM), *variable reluctance* (VR), dan *permanent magnet-hybrid* (PM-H) [25].

Pengaplikasian pada motor stepper slider ini adalah sebagai penggerak dudukan bantalan kawat email untuk dapat bergerak secara translasi dan juga rotasi. Selain itu motor stepper NEMA-23 memiliki resolusi langkah standar sebesar 1,8 derajat per langkah. Namun, dengan menggunakan driver stepper yang sesuai, seperti 3680 MS, resolusi step dapat ditingkatkan hingga 1/16 dari nilai standar, yaitu ser 0,1125 derajat per langkah [26]. Hal ini memungkinkan pergerakan motor menjadi lebih presisi dan halus, sehingga dapat digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan kontrol gerakan yang lebih akurat, seperti pada robotika dan CNC.

Tabel 2.17 Spesifikasi Motor Stepper Nema 23

Spesifikasi	Keterangan
Tipe Motor	Bipolar Stepper
Step Angle	1.8 derajat
Steps Per Revolution	200
Torsi	3Nm
Arus	2.8A
Tegangan	3.2V
Suhu kerja max	80 °C
Kecepatan	100~300rpm

Sedangkan untuk konfigurasi pin motor stepper NEMA 17 adalah sebagai berikut.



Gambar 2. 16 Konfigurasi pin

Motor stepper bipolar hanya memiliki dua set belitan tanpa keran tengah, sehingga hanya memiliki 4 kabel. Mengontrol motor bipolar menjadi sulit karena memerlukan pengaturan jembatan-H untuk membalikkan arah arus dalam belitan.

Tabel 2.18 pinout dari motor stepper 4 kabel

Wire Number	Wire Type	Wire Color	Bipolar Driver
1	Ujung pertama Koil 1	Black	A+
2	Ujung kedua dari Koil 1	Green	A-
3	Ujung pertama Koil 2	Red	B+
4	Ujung kedua dari Koil 2	Blue	B-

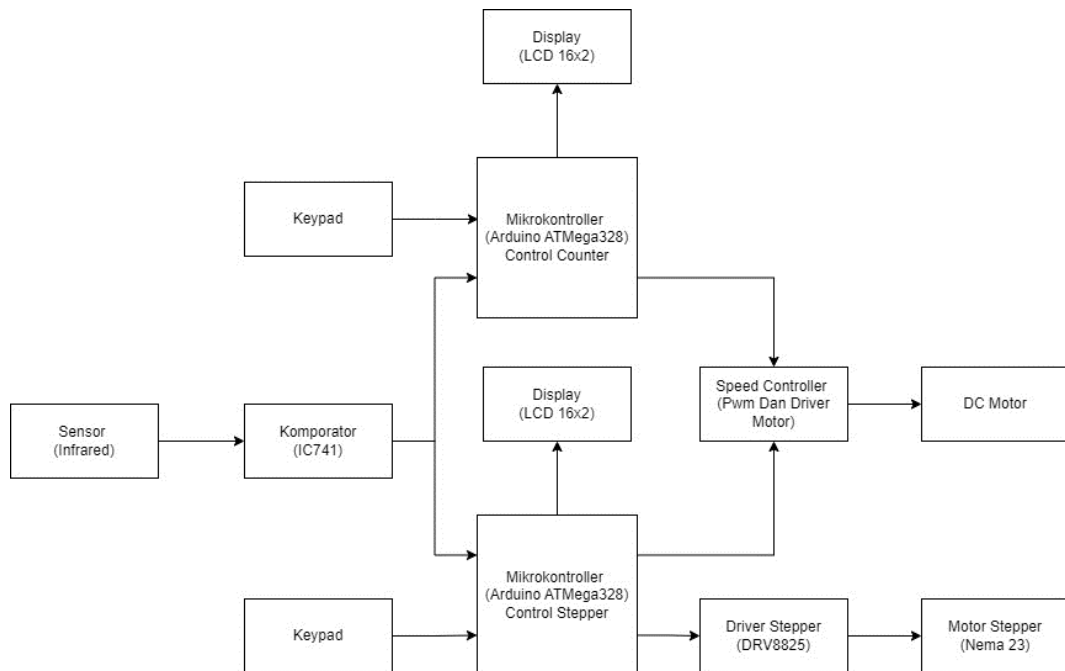
BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan di kota Semarang dengan Waktu yang diperlukan untuk penelitian selama 5 bulan dengan estimasi waktu yang dimulai dari bulan Februari 2023 s.d Juni 2023.

3.2 Blok Diagram

Perancangan sistem pada penelitian ini dimulai dengan menghubungkan seluruh perangkat yang telah disebutkan dalam merancang sistem ini dengan merancang blok diagram berdasarkan. Cara kerja pada alat pengguling lilitan koker trafo ini ditunjukkan pada blok diagram pada gambar 3.1. yang nantinya akan dibuat dengan tujuan saat proses penganalisaannya dapat lebih mudah.



Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem

Pada gambar diatas, dapat dilihat bahwa seluruh suplai daya alat menggunakan tegangan 220VAC bersumber dari PLN yang kemudian diubah menjadi 12VDC menggunakan *power supply* adaptor. Setelah itu tegangan 12V diturunkan menjadi 5V karena beberapa perangkat input dan output serta perangkat kontrol Arduino Uno ATmega328p menggunakan suplai daya 5V. Adapun perangkat atau komponen yang menggunakan suplai daya 5V dan 12V ditunjukkan pada tabel dibawah.

Tabel 3. 1 Pembagian Catu Daya

Komponen Tegangan 5V	Komponen Tegangan 12V
Sensor Optocoupler	Motor DC Gearbox
Arduino Uno ATmega328p	Motor Stepper Nema 23
Driver DRV8825	
Keypad 4x3	
Liquid Cristal Display (LCD)	
Arduino Nano Atmega	
IC PWM Controller NE 555	

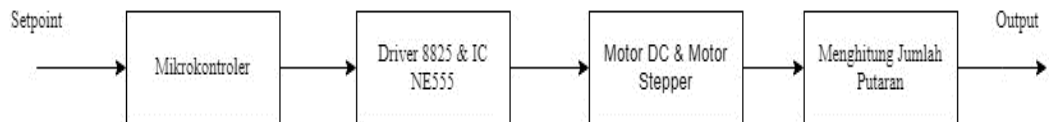
Adapun fungsi masing-masing komponen pada alat penggolong lilitan kawat transformator berbasis ATmega328p dapat dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 3. 2 Fungsi Komponen

No	Komponen	Fungsi
1	Arduino Uno Nano	Sebagai "master" yang mengendalikan operasi keseluruhan. Mikrokontroler master akan mengolah data penghitungan, mengatur kecepatan motor DC dan stepper motor,
2	Arduino Uno ATmega328p	Sebagai "slave" perangkat yang dikendalikan oleh mikrokontroler master, Mikrokontroler slave akan menerima

		instruksi tersebut dan mengontrol stepper motor sesuai dengan perintah yang diberikan.
3	UA741 Komparator	Digunakan bersama dengan sensor optocoupler untuk memperkuat dan mengolah sinyal yang diterima oleh sensor tersebut.
4	Sensor Optocoupler	Digunakan dalam sistem encoder inkremental yang menggunakan roda gigi dengan lubang-lubang kecil sebagai target putaran.
5	Keypad 4x3	Digunakan untuk memasukkan jumlah lilitan yang diinginkan pada rangkaian kumparan dengan menekan tombol angka pada keypad tersebut.
6	LCD (Liquid Crystal Display)	Sebagai menampilkan jumlah lilitan yang dimasukkan dari keypad
7	IC NE 555	Digunakan untuk menghasilkan pulsa atau sinyal waktu yang digunakan untuk mengontrol MOSFET IRFZ44N dan mengatur kecepatan putaran dinamo
8	Motor DC	Untuk memutar koker trafo agar menggulungkan lilitan kawat email
9	Motor Stepper	Untuk menggerakkan dudukan kawat tembaga pada transformator
10	Driver DRV8825	digunakan sebagai penggerak dudukan lilitan kawat pada slider. Untuk menggerakkan slider, motor stepper akan diatur agar berputar dengan arah dan kecepatan yang sesuai dengan instruksi

Selain diagram blok komponen penyusun, dirancang juga diagram blok sistem kontrol yang digunakan pada “Rancang Bangun Mesin Penggulung Lilitan Kawat Transformator Otomatis Berbasis Arduino ATmega328p” dengan menggunakan sistem *open loop*.

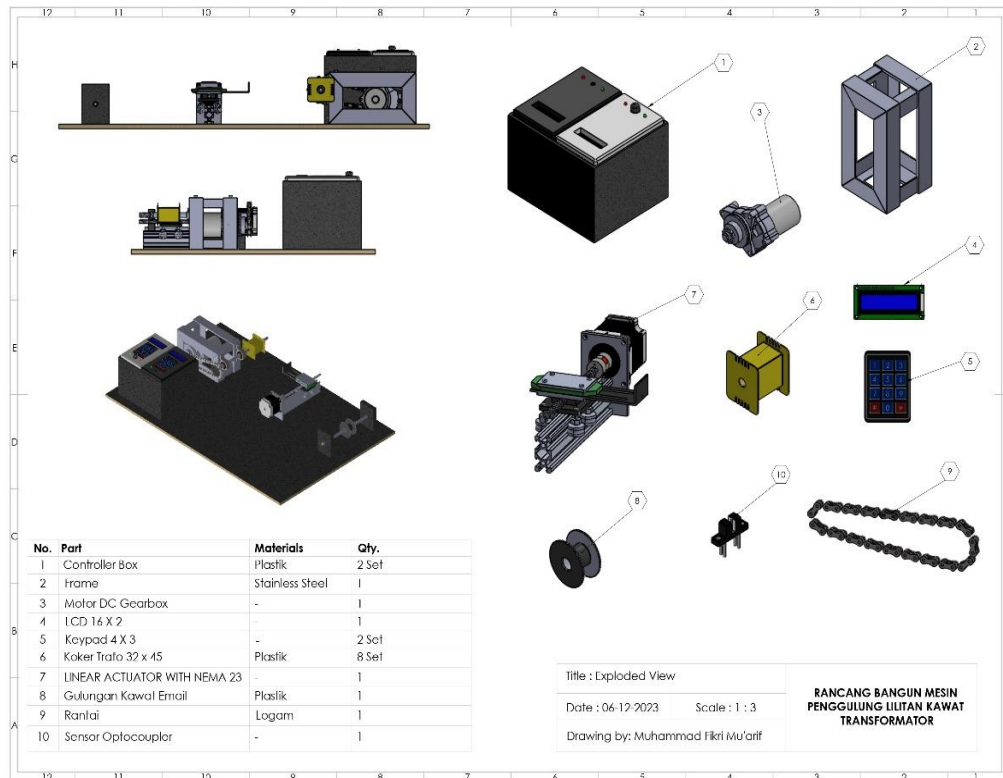


Gambar 3. 2 Diagram Block Sistem Kontrol

Seperti yang ditunjukkan pada gambar diatas, sistem kontrol pada alat penggulung lilitan kawat transformator otomatis menggunakan variabel *set point* berupa jumlah lilitan yang ingin digunakan. *Set point* tersebut kemudian diproses oleh mikrokontroler berupa Arduino sehingga menghasilkan sinyal ke sensor optocoupler, lalu kontrol ini digunakan untuk menggerakkan aktuator motor DC melalui driver 8825 dan IC NE555. Setelah itu, kawat email akan digulungkan oleh motor DC dan linear motor stepper akan bergerak sesuai diameter kawat dan lebar koker. Serta menggerakkan dudukan kawat tembaga pada transformator yang dimasukkan pada *set point* tersebut.

3.3 Gambar 3D

Gambar 3D dibuat menggunakan *software* 3D Sketchup yang terdiri dari perencanaan desain dan ukuran, pemilihan jenis material yang digunakan, serta perencanaan fungsi dari masing-masing bagian.

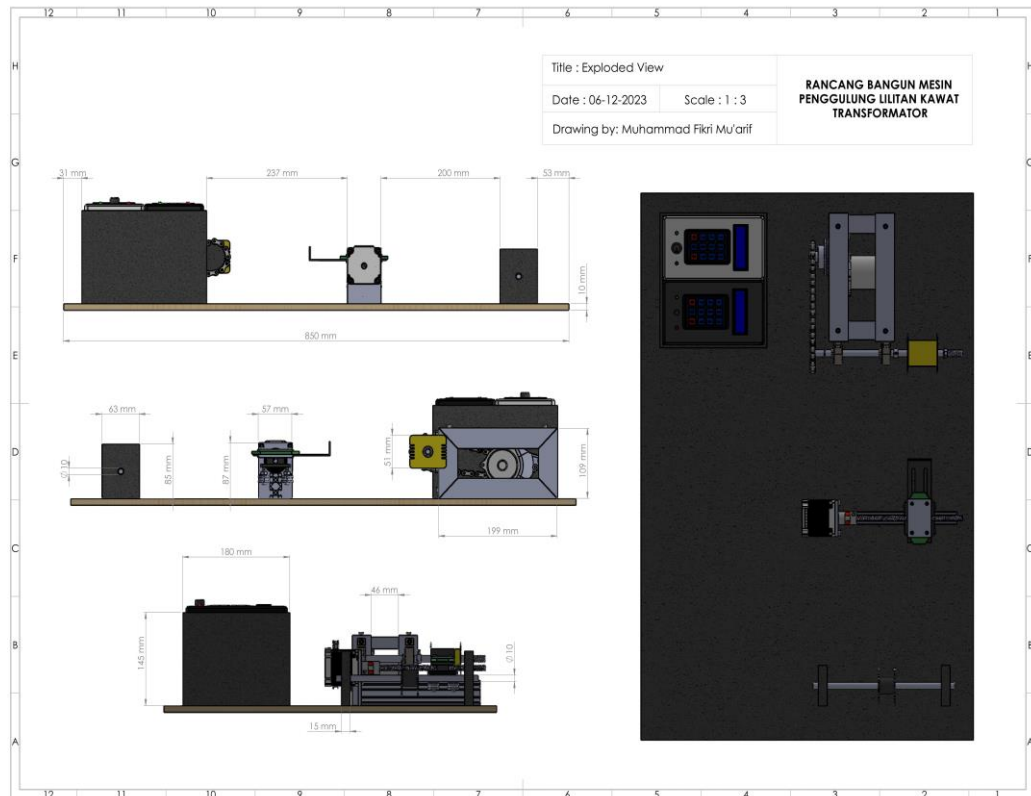


Gambar 3. 3 Desain dan Material

Adapun fungsi dari bagian-bagian alat Penggulung Lilitan Kawat Transformator Otomatis Berbasis Arduino Atmega328p sebagai berikut.

Tabel 3. 3 Fungsi Bagian Alat Penggulung Lilitan

No	Bagian	Fungsi
1	Controller Box	Untuk menopang seluruh komponen alat
2	Frame	Untuk menopang motor DC gear box
3	Motor DC Gear Box	Untuk menggulungkan lilitan kawat
4	LCD 16x2	Untuk menampilkan input jumlah lilitan
5	Keypad 4x3	Untuk memasukkan input jumlah lilitan
6	Koker Trafo	Sebagai wadah transformator
7	Linear Aktuator Nema 23	Untuk menggerakkan kedudukan kawat tembaga pada transformator
8	Gulungan Kawat Email	Sebagai wadah kawat email
9	Sensor Optocoupler	Sebagai menghitung setiap putaran lilitan



Gambar 3. 4 Desain dan Dimensi Alat

3.4 Spesifikasi dan Fitur

Spesifikasi alat Penggulung Lilitan Kawat Transformator Otomatis Berbasis Arduino Atmega328p adalah sebagai berikut:

1. Dimensi alat keseluruhan 85cm x 65cm x 14.5cm dengan dudukan kayu triplex dan kerangka besi siku ukuran 20cm x 11cm dengan ketebalan 2 mm.
2. Menggunakan suplai daya 12VDC 3A sebagai suplai daya mikrokontroler, sensor, serta aktuator, dan dengan daya maksimum 96 Watt
3. Menggunakan potensiometer untuk mengatur kecepatan penggulungan kawat email.
4. Motor stepper Nema 23 menggerakkan mekanisme pemindahan kawat lilitan.
5. Menggunakan Motor Dc gear box dengan suplai 12V-24V mampu dengan kecepatan sampai 500 rpm

6. Menggunakan sensor encoder digunakan untuk mengukur putaran motor stepper.

Sedangkan fitur yang dimiliki oleh alat Penggulung Lilitan Kawat Transformator Otomatis Berbasis Arduino Atmega328p adalah sebagai berikut:

1. Dapat mengendalikan kecepatan putaran motor secara langsung melalui potensiometer.
2. Alat ini dilengkapi dengan memori penyimpanan data EEPROM yang memungkinkan untuk menyimpan dan mengakses data tentang lilitan kawat sebelumnya.
3. Dengan menggunakan keypad dan LCD, pengguna dapat mengatur jumlah lilitan yang diinginkan untuk transformator.
4. Alat ini mampu menggunakan kawat email dengan diameter 0,1 sampai diameter 1.
5. Dengan potensiometer, pengguna dapat mengatur kecepatan putaran motor DC yang menggerakkan lilitan kawat penggulung.
6. Dapat menggunakan koker trafo dengan ukuran yang dibutuhkan.

3.5 Teknik Fabrikasi

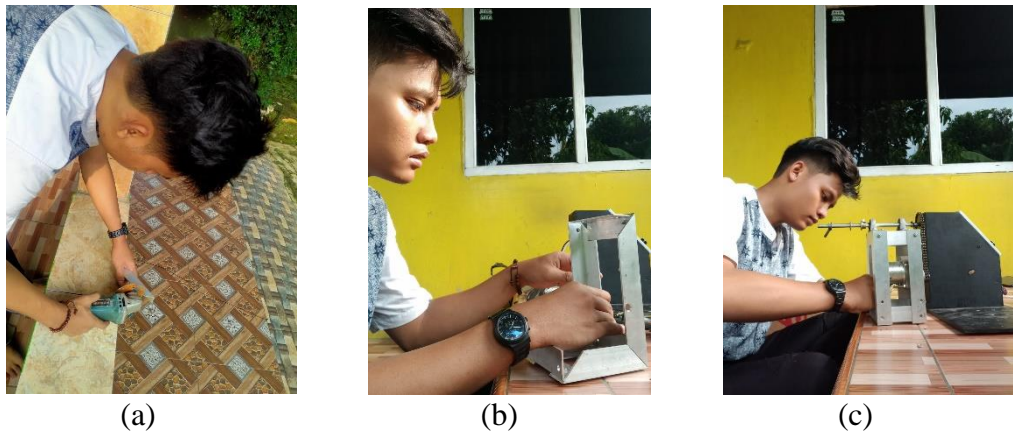
Proses pembuatan alat Penggulung Lilitan Kawat Transformator Otomatis Berbasis Arduino Atmega328p terdiri dari beberapa tahapan, antara lain :

3.5.1. Bagian Mekanik

1. Rangka

Awal Proses pembuatan rangka alat Penggulung Lilitan Kawat Transformator Otomatis adalah memotong besi siku sesuai dengan ukuran pada desain menggunakan gerinda tangan. Setelah itu dilanjutkan dengan proses pengeboran menggunakan mesin bor pada titik tertentu dan dengan diameter lubang tertentu sesuai desain yang nantinya akan digunakan sebagai

alat penggulung dengan memasang motor DC gearbox pada kerangka tersebut.



Gambar 3. 5 (a) Pemotongan Rangka, (b) Pengukuran Rangka, (c) Penyusunan Rangka

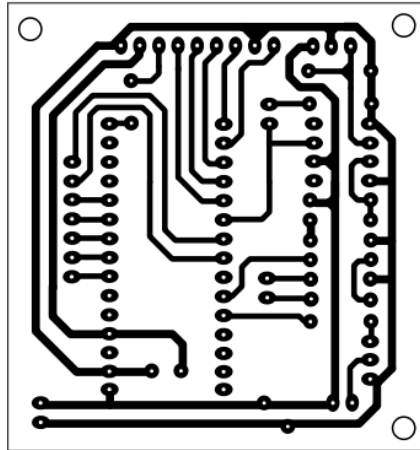
2. Linear Aktuator

Tahap pertama pembuatan Linear aktuator untuk menggerakkan mekanisme pemindahan kawat lilitan adalah tentukan spesifikasi linear aktuator yang dibutuhkan, termasuk panjang gerakan, kecepatan, dan beban maksimum yang akan ditangani. Siapkan semua komponen yang diperlukan, seperti motor DC, sekrup penggerak (*lead screw*), bantalan, perumah aktuator, dan konektor motor. Setelah itu, pasang sekrup penggerak (*lead screw*) pada motor DC menggunakan konektor motor, sehingga motor dapat menggerakkan sekrup penggerak dan menambahkan alumunium V-slot dengan ukuran 20x40mm dengan panjang 200mm hal ini untuk menggerakkan mekanisme pemindah lilitan kawat dengan presisi yang tinggi. Hal ini memungkinkan pembuatan lilitan kawat yang konsisten dan terukur.

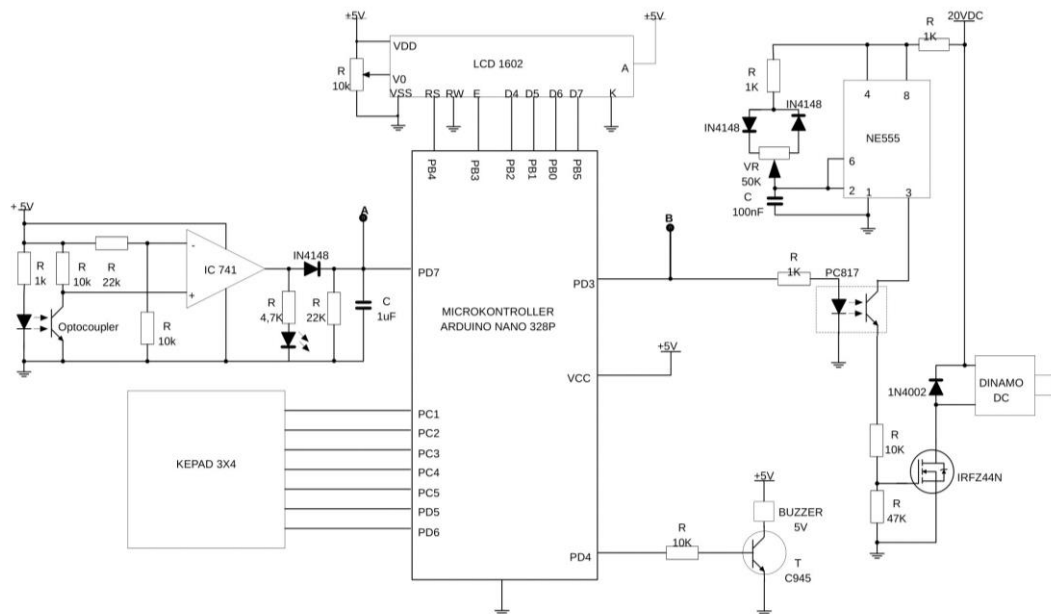
3.5.2. Bagian Elektrik

Proses pembuatan perangkat keras elektrik dari alat Penggulung Lilitan Kawat Transformator dimulai dengan merancang diagram skematik dengan tujuan untuk mempermudah penyambungan atau *wiring* antar-komponen yang digunakan. Selain itu, diagram skematik juga digunakan untuk perancangan papan PCB (*Printed Circuit Board*) agar koneksi antar-komponen dapat efektif

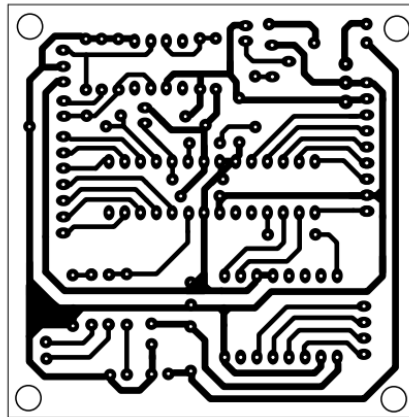
dan efisien. Adapun diagram skematik serta desain *board* PCB yang digunakan seperti pada gambar dibawah.



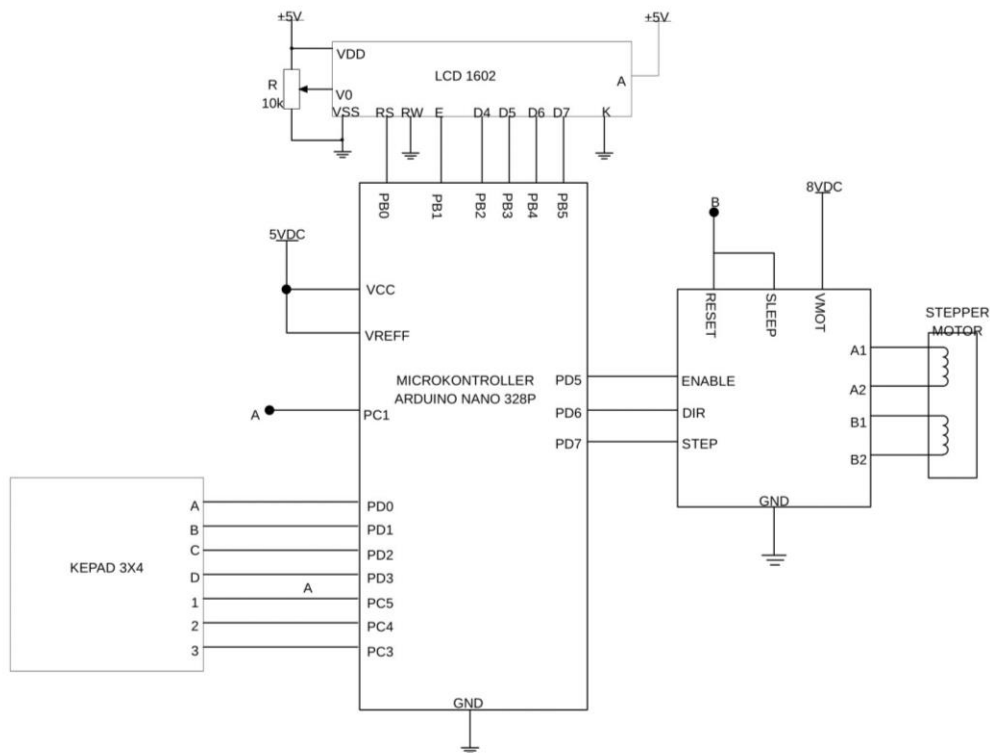
Gambar 3. 6 Skematik PCB Counter



Gambar 3. 7 Skematik Rangkaian Counter



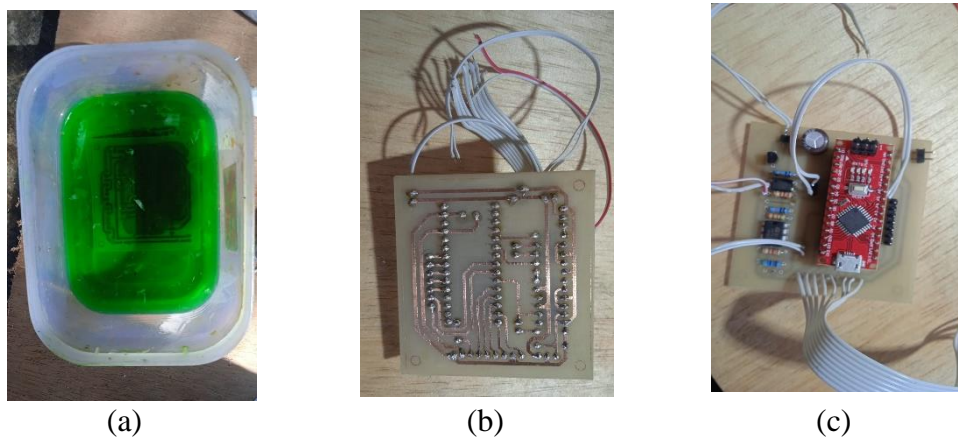
Gambar 3. 8 Skematik PCB Linear Stepper



Gambar 3. 9 Skematik Rangkaian Linear Stepper

Papan sirkuit PCB (*Printed Circuit Board*) menggunakan larutan dan HVS (*High-Quality Vellum Paper*) yang telah dicetak desain sesuai ukuran PCB yang dibutuhkan. Setelah itu, Bersihkan permukaan tembaga pada PCB dengan menggunakan pengikis (*sandpaper*) atau sikat kawat halus. Gunakan larutan resist untuk melapisi area yang tidak ingin terkena etsa, lalu tempelkan cetakan HVS

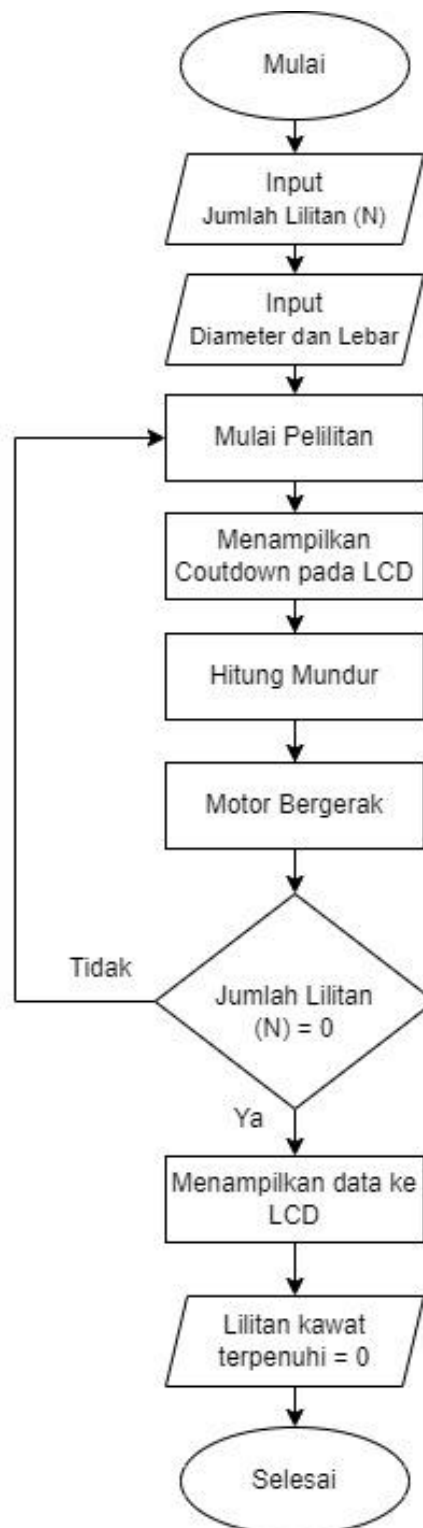
dengan desain PCB ke permukaan tembaga yang dilapisi tinta resist selanjutnya Tempatkan PCB yang telah ditutupi cetakan HVS dan tembaga ke dalam larutan etching (larutan kimia pelarut tembaga), Setelah etsa selesai, bilas PCB dengan air bersih untuk menghilangkan larutan etching. Setelah PCB selesai dibuat, masing-masing komponen disolder sesuai dengan tempatnya.



Gambar 3. 10 (a) Fabrikasi PCB, (b) Pemasangan Komponen, (c) hasil fabrikasi

3.5.3. Bagian Perangkat Lunak Sistem

Pembuatan perangkat lunak sistem dari alat dimulai dengan penyusunan diagram alir sistem yang berisi proses kerja dari alat yang dapat dilihat pada diagram alir bawah. Pada saat alat penggulung trafo pertama kali dinyalakan, terdapat proses input jumlah lilitan dari keypad dan menampilkan jumlah lilitan pada LCD yang akan digulungkan dan proses input untuk linear aktuator untuk pergeseran lilitan sesuai dengan diameter kawat email dan lebar koker. Apabila operator sudah menginputkan lilitan untuk memulai proses penggulangan arduino akan mengaktifkan motor gearbox untuk memutar penggulung pada koker trafo, motor stepper slider yang menggerakkan dudukan kawat tembaga pada transformator. Pada saat yang sama, LCD akan menampilkan jumlah lilitan yang sudah digulung. Setelah jumlah lilitan yang diinginkan tercapai, Arduino akan menghentikan motor gearbox dan memberikan notifikasi pada LCD dan buzzer bahwa proses penggulangan telah selesai.



Gambar 3. 11 Flowchart Sistem

1. Pemrograman sistem arduino

Program pada sistem Arduino dibuat sesuai dengan flowchart sistem melalui aplikasi Arduino IDE. Tahap pertama dimulai pada bagian *preprocessing* melalui pendeklarasian variabel untuk pin Arduino yang digunakan serta untuk parameter-parameter beserta nilai awal dengan tipe data tertentu yang akan digunakan. Selain itu, juga dideklarasikan *library* yang digunakan untuk meringkas pemrograman untuk komponen tertentu. Adapun pemrograman *pre-processing* yang ditulis adalah sebagai berikut.

```
#include <Keypad.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include <ezBuzzer.h>
#include <EEPROM.h>

#define BUZZER 2
#define MOTOR 3
#define COUNTER_SENSOR 7

const byte ROWS = 4;
const byte COLS = 3;

char keys[ROWS][COLS] = {
  {'1', '2', '3'},
  {'4', '5', '6'},
  {'7', '8', '9'},
  {'*', '0', '#'}
};

byte rowPins[ROWS] = {A5, A4, A3, A2};
byte colPins[COLS] = {A1, 5, 6};

Keypad keypad = Keypad(makeKeymap(keys), rowPins, colPins,
ROWS, COLS);

LiquidCrystal lcd(11, 12, 10, 9, 8, 13);
int Sensor;
bool Pause = false;
int addr = 0;
int count;
int value;
```


Selanjutnya dapat dideklarasikan fungsi pin yang digunakan sebagai *input* atau *output* pada *void setup* serta dituliskan program inisialisasi atau program yang hanya akan dijalankan satu kali pada sistem pertama kali dinyalakan. Pada *void setup* juga dimulai sebuah komunikasi serial dengan *baud rate* 9600 yang digunakan untuk komunikasi antara mikrokontroler dengan komputer. Adapun program pendeklarasian fungsi pin dan program inisialisasi pada *Void setup* adalah sebagai berikut.

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16, 2);
  pinMode(BUZZER, OUTPUT);
  pinMode(MOTOR, OUTPUT);
  pinMode(COUNTER_SENSOR, INPUT);
  digitalWrite(MOTOR, LOW);
  count = EEPROM.read(0);
  if (count > 0) {
    Countdown();
  }
}
```

Setelah itu, dapat dibuat program utama yang dijalankan selama sistem menyala. Program utama pada *void loop* didukung dengan program-program lain dengan menggunakan fitur *multi-lab* pada Arduino IDE dengan mendeklarasikan fungsi atau *void* lain yang nantinya akan dipanggil sesuai dengan fungsinya masing-masing sebagai berikut.

```
void loop() {
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Input Limit : ");
  lcd.setCursor(5,1);
  lcd.print("(Maxs 9999)");
  int value = getValueFromKeypad();
}
```

```
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Value: ");
lcd.print(value);
if (value > 0){
  waitForStartButton();
  decrementValue(value);
  }
}
int getValueFromKeypad() {
char key = keypad.waitForKey();
int value = key - '0';
tone(BUZZER, 20, 100);
delay(50);
noTone(BUZZER);
while (key != '#') {
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(" ");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(value);
key = keypad.waitForKey();
if (key != '#' && key != '*') {
value = value * 10 + (key - '0');
tone(BUZZER, 20, 100);
delay(50);
noTone(BUZZER);
  }
if (key == '*')
  {
value = 0;
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("          ");
lcd.setCursor(5,1);
lcd.print("(Maxs 9999)");
```

```

tone(BUZZER, 20, 100);
delay(50);
noTone(BUZZER);
    }
tone(BUZZER, 20, 100);
delay(50);
noTone(BUZZER);
    }
    return value;
}

```

Selanjutnya, program *void waitForStartButton* merupakan implementasi dalam bahasa pemrograman Arduino yang menggunakan LCD dan keypad. Tujuannya adalah untuk menunggu tombol '#' ditekan sebelum melanjutkan eksekusi program. Program *Void decrementValue(int value)* merupakan implementasi dalam bahasa pemrograman Arduino yang mengurangi nilai value dan memperbarui tampilan LCD sebelum memanggil fungsi *Countdown* untuk memulai hitung mundur. Dan, program *void Countdown* merupakan implementasi dalam bahasa pemrograman Arduino yang menjalankan hitung mundur dengan logika kontrol berdasarkan pembacaan sensor, interaksi keypad, dan manipulasi perangkat keras lainnya.

```

void waitForStartButton() {
lcd.clear();
lcd.setCursor(4,0);
lcd.print("Press (#)");
lcd.setCursor(4,1);
lcd.print("To START");
while (keypad.waitForKey() != '#') {
delay(100);
    }
tone(BUZZER, 20, 100);
delay(50);
noTone(BUZZER); }

```

```
void decrementValue(int value) {
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Countdown: ");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(value);
  digitalWrite(MOTOR, HIGH);
  count = value;
  Countdown();}
void Simpan() {
  EEPROM.write(0, count); }
void Countdown(){
  while (count > 0) {
    if (digitalRead(COUNTER_SENSOR) == LOW) {
      lcd.clear();
      lcd.setCursor(0,0);
      lcd.print("Countdown: ");
      lcd.setCursor(0,1);
      lcd.print(count);
      Simpan();
      count--;
      Sensor = 1;
      digitalWrite(MOTOR, HIGH);
      }
    else if (digitalRead(COUNTER_SENSOR) == HIGH)
      {
      Sensor = 0;
      }
    if (count == value) {
      digitalWrite(MOTOR, HIGH);
      }
    if (count == 0) {
      digitalWrite(MOTOR, LOW);
```

```
digitalWrite(BUZZER, HIGH);
delay(1000);
digitalWrite(BUZZER, LOW);
count = 0;
    }
char key = keypad.getKey();
    if (key) {
        if (key == '#') {
            if (!Pause) {
                lcd.clear();
                lcd.setCursor(0,0);
                lcd.print("Countdown: ");
                lcd.setCursor(0,1);
                lcd.print("PAUSE");
                digitalWrite(MOTOR, LOW);
                Pause = true;
                tone(BUZZER, 20, 100);
                delay(50);
                noTone(BUZZER);
            }
            else
            {
                lcd.clear();
                count = EEPROM.read(0);
                lcd.setCursor(0,0);
                lcd.print("Countdown: ");
                lcd.setCursor(0,1);
                lcd.print(count);
                digitalWrite(MOTOR, HIGH);
                Pause = false;
                tone(BUZZER, 20, 100);
                delay(50);
                noTone(BUZZER); } } }
```

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian hasil dan pembahasan dilaksanakan setelah seluruh proses perancangan dan pembuatan alat penggulung lilitan kawat transformator selesai dengan tujuan untuk mengukur keberhasilan dari alat yang telah dirancang yang disesuaikan dengan tujuan penelitian.

4.1 Hasil Perancangan Algoritma Program Pada Alat

Algoritma dasar program ini digunakan bertujuan untuk mengatur penggulangan kawat secara otomatis. Berikut pada tabel 4.1 penjelasan dari setiap bagian syntax atau perintah yang program yang terlampir pada [lampiran 1 dan 2](#):

Tabel 4. 1. Algoritma Program

Fungsi & Syntax	Deskripsi
<code>#include <Keypad.h></code>	Menggunakan library Keypad untuk input keypad.
<code>#include <LiquidCrystal.h></code>	Menggunakan library LiquidCrystal untuk mengatur tampilan pada LCD.
<code>#include <ezBuzzer.h></code>	Menggunakan library ezBuzzer untuk mengontrol buzzer.
<code>#include <EEPROM.h></code>	Menggunakan library EEPROM untuk menyimpan data pada EEPROM.
<code>#define BUZZER 2</code>	Mendefinisikan pin untuk buzzer.
<code>#define MOTOR 3</code>	Mendefinisikan pin untuk motor.
<code>#define COUNTER_SENSOR 7</code>	Mendefinisikan pin untuk sensor counter.
<code>const byte ROWS = 4;</code>	Mendefinisikan jumlah baris pada keypad.
<code>const byte COLS = 3;</code>	Mendefinisikan jumlah kolom pada keypad.
<code>char keys[ROWS][COLS]</code>	Mendefinisikan array untuk map tombol keypad.
<code>byte rowPins[ROWS]</code>	Mendefinisikan array untuk pin baris keypad.
<code>byte colPins[COLS]</code>	Mendefinisikan array untuk pin kolom keypad.
<code>Keypad keypad</code>	Inialisasi objek keypad dengan pin dan map tombol yang telah didefinisikan.

<code>LiquidCrystal lcd</code>	Inisialisasi objek lcd dengan pin LCD yang telah didefinisikan.
<code>int Sensor</code>	Variabel untuk menyimpan status sensor.
<code>bool Pause = false</code>	Variabel boolean untuk menyimpan status pause.
<code>int addr = 0</code>	Variabel untuk menyimpan alamat penyimpanan EEPROM.
<code>int count</code>	Variabel untuk menyimpan nilai countdown.
<code>int value</code>	Variabel untuk menyimpan nilai dari keypad input.
<code>void setup()</code>	Fungsi setup, dieksekusi saat perangkat dinyalakan.
<code>void loop()</code>	Fungsi loop, berisi kode yang akan diulang terus menerus.
<code>int getValueFromKeypad()</code>	Fungsi untuk mendapatkan nilai dari keypad.
<code>void waitForStartButton()</code>	Fungsi untuk menunggu tombol '#' pada keypad sebelum memulai countdown.
<code>void decrementValue(int value)</code>	Fungsi untuk mengurangi nilai countdown dan mengaktifkan motor.
<code>void Simpan()</code>	Fungsi untuk menyimpan nilai countdown pada EEPROM.
<code>void Countdown()</code>	Fungsi untuk melakukan countdown dan mengatur status pause.

Tabel 4.1 di atas berisi fungsi dan syntax penting yang digunakan dalam program, pada algoritma tersebut menggunakan berbagai library seperti Keypad, LiquidCrystal, ezBuzzer, dan EEPROM untuk mengatur input dari keypad, menampilkan informasi pada LCD, mengendalikan buzzer, serta menyimpan dan membaca data dari EEPROM. Dengan fitur countdown dan kemampuan untuk mengatur nilai limit dari keypad, program ini dapat digunakan dalam berbagai aplikasi yang memerlukan proses countdown dengan fitur pause yang sederhana. Dalam penggunaannya, pengguna cukup memasukkan nilai limit melalui keypad, menekan tombol '#' untuk memulai countdown, dan mengaktifkan motor saat sensor counter terdeteksi. Program ini memberikan fleksibilitas dan kemudahan bagi pengguna untuk mengatur countdown sesuai kebutuhan.

4.2 Pemilihan dan Spesifikasi Komponen Dinamo

Pemilihan dan spesifikasi komponen dinamo merupakan tahap krusial dalam merancang Mesin Penggulung Lilitan Kawat Otomatis berbasis Arduino. Langkah pertama yang perlu diambil adalah melakukan analisis mendalam terhadap kebutuhan yang diharapkan dari mesin tersebut. Dalam tahap ini, perlu dipahami secara menyeluruh mengenai tujuan penggunaan mesin, beban yang akan ditangani, dan kecepatan yang diinginkan agar dapat menentukan parameter yang harus dipenuhi oleh komponen dinamo.

4.2.1. Motor Stepper Nema 23

Motor stepper dipilih untuk aplikasi ini karena memiliki beberapa keunggulan yang relevan dalam rancang bangun mesin penggulung lilitan kawat transformator berbasis Arduino. Beberapa alasan utama pemilihan motor stepper adalah presisi dan akurasi tinggi dalam penggulungan lilitan kawat pada transformator, yang penting untuk memastikan kualitas dan konsistensi produk. Selain itu, motor stepper dapat dengan mudah dikendalikan menggunakan mikrokontroler seperti Arduino, memungkinkan pengaturan jumlah lilitan pada transformator dengan tepat sesuai kebutuhan. Torsi yang stabil pada setiap langkah motor stepper juga membantu menjaga ketertiban dan konsistensi dalam penggulungan kawat.

Tabel 4. 2 Spesifikasi Motor Nema

	Nema 17	Nema 23	Nema 34
Dimensi	42mm x 42mm	57mm x 57mm	86mm x 86mm
Torsi	0,3 - 0,6 Nm	2.45 Nm	20 Nm
Arus	1.5A	3A	5A

Pada tabel 4.2 menjelaskan bahwa spesifikasi masing-masing Nema, pada Nema 23 memenuhi kualifikasi yang sesuai dengan kebutuhan pada rancang bangun mesin penggulung lilitan kawat. Nema 23 merupakan pilihan ideal untuk rancang bangun mesin penggulung lilitan kawat transformator berbasis Arduino.

Pada dasarnya Nema 23 memiliki torsi yang lebih tinggi (2.45 Nm) dibandingkan dengan Nema 17, memberikan stabilitas mekanis yang baik dengan dimensinya yang lebih besar (57 x 57 mm), dan dapat menangani arus hingga 3A, membuatnya kuat dan efisien.

4.2.2. Motor DC Gearbox GN5

Motor DC memiliki berbagai keunggulan yang membuatnya menjadi pilihan yang tepat dalam mesin penggulung lilitan kawat transformator. Salah satu alasan utama adalah kemampuannya untuk mencapai kecepatan yang lebih tinggi daripada motor stepper. Hal ini sangat bermanfaat ketika diperlukan penggulangan dengan kecepatan tinggi pada bagian tertentu dari transformator.

Tabel 4. 3 Spesifikasi Motor DC Gearbox

	GN5	Worm	Power Window	JGA25-370
Speed	500 rpm	150 rpm	90 rpm	12 rpm
Voltage	12 - 24V	12V	12V	12V
Torsi	100 kg.cm	1.5kgcm	30kg.cm	130 N .cm
Arus	3A	1.3	9A	5A

Pada tabel 4.3 menjelaskan bahwa spesifikasi masing-masing motor DC gearbox. Pada gearbox GN5 memenuhi kualifikasi yang sesuai dengan kebutuhan pada rancang bangun mesin penggulung lilitan kawat. Dengan kecepatan dan torsi yang sesuai, gearbox ini memudahkan pengaturan laju penggulangan dan torsi yang dibutuhkan. Pada dasarnya GN5 memiliki torsi 100 kg.cm, memberikan stabilitas mekanis yang baik dengan ratio gear 1:2 dan dapat menangani arus hingga 3A, membuatnya kuat dan efisien.

4.2.3. Analisis Kerja Motor

Dalam rancang bangun ini pentingnya melakukan analisis kinerja motor secara komprehensif. Evaluasi ini melibatkan beberapa aspek yang sangat relevan untuk dipertimbangkan. Pertama-tama, peneliti mengakui bahwa presisi penggulangan menjadi elemen krusial untuk menjamin bahwa jumlah lilitan pada transformator sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

Oleh karena itu, peneliti mengakui perlunya memastikan bahwa motor stepper memiliki presisi yang tinggi. Selanjutnya, peneliti mengakui kepentingan menilai kecepatan penggulangan pada motor DC dan motor stepper, serta perlunya menguji kinerjanya dalam berbagai skenario untuk memenuhi kebutuhan aplikasi yang beragam. Peneliti juga mengakui bahwa konsistensi penggulangan adalah faktor utama dalam memastikan kualitas transformator yang dihasilkan, sehingga peneliti menyadari bahwa motor harus mampu memberikan lilitan kawat yang seragam pada setiap putaran. Di samping itu, peneliti menyadari pentingnya efisiensi energi, terutama saat penggulangan dilakukan dalam jumlah besar dan dalam waktu yang lama.

Dengan demikian, peneliti berkomitmen untuk melaksanakan serangkaian uji coba dan pengamatan yang tepat untuk menganalisis kinerja motor stepper dan motor DC pada rancang bangun penggulang lilitan kawat transformator berbasis Arduino. Dengan hasil analisis ini, peneliti berharap dapat memastikan bahwa motor yang peneliti pilih akan sesuai dengan kebutuhan aplikasi dan dapat memberikan hasil yang diharapkan.

4.3 Pengujian Fungsionalitas Komponen

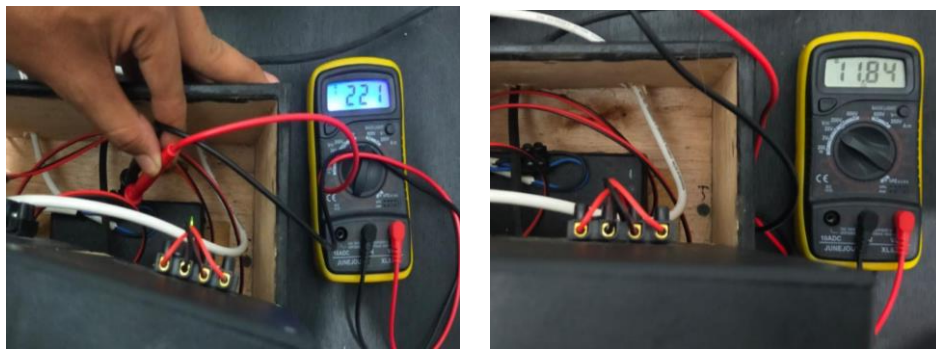
Dilakukan pengujian alat fungsionalitas komponen yang digunakan pada Alat Rancang Bangun Mesin Penggulung Lilitan Kawat Transformator Otomatis Berbasis Arduino ATmega328p dengan meliputi pengujian komponen sensor optocoupler, motor DC gearbox, driver motor DRV8825 dan motor stepper. hal ini dilakukan untuk mengetahui tingkat keakurasian pada alat yang akan diteliti.

4.3.1. Pengujian Catu daya

Pengujian catu daya dilakukan dengan cara mengukur tegangan menggunakan pada masukan dan keluaran dari catu daya. Pengujian dilaksanakan untuk memastikan tegangan keluaran pada catu daya telah sesuai dengan spesifikasi sehingga tidak terdapat tegangan berlebih yang dapat meruak komponen lainnya. Adapun hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Tegangan Catu Daya

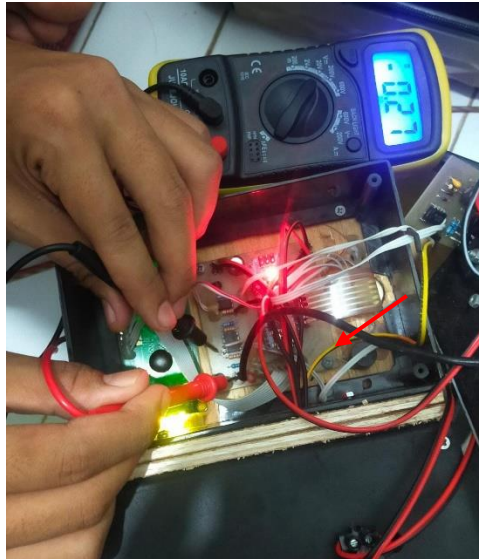
Keterangan	Spesifikasi	Tegangan Aktual
Tegangan <i>input</i> PLN	220VAC	221VAC
Tegangan <i>output</i> Daya	12 VADC	11.84VDC



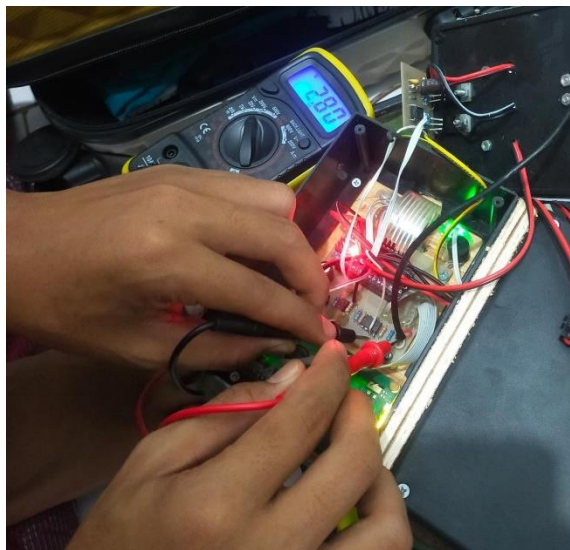
Gambar 4. 1 (a) Pengukuran Tegangan *input* Catu Daya, (b) Pengukuran Tegangan *Output* Catu Daya

4.3.2. Pengujian Sensor Optocoupler

Pengujian sensor *Optocoupler* dilakukan dengan cara mengukur tegangan pada pin keluaran sensor. Pengujian dilaksanakan untuk mengetahui apakah sensor tersebut menghasilkan *output* berupa sinyal digital 0 atau 1. Hasil pengujian dari sensor *Optocoupler* adalah sebagai berikut. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa sensor *optocoupler* dapat berjalan sesuai dengan diharapkan. Gambar berikut merupakan hasil pengujian yang telah dilakukan.



Gambar 4. 2 Pengujian rotary encoder dengan tidak menggunakan penghalang



Gambar 4. 3 Pengujian rotary encoder dengan penghalang

Tabel 4. 5 Pengujian Sensor *Optocoupler*

Keadaan Sensor	Tegangan Output	
	Sensor	Schmitt trigger
Terhalang	2.8	0.15
Tak Terhalang	0.27	4.5

Dalam tabel 4.5, dapat disimpulkan bahwa tegangan output dari sensor tidak stabil. Ketika sensor terhalang, tegangan output berada dalam rentang 2,8V, sedangkan pada keadaan sensor tidak terhalang, tegangan output berada dalam rentang 0,27V. Tegangan output dari schmitt trigger memiliki karakteristik yang relatif stabil. Untuk masukan tegangan 2,8, schmitt trigger menghasilkan tegangan output sebesar 0.15V, sedangkan untuk masukan tegangan 0,27V, schmitt trigger menghasilkan tegangan output sebesar 4,5V. Tegangan output ini kemudian akan dibaca sebagai logika 1 untuk tegangan 0.15V dan logika 0 untuk tegangan 4,5V. Data logika yang dihasilkan oleh schmitt trigger adalah kebalikan dari data logika sensor. Namun, hal ini dapat diatasi dengan menggunakan perintah *NOT* pada perangkat. Dengan demikian, ketika sensor terhalang, data logika yang dibaca akan menjadi logika 1, sedangkan sensor tidak terhalang akan dibaca sebagai logika 0.

Tabel 4. 6 Pengujian pengecekan jumlah counter pada sensor optocouper

No	Input Jumlah Lilitan Counter	Pengecekan Counter Manual
1	25	25
2	50	50
3	75	75
4	100	100

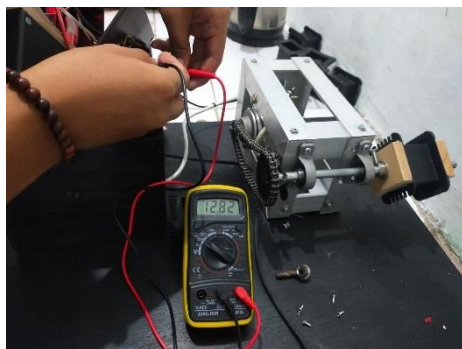
Berdasarkan pengujian sensor optocoupler pada counter berhasil, maka hasil analisis akan menunjukkan bahwa sensor tersebut dapat mendeteksi perubahan cahaya dengan akurat, menghitung objek atau peristiwa dengan benar, dan berfungsi dengan baik dalam berbagai kondisi lingkungan

4.3.3. Pengujian Motor DC Gearbox

Pengujian motor DC Gearbox dilakukan dengan cara mengukur tegangan keluaran dari IC Ne 555 dengan memvariasikan nilai input lilitan. Pengukuran dilakukan menggunakan multimeter. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kecepatan perputaran motor DC yang diukur menggunakan Tachometer.

Tabel 4. 7 Pengujian Motor DC Gearbox

NO	Driver (V)	Motor DC (V)	RPM Motor
1	8.06	4.66	13,8
2	8.26	9	47,2
3	9.06	12.82	169,3
4	10.35	16.40	261,7



(a)



(b)

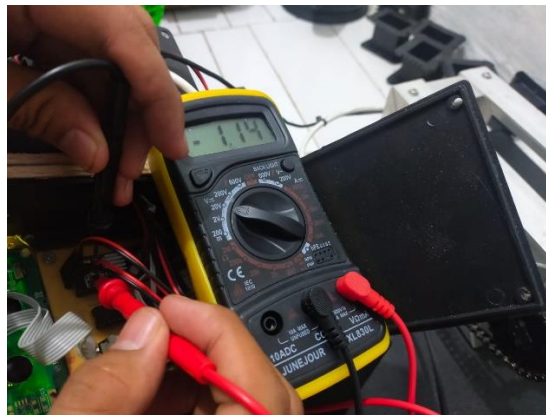
Gambar 4. 4 (a) Pengujian Output Driver, (b) Pengujian RPM

4.3.4. Pengujian Driver Motor Stepper DRV8825

Pengujian driver motor stepper DRV8825 dilakukan dengan cara mengukur tegangan referensi tegangan dan kemudian disesuaikan menggunakan persamaan (2.3) dengan memutar trimpot yang ada pada driver. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa arus yang dikeluarkan oleh driver motor stepper sesuai dengan kebutuhan motor stepper agar menghasilkan torsi yang cukup. Selain itu, pengujian juga bertujuan untuk meminimalkan risiko *overheat* yang dapat terjadi pada driver motor. Adapun hasil dari pengujian driver motor DRV8825 adalah sebagai berikut,

Tabel 4. 8 Pengujian Driver Motor Stepper DRV8825

Keterangan	Hasil (V)
Perhitungan V_{ref}	1,4
Pengukuran Sebelum Pengaturan V_{ref}	0,64
Pengukuran Setelah Pengaturan V_{ref}	1,14



Gambar 4. 5 Pengaturan Vref Driver Motor Stepper DRV8825

Dari pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa tegangan referensi yang diatur pada driver dapat menghasilkan arus yang sesuai untuk menjalankan motor stepper secara optimal. Tegangan referensi yang diukur dan disesuaikan pada driver memainkan peran penting dalam mengontrol arus yang dikeluarkan oleh motor stepper. Dengan memilih dan mengatur tegangan referensi yang tepat, arus yang diberikan pada motor stepper dapat sesuai dengan kebutuhan motor tersebut. Setelah itu, motor stepper diuji melalui pengamatan dan perhitungan waktu berdasarkan program looping di mikrokontroler yang ditampilkan pada serial monitor. Pengujian dilakukan menggunakan driver motor DRV8825 dengan mode full-step. Berikut adalah hasil pengujian motor stepper.

Tabel 4. 9 Pengujian Motor Stepper

No	Step	Jumlah dan Arah Putaran	Kecepatan (Step/s)	Waktu (s)	Kecepatan Aktual (step/s)	Error Kecepatan (%)
1	200	1 kali CW	300	0,774	295,648	1,450
2	-400	2 kali CCW	400	1,155	395,602	1,099
3	600	3 kali CW	500	1,302	498,158	0,368
4	-800	4 kali CCW	600	1,450	595,108	0,815
5	1000	5 kali CW	800	1,343	775,789	3,026
Rata-rata Error (%)						1,351

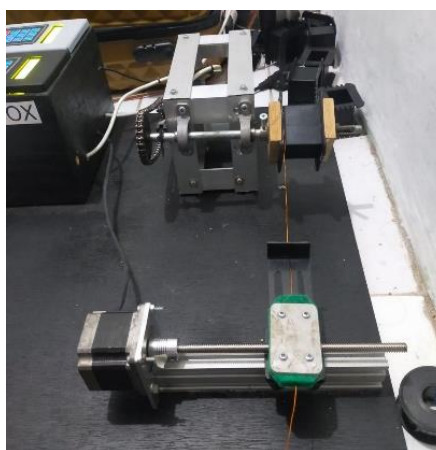
Berdasarkan hasil pengujian diatas, dapat disimpulkan bahwa arah putaran motor stepper dipengaruhi oleh jumlah langkah yang terprogram. Jika jumlah langkah bernilai positif, motor stepper akan berputar searah jarum jam, dan sebaliknya. Sedangkan kecepatan yang dihasilkan oleh motor stepper memiliki perbedaan atau error dengan rata rata 1,351 %. Kemudian jumlah putaran yang dihasilkan telah sesuai dengan spesifikasi yang dimiliki motor stepper. Hasil pengujian menunjukkan bahwa jumlah putaran yang dihasilkan oleh motor stepper sesuai dengan spesifikasi yang dimiliki. Artinya, motor stepper mampu melakukan putaran sesuai dengan perintah yang diberikan dan memiliki keandalan dalam menjalankan fungsi tersebut.

4.4 Pengujian Hasil Keseluruhan Alat

Pengujian alat ini bertujuan untuk menentukan tingkat ketelitian alat atau tingkat kesesuaian pengukuran terhadap nilai sebenarnya. Untuk melakukan pengujian ini akan dilakukan dengan beberapa tahapan sebagai berikut.

4.4.1. Proses Lilitan Counter

Pada tahapan pertama ini ada beberapa syarat pada pengujian penggulung lilitan ini yaitu posisikan bantalan kawat sejajarkan dengan titik pertama pada koker yang akan digulungkan, seperti pada gambar 4.6.



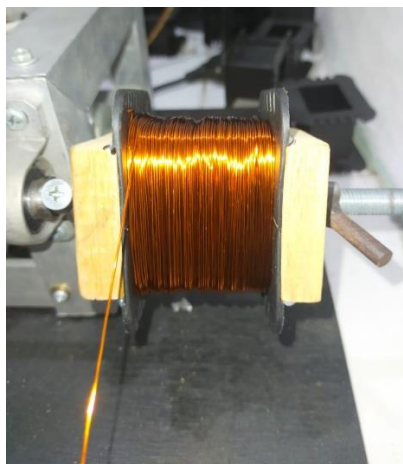
Gambar 4. 6 Aturan Pelilitan

Pada tahap berikutnya memasukan input jumlah lilitan counter yang akan dibutuhkan, dilanjutkan dengan memasukan input parameter yaitu berapa lebar pada bobin koker dan kawat email dengan diameter yang dibutuhkan sebagai berikut.



Gambar 4. 7 Input Limit dan Parameter Setup

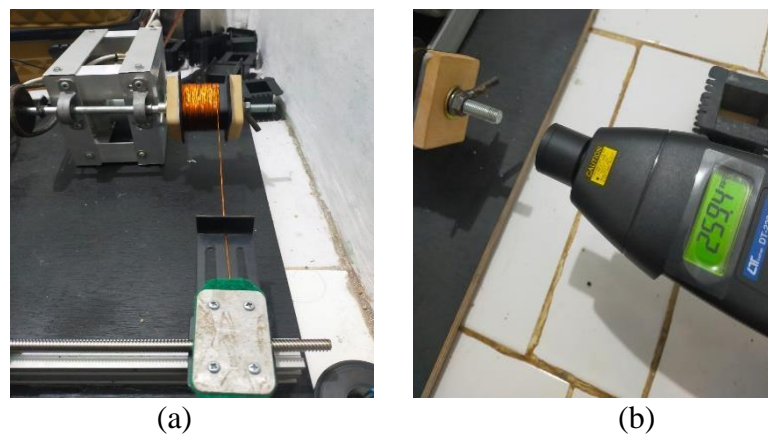
Ketika selesai pengiputan pada input limit dan parameter setup ,selanjutnya menekan tombol (#) pada keypad maka alat akan berjalan secara otomatis menggulungkan lilitan kawat pada koker sesuai dengan perintah yang akan mengcounter putaran sesuai set point. Berikut hasil penggulungan lilitan kawat yang sudah diuji coba pada gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Hasil Penggulung Lilitan Kawat

4.4.2. Pengujian keakurasian Alat

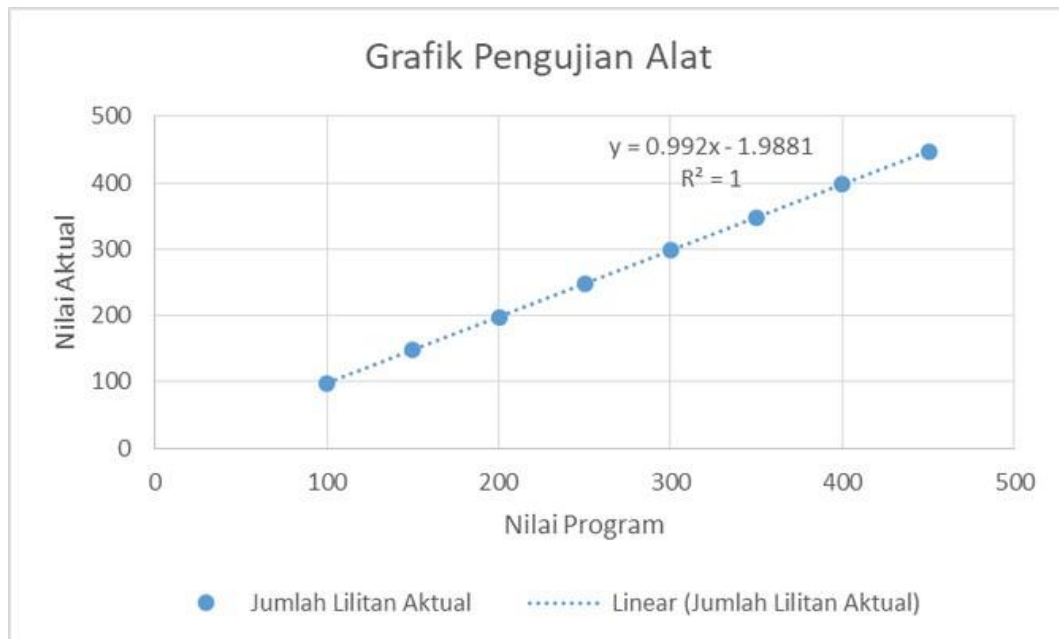
Tujuan dari kontrol presisi alat ini adalah untuk menentukan tingkat ketelitian alat. Uji coba alat ini dengan membandingkan antara nilai setting jumlah putaran dengan nilai sebenarnya. Pengukuran dilakukan pada mesin penggulung dengan fokus pada ketelitian gulungan yang dihasilkan oleh putaran mesin gulung (nilai sebenarnya) terhadap nilai setting putaran yang diinginkan.



Gambar 4. 9 (a) Penggulungan lilitan, (b) Pengujian Rpm

Tabel 4. 10 Pengukuran jumlah putaran otomatis dan aktual serta lama penggulangan

No	Jumlah Putaran		Rpm	Waktu (menit)	Tingkat ketelitian (%)
	Otomatis	Manual			
1	100	98	158,2	0.6	98
2	150	148	165,5	1.26	99,6
3	200	197	250,1	1.38	99,5
4	250	248	125,3	3.2	99,2
5	300	298	180,4	2.15	99,3
6	350	348	185,7	2.35	99,4
7	400	398	192.3	3.34	99,5
8	450	447	259.4	2.58	99,3
Rata-rata Ketelitian (%)					99,2



Gambar 4. 10 Grafik Pengujian Alat

Berdasarkan Dari persamaan regresi $y = 0.992x - 1.9881$, terlihat bahwa koefisien regresinya bernilai positif (0.992) ini mengindikasikan perubahan yang terjadi pada variabel banyaknya putaran otomatis untuk setiap pertambahan satu putarannya berpengaruh positif terhadap Variabel banyaknya putaran manual yaitu akan bertambah rata-rata 0.992 putaran sehingga dapat menyimpulkan bahwa tingkat akurasi dari alat ini sebesar 99.2%. Hasil ini menunjukkan bahwa alat tersebut mampu menghasilkan hasil yang konsisten dan akurat dalam mengukur jumlah putaran pada motor stepper secara otomatis.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil akhir penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

- a. Mesin penggulung lilitan kawat transformator telah menghasilkan jumlah lilitan kawat dengan baik dengan hasil pengamatan yang telah di uji coba dengan kawat berukuran diameter 0.6 mm dengan koker 32x45mm.
- b. Pada mesin penggulung lilitan kawat transformator ini memiliki ketelitian yang cukup tinggi, hasil kesesuaian antara jumlah putaran aktual dan jumlah putaran setting gulungan dengan tingkat akurasi sebesar 99.2%.
- c. Otomatisasi dalam mesin penggulung lilitan kawat telah menghasilkan kinerja yang lebih tinggi dengan kecepatan yang konsisten. Hal ini memungkinkan produksi lilitan kawat menjadi lebih cepat dibandingkan dengan proses manual.

Hal ini menandakan bahwa peneliti berhasil merancang dan membangun mesin penggulung lilitan kawat transformator otomatis yang bertujuan untuk mempermudah proses pembuatan koker transformator. Penelitian ini berhasil mengembangkan mesin penggulung lilitan kawat transformator otomatis berbasis Arduino ATmega328p dengan ketelitian penggulangan rata-rata sebesar 99,2% Mesin ini mampu mengatur kecepatan putaran secara manual dan memberikan akurasi jumlah lilitan yang tinggi pada kawat diameter 0.6 mm yang digulung pada koker berukuran 32x45 mm dengan variasi jumlah lilitan.

5.2 Saran

Saran untuk pembaca dan pengembang yang ingin mengembangkan alat ini bisa menambahkan HMI (*Human Machine Interface*) agar lebih mudah dioperasikan dengan layar *touchscreen* yang akan lebih memudahkan saat penginputan bagi pengguna.