

BAB II

DASAR TEORI

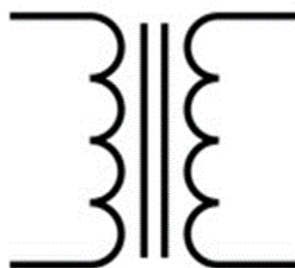
2.1 Tinjauan Pustaka

Proses penyusunan proposal tugas akhir ini disusun melalui tinjauan beberapa referensi topik yang diangkat diantaranya ialah “Perhitungan Efisiensi Transformator” dijelaskan bahwa transformator mengalami rugi inti dan rugi tembaga, sehingga efisiensi tidak pernah mencapai 100% [1]. Efisiensi dapat dihitung dengan membandingkan daya yang masuk dan daya yang keluar. Pemahaman ini menjadi dasar penting untuk mengetahui seberapa baik sebuah transformator bekerja.

Kemudian pada penyusunan proposal ini juga mengambil referensi dari “*Experimental Analysis of Transformer Efficiency in Relation to Load Resistance*” menunjukkan bahwa perubahan resistansi beban menghasilkan variasi tegangan, arus, dan daya yang berdampak langsung pada nilai efisiensi [2]. Beberapa penelitian juga menekankan bahwa material inti transformator dapat memengaruhi rugi magnetik dan stabilitas tegangan [3]. Berdasarkan penelitian ini, perancangan alat uji berbasis Arduino dapat dilakukan untuk mengukur tegangan, arus, daya, dan efisiensi secara efektif dan akurat.

2.2 Teori Dasar Transformator

Transformator adalah suatu peralatan listrik statis yang digunakan untuk memindahkan energi listrik dari satu rangkaian ke rangkaian lainnya melalui prinsip induksi elektromagnetik. Proses pemindahan energi ini terjadi tanpa adanya hubungan listrik secara langsung antara kumparan primer dan kumparan sekunder.



Gambar 2. 1 Simbol Trafo

Ketika arus bolak-balik mengalir pada kumparan primer, akan timbul fluks magnetik pada inti besi. Perubahan fluks magnetik tersebut kemudian menginduksi tegangan pada kumparan sekunder sesuai dengan teori Hukum Faraday, dimana persamaannya seperti berikut :

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

Pada simbol e menyatakan gaya gerak listrik yang diinduksikan dalam satuan volt (V), simbol N menyatakan jumlah lilitan kumparan, simbol $d\Phi$ menyatakan perubahan fluks magnetik (Wb), dan simbol dt menyatakan perubahan waktu dalam satuan detik (s) [6]. Secara ideal, hubungan antara tegangan dan jumlah lilitan dapat dinyatakan dalam persamaan perbandingan transformasi, berhubungan dengan arus dan pada kondisi keseimbangan daya ideal seperti berikut :

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \text{ atau } \frac{I_p}{I_s} = \frac{N_p}{N_s} \text{ atau } P_{in} = P_{out}$$

Keterangan simbol pada persamaan transformator adalah V_p dan V_s masing-masing menyatakan tegangan primer dan sekunder dalam satuan Volt, sedangkan I_p dan I_s menyatakan arus primer dan sekunder dalam satuan Ampere. Jumlah lilitan pada sisi primer dan sekunder dinyatakan dengan N_p dan N_s . Daya masukan transformator dinyatakan sebagai P_{in} dan daya keluaran sebagai P_{out} , keduanya dalam satuan Watt. Namun dalam praktiknya, terdapat rugi-rugi daya yang menyebabkan daya keluaran lebih kecil dibanding daya masukan, sehingga perlu dilakukan analisis performa transformator secara menyeluruh [6], [7].

2.2.1 Transformator Step Down

Transformator step down merupakan transformator yang berfungsi menurunkan tegangan dari sisi primer ke sisi sekunder. Penurunan tegangan ini terjadi karena jumlah lilitan sekunder lebih sedikit dibandingkan lilitan primer, sehingga berlaku hubungan rasio transformasi seperti berikut :

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}, \text{ dimana } N_s < N_p \Rightarrow V_s < V_p$$

Sedangkan hubungannya berbanding terbalik terhadap jumlah lilitan seperti berikut :

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

sehingga pada transformator step down berlaku $I_s < I_p$. Transformator jenis ini banyak digunakan pada sistem distribusi tenaga listrik dan peralatan kontrol yang memerlukan tegangan lebih rendah untuk kepentingan aspek keselamatan dan spesifikasi peralatan [7]. Kinerja transformator step down dipengaruhi oleh kualitas material inti dan konduktor. Material inti dengan sifat magnetik yang baik dapat meminimalkan rugi inti, sedangkan konduktor dengan resistansi rendah dapat menekan rugi tembaga. Desain konstruksi seperti tipe inti dan susunan lilitan turut menentukan efisiensi serta kestabilan tegangan keluaran, sehingga perancangannya harus disesuaikan dengan kebutuhan sistem [8].

2.2.2 Efisiensi Transformator

Efisiensi transformator digunakan untuk menilai seberapa baik perangkat tersebut mentransfer daya listrik dari sisi primer ke sisi sekunder. Besarnya efisiensi dinyatakan dalam persen dan diperoleh dari perbandingan antara daya keluaran terhadap daya masukan dikalikan 100% [9]. Dalam praktiknya, nilai efisiensi tidak dapat mencapai 100% karena adanya rugi-rugi daya selama proses kerja transformator. Besar kecilnya efisiensi juga dipengaruhi oleh kondisi pembebanan. Transformator biasanya memiliki titik beban tertentu dimana efisiensi berada pada nilai maksimum, sedangkan pada beban yang terlalu ringan maupun terlalu berat, efisiensi cenderung menurun. Oleh karena itu, pengujian pada beberapa variasi beban diperlukan untuk memperoleh gambaran kinerja transformator secara menyeluruh [9], [10].

Pada dasarnya pengujian efisiensi alat ini dirancang untuk mengukur dan menganalisis performa transformator dengan memproses data yang dikumpulkan sensor. Arus yang masuk dan keluar akan diukur dengan sensor arus sedangkan sensor tegangan akan mengukur tegangan AC yang masuk. Kedua data dari sensor tersebut akan dikumpulkan untuk perhitungan daya input dan output transformator.

Pada daya input dan output akan dihitung berdasarkan data yang diperoleh dari sensor dimana :

$$P_{in} = V_{in} \times I_{in} \text{ dan } P_{out} = V_{out} \times I_{out}$$

Kemudian perhitungan efisiensi dihitung dengan cara membandingkan daya output dengan daya input menggunakan rumus:

$$Efisiensi (\%) = \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \times 100\%$$

Setelah melakukan uji efisiensi terhadap transformator step down, hasilnya akan ditampilkan secara *real-time*. Data hasil pengujian tersebut akan dikirimkan melalui komunikasi serial ke aplikasi monitoring yang berfungsi sebagai antarmuka pengguna dan alat analisis tambahan, memungkinkan visualisasi grafik dan analisis mendalam.

2.2.3 Rugi-Rugi Pada Transformator

Rugi-rugi pada transformator merupakan energi yang hilang selama proses konversi dan penyaluran daya listrik. Secara umum, rugi transformator terdiri dari rugi inti (core loss) dan rugi tembaga (copper loss). Rugi inti disebabkan oleh histeresis dan arus eddy akibat perubahan fluks magnetik pada inti besi, serta relatif konstan karena dipengaruhi oleh tegangan dan frekuensi [4]. Rugi histeresis dan eddy dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_h = k_h \cdot f \cdot B_{max}^n \text{ dan } P_e = k_e \cdot f^2 \cdot B_{max}^2 \cdot t^2$$

sehingga total rugi inti adalah $P_{core} = P_h + P_e$ [4]. Pada persamaan tersebut, P_h , P_e , dan P_{core} menyatakan daya rugi dalam satuan Watt (W), k_h dan k_e merupakan konstanta yang bergantung pada jenis material inti, f adalah frekuensi dalam satuan Hertz (Hz), B_{max}^n adalah fluks magnet maksimum dalam satuan Tesla (T), t adalah ketebalan tiap lembaran laminasi inti dalam satuan meter (m) dan n adalah konstanta material tanpa satuan. Sementara itu, rugi tembaga terjadi akibat resistansi lilitan yang dialiri arus listrik dan besarnya sebanding dengan kuadrat arus beban [5], [6]. Secara matematis dapat dirumuskan sebagai $P_{cu} = I^2 R$ kemudian untuk kedua sisi transformator adalah $P_{cu} = I_p^2 R_p + I_s^2 R_s$, dimana dalam P_{cu}

Smenyatakan rugi tembaga dalam satuan Watt (W), kemudiaan pada I , I_p , dan I_s adalah arus listrik dalam satuan Ampere (A), sedangkan R , R_p , dan R_s adalah resistansi lilitan dalam satuan Ohm (Ω).

2.3 Arduino UNO R3

Arduino UNO R3 merupakan jenis Arduino UNO yang dikeluarkan pada tahun 2011. R3 merupakan revisi yang ketiga dari Arduino Uno. Arduino UNO R3 menggunakan mikrokontroler yang dikontrol melalui mikroprosesor ATmega328. Mikrokontroler tersebut merupakan mikrokontroler 8 bit. Chip ATmega328 yang terdapat pada Arduino UNO R3 ini diisi program awal yang sering disebut *bootloader* yang bertugas untuk memudahkan dalam melakukan pemrograman dan lebih sederhana menggunakan Arduino Software, tanpa harus menggunakan tambahan hardware lain. Software yang digunakan dalam Arduino UNO R3 ini ialah Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) yang membantu dalam membuat program, mengompilasinya, dan mengunggahnya ke Chip ATmega [11].



Gambar 2. 2 Arduino UNO R3

Saat ini, Arduino banyak digunakan sebagai mikrokontroler karena kemudahan dalam penggunaannya. Papan sirkuit dengan chip ini dapat dimasukkan instruksi atau program untuk melakukan banyak tugas. Arduino adalah salah satu fungsi yang membaca informasi dari perangkat input seperti sensor ultrasonik dan potensiometer, dan juga dapat mengirim data ke perangkat yang digunakan sebagai output [7]. Arduino UNO memiliki 6 buah input analog, yang diberi tanda dengan A0, A1, A2, A3, A4, A5 dimana masing-masing pin analog tersebut memiliki

resolusi 10-bit jadi bisa memiliki rentang 0 – 1024 pada nilai ADC (*Analog to Digital Converter*). Secara umum, pin-pin tersebut diukur dari *ground* ke 5V, tetapi bisa juga menggunakan pin AREF dengan menggunakan fungsi `analogReference()`.

Tabel 2. 1 Spesifikasi Arduino UNO

Spesifikasi	Keterangan
Mikrokontroler	ATmega328P
Tegangan Operasi	5V
Tegangan Input	7 - 12V
Batas Tegangan Input	6 - 20V
Pin I/O Digital	14 (6 di antaranya untuk output PWM)
Pin Input Analog	6
Arus DC per Pin I/O	20mA
Arus DC untuk Pin 3.3V	50mA
Flash Memory	32 KB, 0,5 KB Bootloader
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock Speed	16 MHz

2.4 Slide Regulator

Slide regulator merupakan salah satu jenis regulator tegangan yang digunakan dalam berbagai aplikasi elektronik untuk mengatur dan menstabilkan tegangan output. Perangkat ini menyediakan tegangan yang konstan meskipun terjadi perubahan beban atau variasi tegangan input. Slide regulator bekerja dengan cara mengubah resistansi internalnya untuk menyesuaikan tegangan output sesuai dengan kebutuhan beban.



Gambar 2. 3 Slide Regulator

Slide regulator dilengkapi dengan *switch* petunjuk skala tegangan, mulai dari 0-260V. Regulator ini menggunakan prinsip *feedback* (umpan balik) dalam mendeteksi perubahan tegangan output dan kemudian mengoreksinya secara *real-time*. Dengan demikian, slide regulator mampu menjaga tegangan output tetap stabil dalam berbagai kondisi operasional. Slide regulator terdiri dari beberapa komponen utama inti toroid, lilitan tembaga, sikat karbon, lengan ayun, dan blok terminal.

2.4.1 Inti Toroid (*Toroidal Core*)

Komponen ini merupakan jantung dari regulator yang menggunakan material baja silikon berlaminasi dengan geometri menyerupai donat. Pemilihan bentuk toroidal didasari pada kemampuannya meminimalkan kebocoran fluks magnetik secara signifikan, sehingga menghasilkan efisiensi daya yang lebih optimal dan desain yang lebih kompak.

2.4.2 Lilitan Tembaga (*Winding*)

Menggunakan kawat tembaga berisolasi email (*enameled*) yang didistribusikan secara presisi pada seluruh badan inti toroid. Pada area lintasan sikat karbon, lapisan isolasi dikupas guna memfasilitasi kontak elektrik langsung antara kumparan dan mekanisme pengatur tegangan.

2.4.3 Sikat Karbon (*Carbon Brush*)

Elemen kontak geser berbasis grafit ini berfungsi untuk menentukan titik *tap* pada kumparan. Berdasarkan posisi mekanisnya, sikat karbon memodulasi jumlah lilitan efektif yang digunakan, yang secara matematis meregulasi tegangan keluaran

sesuai dengan rasio transformasi lilitan terhadap tegangan masukan dengan menggunakan rumus, $V_{out} = V_{in} \times \frac{N_{out}}{N_{in}}$.

2.4.4 Lengan Ayun (*Sliding Arm*)

Merupakan poros mekanis yang mengintegrasikan *knob* kendali dengan sikat karbon. *Sliding Arm* berfungsi untuk menjaga konsistensi tekanan kontak pada permukaan kumparan guna mencegah terjadinya *arcing* atau percikan api yang dapat merusak material.

2.4.5 Blok Terminal & Proteksi

Terminal dirancang untuk mengakomodasi beban arus hingga 4,5A pada kapasitas 1000VA serta dilengkapi untuk kabel input 220VAC dan output 0-260V. Sistem ini didukung oleh pelindung luar (*casing*) dan sekring (*fuse*) sebagai langkah preventif terhadap bahaya beban lebih maupun kegagalan sistem yang dapat membahayakan pengguna.

2.5 Software Delphi

Delphi merupakan bahasa pemrograman (*development language*) yang digunakan untuk merancang suatu aplikasi program. Delphi termasuk dalam pemrograman bahasa tingkat tinggi (*high level language*) yang mudah dipahami oleh manusia. Bahasa pemrograman Delphi disebut dengan bahasa prosedural. Delphi merupakan generasi penerus dari Turbo Pascal.



Gambar 2. 4 Delphi 7

Delphi merupakan bahasa pemrograman yang dikembangkan untuk berjalan pada sistem operasi Windows dan mampu memanfaatkan berbagai fasilitas yang tersedia di dalamnya. Aplikasi pengguna dapat membangun aplikasi berbasis client-server maupun stand alone, mengakses basis data, mengembangkan aplikasi multimedia, hingga mengendalikan perangkat eksternal [12]. Keunggulan Delphi terletak pada tingkat produktivitas yang tinggi, proses kompilasi yang cepat, serta dukungan bahasa Object Pascal yang terstruktur dan berorientasi objek sehingga memudahkan pengembangan perangkat lunak.

Sebagian besar proses penulisan dan kompilasi program dilakukan melalui Integrated Development Environment (IDE). Lingkungan ini menyediakan berbagai fasilitas untuk merancang antarmuka, menulis kode, melakukan pengujian, mendeteksi kesalahan, hingga mendistribusikan aplikasi [13]. Dengan adanya IDE, proses pembuatan prototipe menjadi lebih efisien dan waktu pengembangan aplikasi dapat ditekan karena seluruh komponen pendukung telah terintegrasi dalam satu lingkungan kerja.

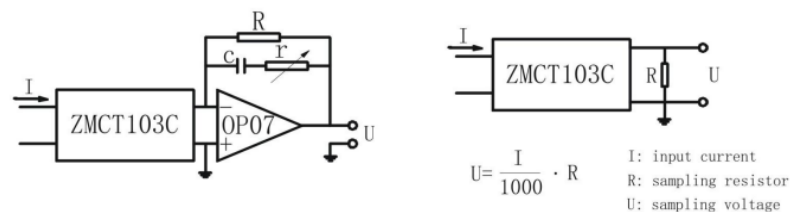
2.6 Sensor ZMCT103C

Sensor ZMCT103C merupakan sensor berbasis trafo arus yang di produksi oleh Nanjing Zeming Electronics Co., Ltd., di China. Sensor ini mampu mengukur arus tegangan AC satu fase. Meskipun memiliki dimensi yang kecil namun sensor ini mampu mengukur sampai dengan 5A dengan akurasi yang tinggi dan keluaran yang proporsional berupa arus AC [14]. Sensor ZMCT103C akan menghasilkan output berupa tegangan dari 0 – 5 Volt.



Gambar 2. 5 Sensor ZMCT103C

Tegangan tersebut dijadikan sebagai input analog pada pin analog Arduino. Kemudian, untuk mendapatkan nilai arus tersebut maka perlu dilakukan konversi data analog menjadi nilai arus menggunakan program IDE Arduino [15]. Arus yang dihasilkan oleh sensor ini perlu disearahkan menggunakan rangkaian penyearah gelombang penuh agar dapat dibaca oleh mikrokontoler. Untuk menentukan apakah hasil pengukuran sensor arus dengan nilai arus yang diukur maka perlu dilakukan proses kalibrasi yang membandingkan hasil pengukuran sensor arus dengan multimeter digital [16].



Gambar 2. 6 Skematik Diagram Sensor ZMCT103C

Prinsip kerja ZMCT103C didasarkan pada konversi arus primer ke sekunder dengan perbandingan 1000:1, yang didukung oleh inti feromagnetik berefisiensi tinggi untuk menjaga linearitas pembacaan. Penggunaan sensor ini memberikan keamanan ekstra bagi sirkuit kontrol melalui isolasi galvanis yang mampu menahan tegangan hingga 4500V. Agar sinyal analog yang dihasilkan dapat diproses oleh mikrokontroler, arus keluaran harus diubah menjadi tegangan menggunakan sampling resistor dan diberikan pengkondisian sinyal berupa *offset voltage*. Hal ini diperlukan untuk memastikan gelombang sinus sinusoidal dari sensor berada dalam rentang pembacaan ADC yang hanya mendukung nilai positif, sehingga data arus dapat dikalkulasi secara akurat oleh sistem.

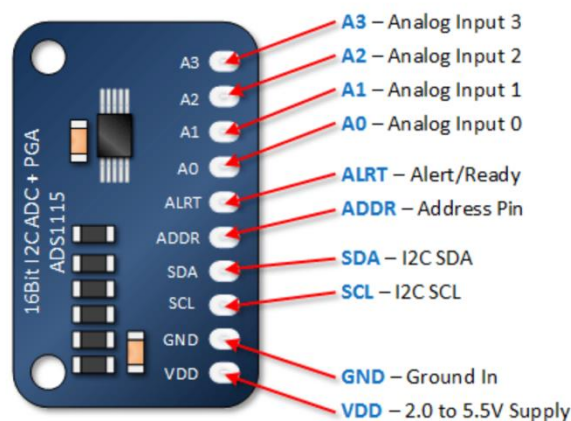
Tabel 2. 2 Spesifikasi ZMCT103C

Parameter	Nilai
Arus Input Nominal	5 A
Arus Output Nominal	5 mA
Rasio Transformasi	1000 : 1

Rentang Pengukuran	0 – 10 A
Linearitas	$\leq 0.2\%$
Kesalahan Sudut Fase	$\leq 15'$ Menit busur
Tegangan Isolasi	4500 V
Resistansi Beban Ideal	10 – 100 Ohm
Temperatur Operasional	$-40^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$

2.7 Modul ADS1115

Modul ADS1115 merupakan sebuah converter yang berperan mengubah sinyal dari bentuk analog ke digital atau disebut juga ADC (*Analog-to-Digital Converter*) [17]. Berfungsi sebagai pembacaan juga *Analog-to-Digital*, modul ini mampu membaca tegangan pengukuran berbagai sinyal mulai dari 2V hingga 5V dengan menggunakan komunikasi 12C (*Inter-Integrated Circuit*) untuk menghemat pin dan jalur kabel serta memiliki resolusi hingga 16 bit.



Gambar 2. 7 Module ADS1115

Oleh karena itu, nilai ketelitian yang dimiliki oleh modul ini lebih baik daripada resolusi bit dibawahnya. Modul ini memiliki fitur Programable Gain Amplifier (PGA) yang dapat memperkuat sinyal pada input analog [18]. Modul ADS1115 memiliki pin ADDR yang berfungsi untuk mengatur alamat perangkat pada bus 12C serta memiliki 4 alamat berbeda yang terdiri dari VDD, GND, SCL, dan SDA.

2.8 Sensor Tegangan

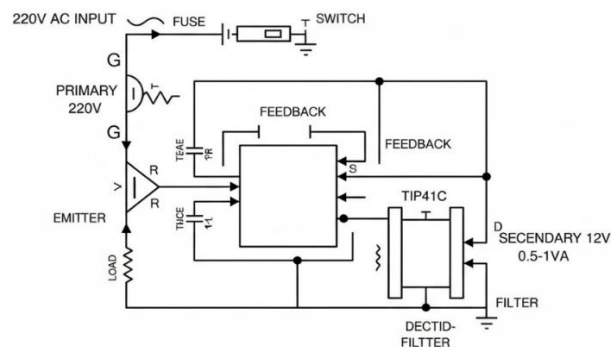
Dalam penelitian ini sensor tegangan yang dipakai adalah trafo feedback inverter berdaya 0,5 VA dengan spesifikasi 220V/12V. Meskipun trafo tersebut umumnya digunakan sebagai komponen umpan balik pada rangkaian *inverter*, trafo ini dimanfaatkan sebagai sensor tegangan karena mampu memberikan isolasi galvanik antara sisi primer dan sekunder. Penggunaan sensor tegangan ini memiliki beberapa keunggulan, seperti tingkat keamanan yang baik akibat adanya isolasi, serta resistansi terhadap gangguan noise dari jaringan listrik. Dalam konteks alat uji efisiensi transformator berbasis Arduino, sensor tegangan menggunakan trafo 220V/12V ini digunakan untuk mengukur tegangan primer dan sekunder pada transformator.



Gambar 2. 8 Trafo *Feedback Inverter*

Transformator jenis kecil seperti ini pada dasarnya dirancang untuk fungsi umpan balik pada rangkaian inverter, namun sifat kerjanya yang stabil terhadap perubahan tegangan masukan menjadikannya efektif digunakan sebagai elemen pengukuran tegangan AC. Dengan daya hanya 0,5 VA, arus yang mengalir melalui lilitan primernya relatif kecil sehingga risiko kerusakan atau pemanasan berlebih sangat rendah, menjadikannya cocok untuk aplikasi sensor yang membutuhkan keamanan dan ketahanan terhadap fluktuasi jala-jalar. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa transformator penurun tegangan dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi nilai RMS tegangan AC ketika dipadukan dengan rangkaian pengkondisi sinyal yang sesuai, dan hasil pembacaannya masih berada dalam batas toleransi alat ukur mikrokontroler [19]. Hal ini sejalan dengan temuan lain yang

menyatakan bahwa transformator dengan rasio penurunan tegangan serupa mampu menghasilkan keluaran yang stabil dan dapat diolah kembali untuk *monitoring* tegangan dalam sistem proteksi maupun pengujian transformator, dengan tingkat kesalahan yang cukup kecil, yaitu sekitar $\pm 0,49\%$ [20].



Gambar 2. 9 Skematik Diagram Trafo *Feedback Inverter*

Rangkaian sistem mengadopsi prinsip osilasi frekuensi tinggi yang memanfaatkan transistor TIP41C atau transistor bipolar (BJT) yang dirancang khusus untuk menangani arus dan tegangan tinggi dalam aplikasi penguat daya (*amplifier*) yang berfungsi sebagai komponen pensakelaran utama guna menginduksi tegangan pada lilitan primer transformator. Stabilitas output pada rentang 12V dengan daya rendah (0.5-1VA) dijaga secara konsisten melalui mekanisme *closed-loop feedback* yang memonitor tegangan sekunder secara real-time. Dengan adanya integrasi pengaman berupa sekering serta unit filtrasi, rangkaian ini tidak hanya mampu menghasilkan konversi energi yang efisien untuk aplikasi sensor presisi, tetapi juga memiliki ketahanan terhadap fluktuasi beban melalui pengaturan durasi switching yang dinamis pada bagian kontroler.

Tabel 2. 3 Spesifikasi Trafo *Feedback Inverter*

Parameter	Nilai
Tegangan Primer	220 VAC
Tegangan Sekunder	12 VAC
Daya Nominal	1-5 Watt
Frekuensi	50-60 Hz
Arus Sekunder Maksimal	80-400 mA

2.9 Motor DC Gearbox

Motor DC (*Direct Current*) atau disebut juga dengan Motor DC merupakan sebuah penggerak dengan torsi yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Terdapat dua kumparan untuk menggerakkan motor DC, yaitu kumparan medan yang berfungsi sebagai penghasil medan magnet dan kumparan jangkar yang berfungsi sebagai pencipta gerak listrik [21]. Motor DC ini dilengkapi dengan gearbox (*gear reduction*) bawaan sehingga dapat menghasilkan torsi yang lebih besar dengan kecepatan putaran yang lebih rendah.



Gambar 2. 10 Motor DC Gearbox

Pada dasarnya, mesin DC sama dengan mesin AC, hanya saja mesin DC memiliki komutator yang berfungsi mengubah tegangan bolak-balik menjadi tegangan searah. Salah satu cara menilai kinerja motor DC adalah dengan melihat besarnya arus dan kecepatan pada kondisi awal sebelum dilakukan pengaturan atau perubahan. [22]. Motor DC banyak dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi karena dapat dioperasikan baik secara dinamis maupun statis. Kemampuannya bekerja pada rentang kecepatan yang luas menjadikan motor DC sebagai pilihan yang fleksibel untuk berbagai kebutuhan [23].

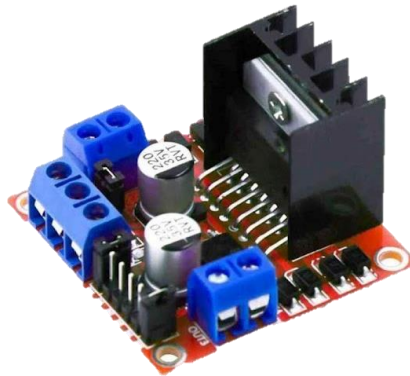
Tabel 2. 3 Spesifikasi Motor DC Gearbox

Parameter	Nilai
Operating voltage	6 ~ 15VDC
Nominal voltage	12 VDC

Kecepatan Tanpa Beban	50 / 100 / 300*RPM
Arus Tanpa Beban	$\leq 200\text{mA}$
Arus Nominal	1.0 – 1,5
Torsi Henti (Stall)	2000 – 4000 (2 - 4 Nm) mN.m
Arus Henti (Stall)	3.5 – 5.0 A

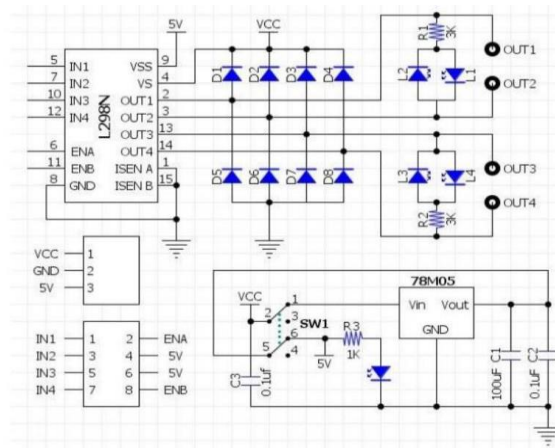
2.10 Driver Motor L298N

Driver motor L298N adalah modul pengendali yang digunakan untuk mengatur pengoperasian motor DC maupun motor stepper, khususnya dalam pengaturan arah dan kecepatan putaran motor [24]. Modul ini menggunakan IC L298N sebagai komponen utama, yang didukung oleh rangkaian logika transistor untuk mengendalikan arah rotasi motor DC. Driver L298N dapat beroperasi dengan baik apabila diberikan catu daya dengan tegangan kerja sebesar 12 V dan 5 V.



Gambar 2. 11 Driver L298N

Keunggulan dari driver motor L298N terletak pada kemampuannya dalam mengatur kecepatan serta arah putaran motor sesuai dengan program yang diimplementasikan pada papan Arduino. Pengaturan kecepatan motor dilakukan dengan memanfaatkan teknik Pulse Width Modulation (PWM) [25]. Berikut rangkaian skematik dari driver L298N.



Gambar 2. 12 Skematik L298N

Selain dari skematik yang menjadi kita tahu bagaimana cara kerja terperinci dari L298N, Tabel 2.7 merupakan spesifikasi dari driver motor L298N:

Tabel 2. 4 Spesifikasi Driver L298N

Parameter	Nilai
<i>Input Voltage</i>	3,2V – 40V
<i>Driver</i>	Driver Motor L298N <i>Dual H Bridge</i>
Catu Daya	5V
<i>Operating Current</i>	2 Ampere
<i>Peak Current</i>	3 Ampere
<i>Operating Current</i>	0 – 36 mA
Daya maksimum (ketika suhu 75°C)	20 Watt
Suhu penyimpanan	-25°C ~ 130°C

2.11 Dummy Load

Resistor dummy load atau biasa disebut beban semu merupakan beban buatan yang digunakan untuk mensimulasikan pembebanan pada sistem kelistrikan tanpa menggunakan beban sebenarnya. Dalam pengujian transformator, dummy load berbasis resistor dipilih karena memiliki sifat resistif murni, sehingga daya yang diserap sepenuhnya berupa daya aktif dengan faktor daya mendekati satu. Kondisi ini mempermudah proses analisis parameter listrik seperti tegangan, arus, daya

keluaran, serta perhitungan efisiensi transformator. Penggunaan beban resistif juga umum diterapkan dalam pengujian performa transformator karena menghasilkan data pengukuran yang lebih stabil dan mudah dianalisis [26].



Gambar 2. 13 Resistor Dummy Load

Resistor dummy load dengan rentang hambatan 0–6 Ω memungkinkan pengaturan variasi beban secara bertahap, mulai dari kondisi tanpa beban hingga mendekati beban penuh. Semakin kecil nilai resistansi yang digunakan, maka arus beban yang mengalir pada sisi sekunder transformator akan semakin besar sesuai dengan hukum Ohm. Oleh karena itu, variasi nilai resistor dummy load dapat digunakan untuk mengamati pengaruh pembebanan terhadap kinerja transformator, seperti perubahan arus, penurunan tegangan keluaran, dan besarnya daya yang disalurkan. Metode pengujian menggunakan dummy load resistif ini banyak digunakan dalam pengujian efisiensi transformator karena aman, terkontrol, dan memberikan hasil yang cukup akurat [27]. Berikut spesifikasi pada resistor dummy load yang dipakai :

Tabel 2. 5 Spesifikasi Dummy Load

Parameter	Nilai
Rentang Resistansi	0 – 6 Ω
Daya Dihasilkan	400W – 3000W MAX
Toleransi Resistansi	$\pm 5\%$
Jenis Resistor	Wirewound / Power Resistor
Pendinginan	Heatsink / Pendingin Alami

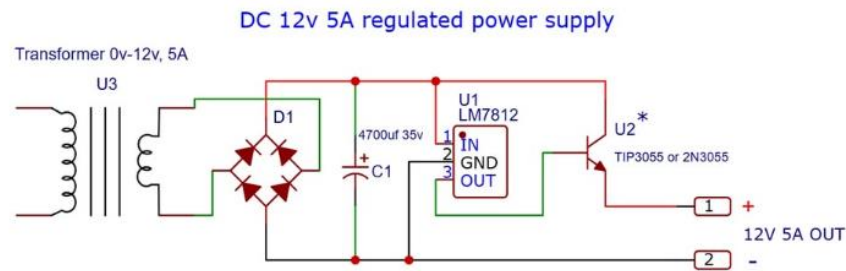
2.12 Power Supply

Power Supply atau bisa disebut dengan catu daya merupakan bagian penting dalam elektronika dimana fungsinya sebagai sebuah perangkat atau komponen yang menyuplai tegangan maupun arus [28]. Terdapat dua sumber power supply yaitu sumber AC dan sumber DC. Sumber AC merupakan sumber tegangan bolak-balik sedangkan sumber tegangan DC merupakan sumber tegangan searah [23].



Gambar 2. 14 Power Supply 12V 5A

Power supply juga dapat disebut sebagai *Electric Power Converter* karena pada umumnya digunakan sebagai pemasok tegangan listrik yang dibutuhkan oleh rangkaian listrik, yaitu arus searah. Selain itu, power supply juga membutuhkan sumber listrik untuk dapat digunakan, sehingga dapat dikatakan bahwa power supply merupakan converter tegangan listrik [29]. Berdasarkan fungsinya, power supply dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu *Unregulated Power Supply* merupakan catu daya yang apabila tegangan maupun arusnya akan berubah apabila tegangan maupun arus dari beban atau sumber tegangan mengalami perubahan. *Regulated Power Supply* merupakan catu daya yang dapat menjaga kestabilan tegangan maupun arus listrik apabila tegangan maupun arus dari beban atau sumber mengalami perubahan. *Adjustable Power Supply* merupakan catu daya yang penggunaannya arus maupun tegangannya dapat diatur oleh kontrol yang terdapat pada catu daya.



Gambar 2. 15 Skematik Power Supply

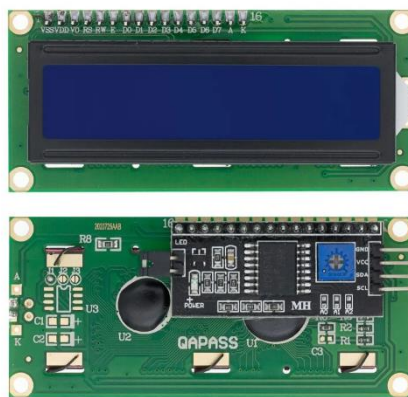
Sistem pencatu daya utama pada penelitian ini menggunakan unit SMPS (*Switching Mode Power Supply*) berkapasitas 12V 5A (60W). Pemilihan teknologi SMPS didasarkan pada keunggulannya dalam hal efisiensi konversi energi yang tinggi serta dimensi fisik yang lebih kompak dibandingkan trafo linear konvensional [30]. Unit ini dilengkapi dengan desain *casing* jaring yang berfungsi sebagai sistem pendinginan pasif yang bertujuan untuk mencegah terjadinya panas berlebih (*overheat*) selama operasional. Selain itu, perangkat ini memiliki kemampuan regulasi tegangan yang sangat baik, di mana stabilitas output DC tetap terjaga meskipun terjadi fluktuasi pada tegangan masukan AC dalam rentang luas antara 110V hingga 240V.

Tabel 2. 6 Spesifikasi Power Supply

Parameter	Nilai
Tegangan Masukan (AC)	110 – 220V (<i>auto switch</i>)
Frekuensi	50 – 60 Hz
Tegangan Keluaran (DC)	12V ($\pm 10\%$)
Arus Keluaran Maksimal	5A
Daya Maksimal	60W
Efisiensi	$\geq 80\%$
<i>Ripple & Noise</i>	≤ 120 mVp-p
Regulasi Tegangan	$\pm 1\%$
Suhu Pengoperasian	-10°C - 60 °C

2.13 LCD (*Liquid Crystal Display*)

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah komponen elektronik yang dapat menampilkan kata, karakter, atau angka sebagai tampilan. LCD pada pengujian alat ini berfungsi untuk menampilkan nilai-nilai yang terbaca dari sensor tegangan, sensor arus, daya dan hasil efisiensi. LCD ini terdiri dari 4 baris dan setiap baris dapat menampilkan maksimal 20 karakter [31]. Konfigurasi pin yang terdapat pada LCD terdiri dari GND, VCC, VEE, RS, R/W, E, 8 data line dan BPL.



Gambar 2. 16 I2C Serial Interface 20x4 LCD Module

Dikarenakan pin yang ada pada LCD terlalu banyak maka digunakan I2C (*Inter-integrated circuit*) untuk mengurangi pin-pin tersebut. I2C merupakan komponen komunikasi dua arah untuk mentransfer dan menerima data. Modul I2C terdiri dari 4 pin, yaitu VCC, GND, SCL, dan SDA [32].