

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Alat Penstabil Tegangan Bolak-Balik satu fasa 220 V, 50 Hz Menggunakan *Thyristor* Dengan Daya 1,5 kVA. Penstabil Tegangan satu fasa ini dirancang menggunakan thyristor jenis *triac* BT139 dan *relay*. Alat ini terdiri dari rangkaian kontrol dan rangkaian penstabil. Pada rangkaian penstabil, *thyristor* dioperasikan dengan pengaturan sudut penyalan melalui rangkaian kontrol untuk menghasilkan tegangan keluaran yang stabil. Thyristor memanfaatkan sifat pemotongan gelombang sinus sehingga alat ini mampu memberikan *output tegangan* yang konstan secara otomatis, terlepas dari fluktuasi tegangan *input*. Perangkat ini dirancang dengan kapasitas daya sebesar 1,5 kVA dan bekerja pada rentang tegangan *input* 200–225 Volt. Tegangan *output* diukur untuk memastikan kestabilan, sementara pengujian dilakukan menggunakan beban lampu dengan kapasitas 40 W hingga 150 W untuk mengukur arus yang mengalir pada beban. Jika saklar dimatikan (*Off*), alat penstabil tegangan tidak akan berfungsi. (Feranita et al., 2016).

Rancang Bangun Alat Pengaturan Tegangan Menggunakan Autotransformator Berbasis Arduino. Penelitian ini bertujuan merancang sistem penstabil tegangan satu fasa berbasis Arduino Uno menggunakan autotransformator. Sistem ini bekerja dengan mengatur posisi *tap* autotransformator secara otomatis melalui kontrol motor DC untuk menjaga stabilitas tegangan *output* sesuai standar SPLN 72:1987, yaitu berada dalam rentang toleransi -10% hingga +5% dari tegangan nominal 220 Volt. Tegangan *input* dari saluran *power supply* yang diasumsikan berubah-ubah diterima oleh autotransformator. Tegangan *output* autotransformator dibaca oleh sensor ZMPT101B, kemudian hasil pembacaan diproses oleh Arduino Uno untuk dibandingkan dengan tegangan referensi. Data ini juga ditampilkan pada layar LCD. Jika tegangan *output* tidak sesuai dengan tegangan yang diinginkan, *relay* akan mengaktifkan motor DC untuk mengubah posisi *tap* autotransformator hingga tegangan *output* mencapai 220 Volt. (Makbul, 2020).

Rancang Bangun Penstabil Tegangan Menggunakan *Autotrafo* Berbasis Arduino Atmega 328. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah sistem pengatur tegangan listrik yang mampu mengubah tegangan *input* yang fluktuatif menjadi tegangan *output* yang stabil pada nilai 220 *Volt*. Ketidakstabilan Tegangan sering terjadi di lingkungan rumah tangga, yang disebabkan oleh berbagai faktor seperti beban berlebih, perubahan tegangan yang tidak terduga, atau pemeliharaan yang dilakukan oleh PLN, yang berpotensi merusak peralatan listrik yang ada. Sistem ini menggunakan mikrokontroler Arduino sebagai pengendali utama. Sensor PZEM-004T digunakan untuk memantau tegangan dan arus, sedangkan *relay* berfungsi untuk memutuskan arus berlebih, dan motor *Servo* digunakan untuk memutar *tap* pada *autotransformator* hingga tegangan *output* stabil pada 220 *Volt*. Sistem ini bekerja secara otomatis untuk menjaga tegangan tetap stabil dan melindungi peralatan rumah tangga dari kerusakan akibat tegangan yang tidak stabil. (Al Azmi, 2023).

Tabel 2. 1 Peneliti Terdahulu

NO	Peneliti	Judul	Kelebihan	Kekurangan
1.	(Feranita et al., 2016)	Alat Penstabil Tegangan Bolak-Balik satu fasa 220 V, 50 Hz Menggunakan <i>Thyristor</i> Dengan Daya 1,5 kVA	Alat Penstabil Tegangan ini efektif dalam menjaga kestabilan tegangan <i>output</i> di 220V meskipun ada fluktuasi pada tegangan <i>input</i> .	Namun, ada beberapa kekurangan yang perlu diperhatikan, seperti toleransi <i>output</i> yang terbatas dan ketergantungan pada komponen yang bisa aus dalam penggunaan jangka panjang.

NO	Peneliti	Judul	Kelebihan	Kekurangan
2.	(Makbuli, 2020)	Rancang Bangun Alat Pengaturan Tegangan Menggunakan Autotransformator Berbasis Arduino	Secara keseluruhan, Alat Ini Mampu menangani Fluktuasi Tegangan Dari 160 – 240VA dengan output yang di dapat batas atas dan batas bawah yang diperbolehkan -10% dan + 5% dari Tegangan 220 V.	Kekurangan dari alat ini meliputi ketergantungan pada komponen elektronik, Tidak tersedianya Penampilan <i>Realtime</i> untuk <i>memonitoring</i> tegangan . Kapasitas 1000 VA masih Kurang untuk menanggung beban rumah tangga yang menggunakan KWH dengan daya 1300.

NO	Peneliti	Judul	Kelebihan	Kekurangan
3.	(Al Azmi, 2023)	Rancang Bangun Penstabil Tegangan Menggunakan <i>Autotrafo</i> Berbasis Arduino Atmega 328	Secara keseluruhan, dengan menggunakan <i>Autotrasformer</i> dengan menggunakan motor <i>Servo</i> yang di kendalikan oleh Arduino Atmega 328, sesuai harapan. Peneliti menambahkan LCD untuk <i>Monitoring Realtime</i> , dan proteksi untuk pembatas arus.	Namun, desainnya yang kompleks dan biaya pengembangan yang tinggi menjadi tantangan utama dalam implementasinya.

2.2. Landasan Teori

2.2.1 Penstabil Tegangan *Fasa*

Penstabil tegangan (*voltage stabilizer*) adalah perangkat yang berfungsi menjaga tegangan keluaran tetap berada pada nilai yang diinginkan (umumnya 220 *Volt*) meskipun tegangan masukan dari sumber listrik mengalami fluktuasi. Alat ini bekerja dengan mendeteksi tegangan masukan, lalu melakukan koreksi secara otomatis agar tegangan yang diterima beban tetap stabil dan aman. Tujuan utamanya adalah melindungi peralatan listrik dari kerusakan dan menjaga kinerjanya tetap optimal, karena tegangan yang terlalu tinggi maupun terlalu rendah dapat memperpendek umur dan mengganggu fungsi peralatan. Penstabil tegangan AC memiliki berbagai jenis yang masing-masing memiliki cara kerja, kelebihan, dan kekurangan yang berbeda.

Servo Stabilizer, misalnya, bekerja dengan menggerakkan motor *Servo* yang mengatur posisi *wiper* pada *autotransformer variabel (Variac)* untuk menyesuaikan tegangan *output* sesuai dengan perubahan tegangan *input*.

Keunggulannya adalah akurasi tinggi dalam menjaga kestabilan tegangan , sehingga sangat cocok untuk peralatan sensitif. Namun, karena menggunakan komponen mekanis, perangkat ini memerlukan perawatan dan responnya cenderung lebih lambat dibandingkan dengan jenis *stabilizer* lainnya.

Static Voltage Stabilizer atau penstabil elektronik menggunakan kontrol elektronik seperti *Triac* atau *SCR (Silicon Controlled Rectifier)* yang berfungsi mengatur tegangan secara cepat dengan menggunakan sirkuit PWM dan transformator. Keunggulannya adalah respon yang cepat dan lebih tahan lama karena tidak memiliki komponen mekanis, membuatnya lebih efisien untuk penggunaan jangka panjang. Namun, biayanya relatif lebih mahal dibandingkan dengan penstabil elektromekanis.

Relay Type Voltage Stabilizer bekerja dengan cara memanfaatkan *relay* untuk menghubungkan transformator *step-up* atau *step-down*, menyesuaikan tegangan *output* saat terjadi fluktuasi tegangan *input*. Penstabil ini memiliki biaya yang lebih rendah dan cocok untuk aplikasi rumah tangga. Namun, karena *switching relay* yang kurang halus, peralatan sensitif mungkin tidak terjaga dengan baik, dan bisa terjadi lonjakan tegangan saat *relay* berpindah.

Ferroresonant Stabilizer menggunakan prinsip resonansi *magnetik* yang bekerja pada transformator *ferroresonansi* dan kapasitor untuk menjaga tegangan tetap stabil meskipun ada lonjakan atau penurunan tegangan yang signifikan. Kelebihan utamanya adalah stabilitas tegangan yang sangat tinggi dan perlindungan terhadap lonjakan tegangan . Namun, *stabilizer* ini memiliki desain yang besar, berat, dan tidak cocok untuk beban induktif tinggi, sehingga kurang *fleksibel* untuk beberapa aplikasi.

Uninterruptible Power Supply (UPS) adalah penstabil yang juga berfungsi sebagai sumber daya cadangan. Ia bekerja dengan mengubah energi baterai menjadi arus AC stabil menggunakan *inverter*, menjaga tegangan *stabil* dan memberikan cadangan daya ketika terjadi pemadaman listrik. Kelebihannya adalah memberikan perlindungan tambahan dengan menyediakan pasokan daya tanpa gangguan. Akan tetapi, UPS membutuhkan perawatan baterai dan biaya yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis *stabilizer* lainnya.

Tap Changer merupakan mekanisme penstabil tegangan yang prinsip kerjanya kurang lebih mirip dengan *Relay Type Volt Stabilizer*, yaitu memanfaatkan *relay* untuk memilih sadapan (*tap*) pada transformator sesuai perubahan tegangan masukan. Transformator dibuat dengan dua belas tap yang masing-masing memiliki perbandingan lilitan berbeda, sehingga setiap tap menghasilkan tegangan keluaran yang berbeda. Tegangan masukan dibaca oleh sensor, kemudian mikrokontroler memilih tap yang paling sesuai agar tegangan keluaran tetap mendekati 220 *Volt*. Ketika tegangan masukan rendah dipilih tap yang menaikkan tegangan, dan ketika tegangan masukan tinggi dipilih tap yang menurunkan tegangan, dengan hanya satu tap yang terhubung ke beban pada satu waktu.

2.2.2 Arduino Mega 2560

Mikrokontroler merupakan salah satu komponen dasar dalam sebuah sistem komputer. Sama seperti komputer, mikrokontroler berfungsi untuk menjalankan instruksi-instruksi yang telah diprogram. Komponen utama dan paling penting dalam sistem terkomputerisasi adalah program itu sendiri, yang dirancang dan dibuat oleh seorang *programmer* (Supriyanto et al., 2015).

Arduino berperan sebagai komponen utama dalam sistem penstabil tegangan satu fasa dengan fungsi mengontrol dan mengatur tegangan *output* agar tetap stabil meskipun terjadi fluktuasi pada tegangan *input*. Arduino bekerja dengan cara pertama-tama membaca tegangan *input* menggunakan sensor tegangan, seperti PZEM-004T, yang mengirimkan data tegangan secara *real-time*. Setelah data diterima, Arduino memproses informasi tersebut dan membandingkannya dengan rentang tegangan yang diinginkan. Jika tegangan *input* terlalu rendah atau tinggi, Arduino akan mengatur posisi *tap* pada transformator untuk menyesuaikan tegangan *output* agar tetap dalam batas yang stabil. Proses ini dilakukan secara otomatis dengan bantuan *relay* atau driver *switching* yang dikendalikan oleh Arduino. Arduino mampu merespon perubahan tegangan dengan cepat, mengatur *relay* untuk memilih *tap* yang sesuai, dan memastikan tegangan *output* tetap dalam kisaran yang aman untuk perangkat rumah tangga. Penggunaan Arduino dalam sistem ini memberikan keunggulan berupa otomatisasi penuh, akurasi pengukuran tegangan, dan *fleksibilitas* dalam

pemrograman, sehingga memungkinkan sistem untuk menyesuaikan diri dengan berbagai kondisi tegangan *input* tanpa intervensi manual. Dengan kemampuan untuk memantau dan mengatur tegangan secara terus-menerus, Arduino memastikan perlindungan yang optimal bagi peralatan elektronik dari fluktuasi tegangan yang dapat merusak atau mengurangi umur perangkat.



Gambar 2. 1 Arduino Mega 2560

Tabel 2. 2 Spesifikasi Arduino Mega 2560

Spesifikasi	Detail
Mikrokontroler	ATMega 2560
Tegangan Operasi	5V
Tegangan Masuk (Vin)	7-12V (direkomendasikan 9V)
Digital I/O Pins	14 pin (6 di antaranya dapat digunakan sebagai PWM)
Analog <i>Input</i> Pins	6 pin
PWM <i>Output</i> Pins	6 pin (Pin digital 3, 5, 6, 9, 10, 11)
Frekuensi Clock	16 MHz
Memori	32 KB flash memory (2 KB digunakan oleh bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Kecepatan Komunikasi Serial	9600 bps (<i>default</i> baud rate)
Komunikasi	1 UART (serial), I2C, SPI
Antarmuka USB	USB-B port
Ukuran	68.6 mm x 53.4 mm
Berat	25 g (tanpa kabel atau komponen tambahan)
<i>Power Consumption</i>	50-100 mA (tergantung pada penggunaan dan beban)

Pin <i>Relay/Driver Switching</i>	Dapat dikendalikan melalui pin digital (misalnya pin 2, 3, 4) untuk mengaktifkan <i>relay</i> atau komponen switching lain
Sensor <i>Input</i>	Dapat menghubungkan sensor analog dan digital, seperti PZEM-004T untuk mengukur tegangan

Komponen Utama yang Diperlukan

- Arduino (ATMega 2560): Mikrokontroler utama yang diprogram untuk mengatur seluruh proses penstabil tegangan .
- Sensor Tegangan dan arus (PZEM-004T): Sensor ini berfungsi untuk membaca tegangan dan arus yang masuk, lalu mengirimkan data tersebut ke Arduino untuk diproses.
- Transformator dengan *Tap*: Transformator dilengkapi beberapa *tap* tegangan , Yaitu untuk tegangan input 130 *Volt*, 140 *Volt*, 150 *Volt*, 160 *Volt*, 170 *Volt*, 180 *Volt*, 190 *Volt*, 200 *Volt*, 210 *Volt*, 220 *Volt*, 230 *Volt*, 240 *Volt* yang akan menghasilkan *output tegangan* mendekati 220 *Volt*. *Tap-tap* ini diaktifkan oleh Arduino agar sesuai dengan kondisi tegangan *input*.
- *Relay* atau *Driver Switching*: Komponen ini berfungsi untuk mengaktifkan *tap* tertentu pada transformator berdasarkan sinyal kontrol dari Arduino.
- *Relay 5 Volt*: Sebagai salah satu *relay* yang dikontrol oleh Arduino, *Relay 5 Volt* membantu Arduino dalam mengatur *tap* transformator yang sesuai.

Cara Kerja Arduino dalam Penstabil Tegangan

Berikut adalah langkah-langkah kerja Arduino dalam sistem penstabil tegangan satu fasa:

- Pengukuran Tegangan *Input*: Arduino pertama-tama membaca tegangan *input* menggunakan sensor tegangan (PZEM-004T). Sensor ini mengirimkan data analog atau digital tentang nilai tegangan yang masuk, yang kemudian diubah oleh Arduino menjadi data yang bisa diproses.

- Analisis Data Tegangan : Setelah mendapatkan data tegangan *input*, Arduino membandingkan nilai tersebut dengan rentang tegangan yang diinginkan. Arduino diprogram untuk mengambil tindakan jika tegangan *input* keluar dari rentang stabil yang ditentukan.
- Pemilihan *Tap* pada transformator: Berdasarkan analisis, Arduino akan memilih *tap* yang paling sesuai pada transformator untuk mencapai tegangan *output* yang stabil. Misalnya:
- Jika tegangan *input* rendah, Arduino akan mengaktifkan *tap* yang lebih tinggi untuk menaikkan tegangan *output*.
- Jika tegangan *input* tinggi, Arduino akan memilih *tap* yang lebih rendah untuk menurunkan tegangan *output*.
- Pengaturan *Relay* atau *Switching*: Setelah menentukan *tap* yang diperlukan, Arduino mengirimkan sinyal untuk mengaktifkan *relay* atau *driver switching*. *Relay* kemudian membuka atau menutup kontak untuk memilih *tap* yang sesuai pada transformator, yang mengubah tegangan *output* agar tetap pada nilai yang stabil.
- *Monitoring* Berkelanjutan: Arduino terus memantau tegangan *input* secara *real-time*. Jika terjadi fluktuasi atau perubahan mendadak, Arduino akan segera mengoreksi dengan mengubah *tap* pada transformator sesuai kebutuhan.
- Arduino membaca tegangan menggunakan sensor PZEM.
- Berdasarkan tegangan *input*, Arduino menentukan *relay* yang harus diaktifkan.
- Arduino mengaktifkan *relay* untuk memilih *tap transformator* yang sesuai agar tegangan *output* tetap stabil.

2.2.3 PZEM-004T

PZEM-004T merupakan modul sensor multifungsi yang berfungsi untuk mengukur tegangan dan arus pada sebuah saluran listrik. Modul ini telah dilengkapi dengan sensor tegangan terintegrasi. Selain itu, PZEM-004T juga memiliki *current transformer* jenis *split-core* yang digunakan untuk mengukur arus dengan praktis (Firdaus et al., 2021).

Dalam sistem penstabil tegangan 1 fasa pada proyek ini, PZEM-004T berfungsi sebagai sensor utama yang mengukur tegangan, arus, daya, dan energi secara *real-time*, memberikan data yang sangat penting untuk pengaturan tegangan *output* yang stabil. PZEM-004T mengukur tegangan *input* dari sumber listrik, yang kemudian diteruskan ke Arduino untuk diproses. Jika terjadi fluktuasi tegangan yang melebihi batas yang diinginkan, data yang diperoleh oleh PZEM-004T akan digunakan oleh Arduino untuk mengendalikan transformator melalui *relay*, yang mengubah *tap* untuk menyesuaikan tegangan *output* agar tetap stabil. Selain itu, sensor ini juga mengukur arus yang mengalir ke beban dan daya yang digunakan oleh peralatan rumah tangga, sehingga memungkinkan sistem untuk memantau beban dan memastikan bahwa tidak ada kelebihan beban yang dapat menyebabkan ketidakstabilan tegangan. Dengan kemampuan untuk mengukur energi yang digunakan, PZEM-00T memberikan gambaran efisiensi sistem, yang sangat berguna dalam pengelolaan konsumsi energi rumah tangga. Secara keseluruhan, PZEM-00T menyediakan data yang diperlukan untuk memastikan bahwa tegangan *output* tetap berada dalam batas yang aman bagi perangkat rumah tangga, dengan memberikan informasi yang dibutuhkan oleh Arduino untuk mengatur sistem penstabil tegangan secara otomatis dan efektif.



Gambar 2. 2 PZEM-004T

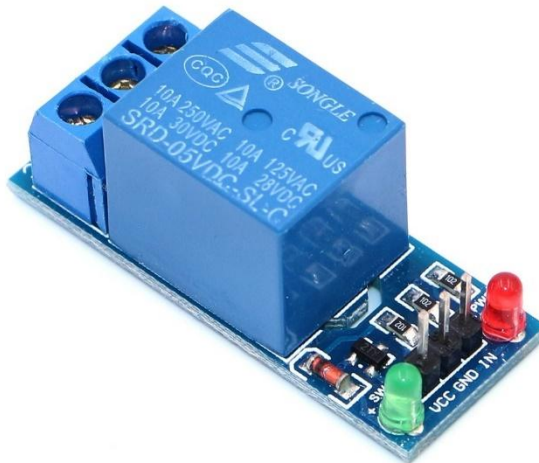
Tabel 2. 3 Spesifikasi PZEM-004T

Parameter	Spesifikasi
Tegangan <i>Input</i>	80V - 260V AC ($\pm 0.5\%$)
Arus	0A - 100A ($\pm 0.5\%$)
Daya	0W - 22kW ($\pm 1\%$)

Energi	0kWh - 9999.99kWh ($\pm 1\%$)
Frekuensi	45Hz - 65Hz ($\pm 0.5\%$)
Faktor Daya	0.00 - 1.00 (± 0.01)
Interface Komunikasi	UART (Serial TTL)
Protokol Komunikasi	Modbus-RTU
Baudrate <i>Default</i>	9600 bps
Konsumsi Daya Modul	< 1W
Dimensi Modul	48mm x 24mm x 22mm

2.2.4 Relay 5 Volt DC

Dalam sistem penstabil tegangan 1 fasa yang menggunakan Arduino, PZEM-00T, dan transformator, *relay 5 Volt* berfungsi sebagai pengendali switching untuk mengatur pemilihan *tap* pada transformator. *Relay 5 Volt* bekerja dengan menerima sinyal kontrol 5 Volt dari Arduino, yang kemudian digunakan untuk mengaktifkan atau menonaktifkan *relay* pada transformator. Ketika Arduino mendeteksi fluktuasi tegangan *input* yang memerlukan penyesuaian, *relay 5 Volt* memungkinkan sistem untuk memilih *tap* yang tepat pada transformator agar tegangan *output* tetap stabil. Dengan demikian, *relay 5 Volt* tidak hanya berperan dalam menjaga kestabilan tegangan *output*, tetapi juga berfungsi sebagai mekanisme perlindungan, memastikan bahwa sistem merespons dengan cepat terhadap kondisi *Overvoltage* atau *UnderVolt*, dan melindungi perangkat yang terhubung dari fluktuasi tegangan yang berbahaya. Selain itu, dengan kemampuannya untuk mengendalikan *tap Transformer* secara otomatis, *relay 5 Volt* turut meningkatkan *efficiency* pengendalian beban, sehingga sistem dapat bekerja lebih optimal dan memberikan tegangan yang aman bagi peralatan rumah tangga.



Gambar 2. 3 Relay DC 5 Volt

Tabel 2. 4 Spesifikasi Relay 5 Volt DC

Parameter	Spesifikasi
Tegangan Koil	5V DC
Arus Koil	70mA - 100mA (tergantung tipe)
Tegangan Kontrol	3.75V - 5V (trigger minimum 3.75V)
Tipe Relay	SPDT (<i>Single Pole Double Throw</i>) / SPST (<i>Single Pole Single Throw</i>)
Kapasitas Kontak	- AC: 250V, 10A
	- DC: 30V, 10A
Isolasi	Antara koil dan kontak: >100M Ω
Tegangan Breakdown	>1000V AC
Resistansi Kontak	<100 m Ω
Umur Mekanis	>10 juta siklus
Umur Elektrik	>100 ribu siklus
Dimensi	19mm x 15.5mm x 15mm (bervariasi)

Relay adalah saklar yang bekerja berdasarkan prinsip *elektromagnetik* dengan memanfaatkan arus listrik. Komponen utama pada *relay* terdiri dari kumparan *elektromagnet* (*coil*) dan kontak mekanis (saklar). Kontak saklar akan membuka atau menutup sebagai respons terhadap induksi *elektromagnetik* yang

dihasilkan oleh kumparan saat dialiri arus listrik(Muhammad Paisal Harapan, 2021).

2.2.5 Relay MK3P 220VAC

Relay MK3P adalah saklar elektronik yang dapat membuka atau menutup rangkaian dengan menggunakan kontrol dari rangkaian elektronik lain. Sebuah *Relay* tersusun atas kumparan, pegas, saklar (terhubung pada pegas) dan 2 kontak elektronik *normally close* dan *normally open*. Pada *Relay* MK3P, *relay* ini memiliki 11 pin.

Relay adalah komponen elektronika berupa saklar yang dioperasikan menggunakan arus listrik. Prinsip kerja *relay* didasarkan pada penggunaan tuas saklar yang digerakkan oleh solenoid, yaitu lilitan kawat pada batang besi. Ketika solenoid dialiri arus listrik, gaya magnet yang dihasilkan akan menarik tuas, sehingga kontak saklar akan menutup dan memungkinkan arus mengalir(Saputro & Harahap, 2021).



Gambar 2. 4 Relay MK3P 220VAC

Tabel 2. 5 Spesifikasi Relay MK3P 220VAC

Parameter	Spesifikasi
Tipe Relay	Elektromekanis
Tegangan Koil	220V AC
Arus Koil	±10 mA (pada 220V AC)

Jumlah Kontak	3PDT (<i>Triple Pole Double Throw</i>)
Kapasitas Kontak	- AC: 250V, 10A
	- DC: 30V, 10A
Resistansi Kontak	<50 m Ω
Tegangan Isolasi	>2000V AC (antara koil dan kontak)
Umur Mekanis	>10 juta operasi
Umur Elektrik	>100 ribu operasi (pada beban penuh)
Resistansi Koil	± 11.4 k Ω (pada 220V AC)
Suhu Operasi	-25°C hingga 55°C

2.2.6 *Power Supply*

Power Supply adalah perangkat elektronik yang berfungsi untuk menyediakan daya listrik dengan tegangan, arus, dan daya yang sesuai dengan kebutuhan komponen atau perangkat yang akan dioperasikan. *Power supply* berperan mengubah energi listrik dari sumber utama, seperti jaringan listrik AC 220 *Volt*, menjadi bentuk listrik yang sesuai (AC atau DC) dengan spesifikasi tertentu yang dibutuhkan oleh perangkat elektronik.

Untuk konversi listrik AC ke DC, ada dua metode yang mungkin digunakan. Pertama dengan *linear power supply*. Ini adalah rangkaian AC ke DC yang sangat sederhana. Setelah Listrik AC dari *line input* di-*step-down* oleh *transformer*, kemudian dijadikan DC secara sederhana dengan rangkaian empat dioda penyearah. Komponen tambahan lain adalah kapasitor untuk meratakan tegangan. Tambahan komponen yang mungkin disertakan adalah *linear regulation*, yang bertugas menjaga tegangan sesuai yang diinginkan, meski daya *output* yang dibutuhkan bertambah.

Dalam proyek penstabil tegangan 1 fasa berbasis mikrokontroler, *power supply* digunakan untuk menyediakan catu daya 5 *Volt* DC yang stabil untuk mengoperasikan komponen seperti:

- Arduino, sebagai mikrokontroler utama sistem.
- PZEM-004T, sensor pengukur tegangan, arus, daya, dan energi.
- *Relay 5 Volt*, untuk mengendalikan *relay* yang memilih *tap transformer*.

Dengan tegangan yang stabil, *power supply* memastikan bahwa sistem bekerja secara andal, data yang diukur oleh sensor akurat, dan kontrol yang dilakukan oleh *relay* berjalan sesuai perintah mikrokontroler.



Gambar 2. 5 *Power Supply 5 Voltage*

Tabel 2. 6 Spesifikasi *Power Supply 5 Voltage*

Parameter	Spesifikasi
Tegangan <i>Output</i>	5V DC
Tegangan <i>Input</i>	- AC: 100V - 240V (frekuensi 50/60Hz)
Arus <i>Output</i>	10A
Daya <i>Output</i>	5W hingga 50W (tergantung arus maksimum)
Efisiensi	85% - 95%
Ripple Noise	<50 mV
Perlindungan	- Over Voltage Protection (OVP)
	- Over Current Protection (OCP)
	- Over Current Protection (OCP)
Konektor <i>Output</i>	- Terminal screw
	- USB (untuk tipe <i>portable</i>)

2.2.7 *Display LCD (Liquid Crystal Display)*

Display LCD (Liquid Crystal Display) adalah media tampilan yang memanfaatkan teknologi CMOS (*Complementary Metal Oxide Semiconductor*)

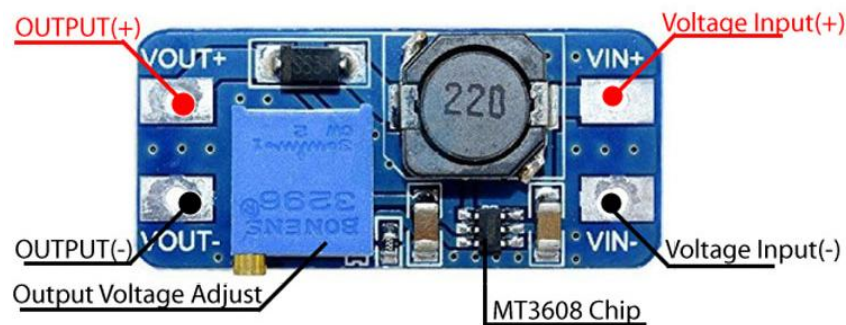
untuk menampilkan karakter berupa angka, huruf, atau simbol. Teknologi ini menggunakan kristal cair sebagai komponen utama dalam menghasilkan tampilan. LCD membutuhkan cahaya latar belakang (*backlight*) berwarna putih sebagai sumber pencahayaannya. Kristal cair (*liquid crystal*) merupakan cairan organik yang terletak di antara dua lembar kaca dengan elektroda transparan berbahan indium oksida. Tampilan ini biasanya berbentuk *seven-segment*, di mana permukaan kaca bersifat transparan dan memiliki elektroda konduktif di bagian belakang(Baskoro et al., 2021).



Gambar 2. 6 LCD (*Liquid Crystal Display*)

2.2.8 Modul Step-Up MT3608

Modul MT3608 merupakan konverter DC-DC tipe *boost* yang berfungsi untuk menaikkan tegangan searah dari nilai yang rendah menjadi nilai yang lebih tinggi. Modul ini bekerja dengan menyimpan energi pada induktor melalui proses penyaluran cepat di dalam IC, kemudian melepaskannya ke keluaran sehingga tegangan keluaran menjadi lebih besar dari tegangan masukan. Besar tegangan keluaran dapat diatur melalui sebuah potensiometer yang tersedia pada modul. Perlu diperhatikan bahwa karena daya keluaran tidak dapat melebihi daya masukan, kenaikan tegangan pada modul *boost* selalu disertai berkurangnya arus yang dapat diberikan ke beban.(*MT3608 2A DC-DC Step Up (Boost) Power Module Pinout, Features, Datasheet*, n.d.)



Gambar 2. 7 Modul Step-Up MT3608

Tabel 2. 7 Spesifikasi Modul Step-Up MT3608

Parameter	Spesifikasi
Tegangan Masukan (<i>Input</i>)	2 – 24 V DC
Tegangan Keluaran (<i>Output</i>)	5 – 28 V DC
Arus Keluaran Maksimum	2:00 AM
Frekuensi Penyaklaran	1,2 MHz
Riak Tegangan Keluaran (<i>Output Ripple</i>)	< 100 mV
Dimensi Modul	37,2 mm × 17,2 mm × 14,0 mm
Efisiensi	± 93%
Fitur Proteksi	<i>Under-voltage lockout</i> dan proteksi beban-lebih-termal (<i>thermal overload protection</i>)

Dalam sistem penstabil tegangan satu fasa pada proyek ini, modul MT3608 digunakan pada dua bagian dengan tujuan berbeda, keduanya bersumber dari *power supply* 5 Volt. Modul pertama digunakan untuk menaikkan tegangan 5 Volt menjadi 7 Volt yang disalurkan ke Arduino. Penaikan tegangan ini diperlukan karena ketika Arduino disuplai langsung dengan 5 Volt, tegangan yang terukur pada pin kerjanya turun di bawah 5 Volt, sehingga dengan memberi masukan 7 Volt regulator internal Arduino dapat bekerja optimal dan tegangan kerjanya kembali stabil. Modul kedua digunakan untuk menaikkan tegangan 5 Volt menjadi

12 *Volt* sebagai sumber bagi kipas pendingin yang bekerja pada tegangan 12 *Volt*. Dengan demikian, kebutuhan tegangan yang berbeda-beda pada sistem dapat dipenuhi hanya dari satu sumber *power supply* 5 *Volt*.

2.2.9 Kipas Pendingin DC 12 *Volt*

Kipas pendingin DC (*DC Cooling Fan*) merupakan komponen aktuator elektromekanis tipe *axial fan* yang berfungsi untuk membuang atau mensirkulasikan udara panas dari dalam suatu ruang tertutup ke lingkungan luar. Komponen ini bekerja dengan mengubah energi listrik arus searah (DC) menjadi energi mekanik berupa putaran motor penggerak bilah kipas. Kipas dengan karakteristik *high-speed* dan berukuran tebal (38 mm) memiliki keunggulan berupa tekanan statis (*static pressure*) dan volume aliran udara (*airflow*) yang tinggi, sehingga sangat efektif digunakan untuk sistem pendinginan paksa (*forced convection*) pada peralatan elektronik yang mendisipasikan panas dalam jumlah besar, seperti transformator maupun komponen sakelar daya.



Gambar 2. 8 Kipas Pendingin DC 12 *Volt*

Tabel 2. 8 Spesifikasi Kipas Pendingin DC 12 *Volt*

Parameter	Spesifikasi
Tegangan Kerja (<i>Operating Voltage</i>)	12 V DC
Arus Nominal (<i>Nominal Current</i>)	0,90 A – 1,00 A

Konsumsi Daya Maksimum	$\pm 10,8 \text{ W} - 12 \text{ W}$
Dimensi Kipas	120 mm $\times$ 120 mm $\times$ 38 mm
Tipe Aliran Udara	Aksial (<i>Axial Flow</i>)
Karakteristik Kecepatan	Putaran Tinggi (<i>High Speed</i>)

Dalam sistem penstabil tegangan satu fasa pada proyek ini, kipas pendingin 12 *Volt* berfungsi sebagai sistem manajemen termal aktif untuk membuang panas yang diakibatkan oleh kerugian daya pada kumparan autotransformator dan kinerja modul relai saat proses perpindahan *tap* terjadi. Kipas ini mendapatkan suplai daya 12 *Volt* dari modul *boost converter* MT3608 kedua. Untuk meningkatkan efisiensi daya dan umur pakai komponen, pengoperasian kipas tidak dilakukan secara terus-menerus (*always-on*), melainkan dikendalikan secara otomatis oleh Arduino. Berdasarkan pembacaan sensor PZEM-004T pada sisi keluaran (*Vout*), apabila tegangan berada pada kondisi normal dan sistem mendeteksi rentang kerja tertentu, Arduino akan mengirimkan sinyal ke modul *driver* untuk menyalakan kipas. Dengan demikian, suhu di dalam kotak panel (*enclosure*) tetap terjaga pada batas aman untuk mencegah terjadinya pemanasan berlebih (*overheating*).

2.2.10 Transformator



Gambar 2. 9 Transformator Dengan 12 *Tap*

Tabel 2. 9 Spesifikasi Transformator yang dirancang

Parameter	Spesifikasi
Daya (P)	1430 VA = 1,43 kVA
Tegangan Primer (V _p)	130V-240V
Tegangan Sekunder (V _s)	220V (<i>output</i> setiap berbeda pada setiap <i>Tap</i>)
Arus Sekunder (I _s)	6,5 A (1430 VA / 220 V)
Jumlah Tap	12 Tap (untuk pengaturan tegangan <i>output</i>)
Frekuensi Operasi (f)	50 Hz
Jenis Inti	Laminasi baja silikon EI

Dalam sistem penstabil tegangan 1 fasa pada proyek ini, transformator memiliki peran yang sangat penting untuk menjaga kestabilan tegangan *output* yang diberikan ke peralatan rumah tangga. Transformator adalah jenis transformator yang digunakan untuk mengubah tegangan *input* menjadi tegangan *output* yang stabil dengan cara mengatur posisi *tap* pada trafo tersebut. Prinsip kerja transformator didasarkan pada induksi bersama (mutual *induction*) antara dua rangkaian yang saling terhubung melalui fluks magnet. Secara sederhana, transformator terdiri dari dua kumparan yang secara listrik terpisah tetapi terhubung secara magnetis melalui medan induksi. Kedua kumparan ini memiliki tingkat mutual *induction* yang tinggi, sehingga memungkinkan *transfer* energi secara efisien .

Bagian utama transformator, terdiri dari:

- Inti besi berperan mempermudah aliran fluks magnetik yang dihasilkan oleh arus listrik pada kumparan. Inti ini dibuat dari lapisan-lapisan besi tipis yang dilengkapi dengan isolasi, bertujuan untuk mengurangi panas akibat kerugian besi, seperti arus pusar atau *eddy current*.
- Kumparan merupakan kumpulan lilitan kawat berisolasi yang dirangkai sedemikian rupa, lalu diberi isolasi tambahan terhadap inti besi maupun

antar-kumparan dengan menggunakan bahan seperti karton atau pertinax. Terdapat dua jenis kumparan pada transformator:

- 1) Kumparan *Primer*: Terkoneksi dengan sumber arus atau tegangan bolak-balik yang menghasilkan fluks magnetik untuk menciptakan tegangan induksi.
- 2) Kumparan *Sekunder*: Ketika rangkaian *sekunder* dihubungkan dengan beban, arus akan mengalir melalui kumparan ini, sehingga memungkinkan pengubahan tegangan dan arus listrik (Jamaaluddin et al., 2020).

2.3. Rumus Desain Transformator

Pemilihan spesifikasi transformator untuk proyek ini disesuaikan dengan bahan baku yang tersedia di pasaran, khususnya inti besi Kawasaki *Core RM 14* dengan ketebalan 0,50 mm, yang banyak dijual di Indonesia. Untuk menentukan besar kerapatan fluks magnetik digunakan nilai sebesar 1,2 Tesla, yang dipilih agar transformator dapat beroperasi dengan efisien tanpa mengalami saturasi magnetik. Selanjutnya, untuk memastikan desain yang optimal antara dimensi transformator, biaya, dan suhu operasional, dipilih rapat arus sebesar 5 A/mm². Pemilihan nilai ini memungkinkan transformator beroperasi secara terus-menerus tanpa menghasilkan suhu yang berlebihan, sekaligus menjaga ukuran transformator tetap efisien (Abdul Qadir Zailani, 2023).

Inti besi yang digunakan memiliki luas penampang sebesar 26,25 cm², dengan panjang sisi inti persegi 5,1 cm, yang disesuaikan dengan kebutuhan kapasitas dan efisiensi transformator. Kawat yang digunakan adalah jenis EIW (*Electrical Insulation Wire*) dengan luas penampang 1,75 mm² dan diameter kawat 1,50 mm. Kawat ini dipilih karena memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi, sehingga cocok untuk operasi transformator yang berkelanjutan.

2.3.1 Menghitung Tegangan perlilitan (f_m).

$$V_t = C \sqrt{P} \quad (2.1)$$

Keterangan:

- V_t : Tegangan per lilitan (*Volt/Lilitan*).
- C : Konstanta, bergantung pada desain transformator dan material inti.
- P : Daya transformator (dalam *Volt-Ampere*, VA).

2.3.2 Menghitung *Fluks* (f_m).

$$f_m = \frac{VT}{4,44 f} \quad (2.2)$$

Keterangan:

- f_m : *Fluks* magnetik maksimum (dalam *Weber*, Wb).
- V_t : Tegangan per lilitan (*Volt/Lilitan*).
- f : Frekuensi operasi transformator (dalam *Hertz*, Hz).
- 4.44 : Konstanta yang berasal dari perhitungan tegangan sinusoidal RMS.

2.3.3 Menghitung Luas Inti Besi (A_i)

$$A_i = \frac{\phi_m}{B_m} \quad (2.3)$$

Keterangan:

- A_i : Luas penampang inti (dalam cm^2 atau m^2).
- Φ_m : *Fluks* magnetik maksimum (dalam *Weber*, Wb).
- B_m : Kepadatan *fluks* magnetik maksimum (dalam *Tesla*, T).

Karena ada faktor laminasi, maka luas inti besi (A_i) efektif adalah 98 % dari luas sebenarnya (A_{is}):

$$A_i = 0,98 \times A_{is} \quad (2.4)$$

Keterangan:

- A_i : luas besi efektif/magnetik.
- A_{is} : luas fisik inti.

- 0.98: Faktor koreksi (biasanya untuk mempertimbangkan efisiensi atau faktor keamanan dalam desain transformator).

Atau

$$A_{is} = \frac{A_{is}}{0,98} \quad (2.5)$$

Keterangan:

- A_{is} : Luas penampang inti transformator tanpa koreksi faktor efisiensi.
- 0.98: Faktor koreksi yang digunakan untuk menyesuaikan luas penampang inti setelah efisiensi atau faktor keamanan diterapkan.

2.3.4 Pemilihan ukuran inti besi

Umumnya transformator yang memiliki lilitan *primer* dan lilitan *sekunder* dimana pada kaki tengahnya sebagai tempat lilitan mempunyai luas yang berbentuk bujur sangkar. Dengan memakai rumus luas bujur sangkar, maka:

$$A_{is} = L^2 \quad (2.6)$$

Keterangan:

- A_{is} : Luas penampang inti transformator (dalam cm^2 atau m^2).
- L^2 : Panjang sisi dari penampang inti (misalnya sisi dari penampang persegi jika bentuk inti berbentuk persegi atau panjang sisi dari segi empat jika bentuk penampang inti segi empat).

Menentukan ketebalan tumpukan inti besi sebesar :

$$S = \frac{A_{is}}{L} \quad (2.7)$$

Keterangan:

- S : *Volume* atau panjang (tergantung konteks) inti transformator (dalam cm^3 atau m^3).

- A_{is} : Luas penampang inti transformator (dalam cm^2 atau m^2).
- L : Panjang inti transformator (dalam cm atau m).

Dilakukan koreksi terhadap luas inti besi (A_i) dan tegangan perlilitan (V_t).

Koreksi terhadap luas inti besi (A_i):

$$A_i = 0,98 \times A_{is} \quad (2.8)$$

$$= 0,98 \times S \times L$$

Keterangan:

- A_i : Luas penampang inti yang telah dikoreksi (dalam cm^2 atau m^2).
- A_{is} : Luas penampang inti yang dihitung tanpa koreksi (dalam cm^2 atau m^2).
- S : Volume inti transformator (dalam cm^3 atau m^3).
- L : Panjang inti transformator (dalam cm atau m).
- 0.98: Faktor koreksi (biasanya untuk mempertimbangkan efisiensi atau faktor keamanan dalam desain).

Koreksi terhadap tegangan per lilitan (V_t):

$$V_t = 4,44 f B_m A_i \quad (2.9)$$

Keterangan:

- V_t : Tegangan per lilitan (*Volt/Lilitan*).
- f : Frekuensi operasi transformator (dalam *Hertz*, Hz).
- B_m : Kepadatan fluks magnetik maksimum (dalam *Tesla*, T).
- A_i : Luas penampang inti transformator (dalam cm^2 atau m^2).
- 4.44: Konstanta yang berasal dari perhitungan tegangan sinusoidal RMS pada frekuensi tertentu.

Tabel 2. 10 Inti Besi

No. Inti Besi	H	D	Berat/set
(L (mm))	(mm)	(mm)	(gram)
13	21	8	5
16	29	8	8
19	28	9.5	10
22	33	11	15
25	38	13	15
28	43	14	20
32	48	16	25
35	52	17,5	30
38	56	19	35
44	67	22	50
51	76	25,5	60
57	85	28,5	70
60	120	40	110
70	129	39	130

2.3.5 Menghitung Jumlah per Lilitan

$$N = \frac{E}{V_T} \quad (2.10)$$

$$= \frac{V}{V_T}$$

Keterangan:

- N : Jumlah lilitan (*primer* atau *sekunder*).
- E : Tegangan (dalam *Volt*) pada sisi *primer* atau *sekunder* transformator.
- V_t : Tegangan per lilitan (Volt/Lilitan).
- V : Tegangan total pada sisi *primer* atau *sekunder*.

2.3.6 Menghitung Diameter Kawat (d) Dan jenis kawat yang akan digunakan

$$d = \sqrt{\frac{41}{\pi J}} \quad (2.11)$$

Keterangan:

- D : Diameter kawat (dalam meter atau milimeter).
- 41 : Konstanta yang digunakan dalam perhitungan (mungkin berasal dari perhitungan lainnya atau pengaturan material).
- π : Bilangan pi (sekitar 3.1416).
- J : Arus dalam kawat (dalam *Ampere*).

2.3.7 Perhitungan Untuk Perbandingan Lilitan pada Skala *Tap* Transformator

$$N_s = N_p \times Rasio \quad (2.12)$$

Keterangan:

- N_s : Jumlah lilitan pada sisi sekunder transformator.
- N_p : Jumlah lilitan pada sisi primer transformator.
- Rasio : Rasio antara tegangan *sekunder* dan tegangan *primer*, atau perbandingan antara jumlah lilitan *sekunder* dan *primer*.

Rumus menentukan Perbandingan Skala:

$$Rasio = \frac{Tegangan\ Output}{Tegangan\ Input} \quad (2.13)$$