

RANCANG BANGUN *POWER ELECTRONICS TRAINER* SEBAGAI MODUL PRAKTIKUM DI JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

Oleh : Ilham Sayekti¹⁾, Netty Nurdiyani¹⁾, Sri Astuti¹⁾

Jurusan Teknik Elektro¹, Politeknik Negeri Semarang Jl. Prof. Soedarto SH., No.1 Semarang Email :

ilham.sayekti@polines.ac.id

Abstrak

Perkembangan teknologi elektronika daya menuntut media pembelajaran yang mampu mengintegrasikan teori dan praktik secara efektif. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun *Power Electronics Trainer* sebagai modul praktikum di Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Semarang untuk meningkatkan kompetensi mahasiswa dalam bidang konversi daya. Metode penelitian meliputi perancangan sistem, pembuatan perangkat keras, integrasi modul, serta pengujian kinerja rangkaian AC Voltage Regulator, Alarm Circuit, Automatic Switch for Light (TRIAC), AC Motor Speed Controller, DC Motor Speed Controller, Automatic Switch for Light (SCR), dan Inverter 12 VDC to 220VAC. Parameter yang diuji mencakup tegangan, arus, frekuensi, bentuk gelombang, dan kestabilan sistem, kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan teoritis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa trainer berfungsi sesuai spesifikasi desain dengan deviasi dalam batas toleransi komponen. Sistem juga aman, stabil, dan mudah dioperasikan untuk kegiatan praktikum. Dengan demikian, *Power Electronics Trainer* ini layak digunakan sebagai media pembelajaran dan efektif dalam meningkatkan pemahaman konseptual serta keterampilan praktis mahasiswa sesuai kebutuhan industri.

Kata kunci: MOSFET IRFP260N, *Power Electronics Trainer*, SCR FIR3D, TRIAC BT136, TRIAC BTA 41600.

Abstract

The development of power electronics technology demands learning media that effectively integrate theory and practice. This research aims to design and build a Power Electronics Trainer as a practical module in the Electrical Engineering Department of Semarang State Polytechnic to improve student competency in the field of power conversion. The research methods include system design, hardware fabrication, module integration, and performance testing of an AC Voltage Regulator, Alarm Circuit, Automatic Switch for Light (TRIAC), AC Motor Speed Controller, DC Motor Speed Controller, Automatic Switch for Light (SCR), and a 12 VDC to 220 VAC Inverter. Tested parameters included voltage, current, frequency, waveform, and system stability, and were then compared with theoretical calculations. Test results indicate that the trainer functions as designed, with deviations within component tolerances. The system is also safe, stable, and easy to operate for practical activities. Therefore, this Power Electronics Trainer is suitable for use as a learning medium and is effective in improving students' conceptual understanding and practical skills, meeting industry needs.

Keywords: MOSFET IRFP260N, *Power Electronics Trainer*, SCR FIR3D, TRIAC BT136, TRIAC BTA 41600.

1. PENDAHULUAN

Dalam era industri 4.0, kebutuhan akan pemahaman dan keterampilan di bidang elektronika daya semakin meningkat. Teknologi elektronika daya berperan penting

dalam berbagai aplikasi, mulai dari sistem tenaga listrik hingga pengendalian motor. Namun, masih banyak mahasiswa di jurusan Teknik Elektro yang mengalami kesulitan dalam memahami konsep-konsep dasar

elektronika daya karena kurangnya fasilitas praktikum yang memadai. Oleh karena itu, pengembangan modul praktikum yang efektif dan interaktif sangat diperlukan untuk meningkatkan pemahaman mahasiswa dalam bidang ini (Amiruddin, Yusuf, & Rahim, 2022).

Penggunaan trainer elektronika daya sebagai media pembelajaran dapat memberikan pengalaman praktis yang langsung kepada mahasiswa. Trainer ini dirancang untuk mengajarkan berbagai konsep dasar, seperti pengendalian daya, konversi energi, dan aplikasi komponen daya seperti MOSFET, SCR, dan TRIAC. Dengan adanya trainer ini, diharapkan mahasiswa dapat lebih mudah memahami teori yang diajarkan di kelas dan menerapkannya dalam praktik nyata (Listiyawan, Prasetyo, & Widodo, 2023).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan membangun sebuah Power Electronics Trainer yang dapat digunakan sebagai modul praktikum di jurusan Teknik Elektro. Trainer ini akan dilengkapi dengan berbagai komponen elektronika daya, seperti MOSFET IRFP260N, SCR FIR3D, TRIAC BT136, TRIAC BTA 41600, TIP32, dan BD140. Dengan adanya trainer ini, mahasiswa diharapkan dapat melakukan eksperimen yang relevan dan memahami prinsip kerja dari masing-masing komponen dengan lebih baik.

Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan trainer dalam meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap materi elektronika daya. Melalui pengujian dan analisis data, diharapkan dapat diperoleh informasi yang berguna untuk pengembangan modul praktikum di masa depan (Hidayat, Nugroho, & Lestari, 2023).

Berdasarkan penelitian sebelumnya, terdapat beberapa studi yang membahas tentang pengembangan modul praktikum di bidang elektronika. Misalnya, Amiruddin et al. (2022) mengembangkan modul praktik elektronika daya berbasis Android yang memungkinkan mahasiswa untuk belajar secara mandiri. Selain

itu, Hidayat et al. (2023) juga mengembangkan modul praktikum virtual yang menggunakan software Proteus, yang memberikan simulasi interaktif bagi mahasiswa.

Listiyawan et al. (2023) menekankan pentingnya penggunaan trainer elektronika daya sebagai media pembelajaran di laboratorium vokasional. Mereka menemukan bahwa penggunaan trainer dapat meningkatkan keterampilan praktis mahasiswa dan memberikan pemahaman yang lebih baik tentang teori yang diajarkan. Penelitian ini menjadi dasar bagi pengembangan Power Electronics Trainer yang akan dibahas dalam jurnal ini.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yang signifikan bagi mahasiswa jurusan Teknik Elektro. Dengan adanya Power Electronics Trainer, mahasiswa akan memiliki kesempatan untuk belajar secara langsung tentang komponen dan sistem elektronika daya. Hal ini diharapkan dapat meningkatkan motivasi belajar dan hasil akademik mahasiswa.

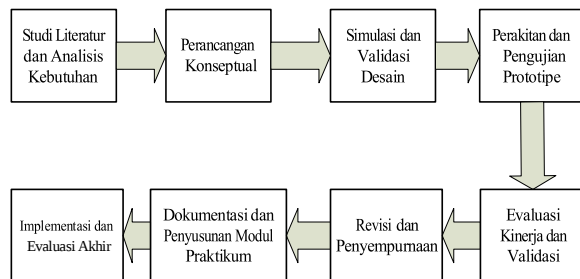
Selain itu, penelitian ini juga dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan kurikulum di jurusan Teknik Elektro. Dengan adanya modul praktikum yang efektif, diharapkan dapat meningkatkan kualitas pendidikan dan mempersiapkan mahasiswa untuk menghadapi tantangan di dunia industri. Penelitian ini juga dapat menjadi acuan bagi institusi pendidikan lain yang ingin mengembangkan modul praktikum serupa (Pratama, Sari, & Wijaya, 2024).

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) untuk merancang dan mengevaluasi Power Electronics Trainer sebagai modul praktikum di Program Studi D3 Teknik Elektronika Politeknik Negeri Semarang.

Tahapan metode penelitian secara umum ditunjukkan pada Gambar 1. Diagram metode

penelitian meliputi studi literatur dan analisis kebutuhan, perancangan, simulasi, pembuatan prototipe, pengujian, evaluasi, serta implementasi trainer dalam kegiatan praktikum.



Gambar 1. Metode Penelitian

a. Studi Literatur dan Analisis Kebutuhan

Tahap awal penelitian dimulai dengan studi literatur untuk meneliti teori dan hasil penelitian sebelumnya tentang elektronika daya dan media pembelajaran berbasis trainer. Literturnya meliputi buku, jurnal, dan modul praktikum terkait. Analisis kurikulum mata kuliah Elektronika Daya juga dilakukan untuk mengetahui capaian pembelajaran mahasiswa. Selain itu, wawancara dan survei dilakukan dengan dosen dan mahasiswa untuk mengidentifikasi kebutuhan fasilitas praktikum dan fitur yang diinginkan dari Power Electronics Trainer.

b. Perancangan Konseptual Trainer

Tahap selanjutnya setelah studi literatur dan analisis kebutuhan adalah perancangan konseptual Power Electronics Trainer. Ini mencakup spesifikasi teknis seperti jenis komponen daya, sistem proteksi, dan fitur pengukuran. Modul dirancang agar terintegrasi dalam satu panel, mendukung pengalaman belajar melalui eksperimen langsung.

c. Simulasi dan Validasi Desain

Sebelum direalisasikan dalam perangkat keras, desain rangkaian modul divalidasi melalui simulasi dengan perangkat lunak seperti Proteus, untuk analisis karakteristik tegangan

dan arus. Hasil simulasi dibandingkan dengan teori elektronika daya untuk memastikan keandalan sistem.

d. Perakitan dan Pengujian Prototipe

Setelah desain tervalidasi, langkah selanjutnya adalah merakit prototipe Power Electronics Trainer. Pengujian awal dilakukan untuk mengevaluasi fungsi dasar setiap modul dan memastikan semuanya beroperasi dengan aman.

e. Evaluasi Kinerja dan Validasi Trainer

Evaluasi kinerja trainer dilakukan dengan menguji di berbagai skenario, seperti variasi tegangan dan jenis beban. Hasil pengujian dibandingkan dengan simulasi untuk menilai akurasi. Mahasiswa juga diuji menggunakan trainer dan diminta memberikan umpan balik tentang kemudahan, kejelasan materi, dan manfaatnya.

f. Revisi dan Penyempurnaan

Berdasarkan hasil evaluasi teknis dan umpan balik pengguna, dilakukan revisi dan penyempurnaan terhadap desain trainer. Revisi meliputi perbaikan rangkaian, peningkatan aspek keselamatan, peningkatan keandalan komponen, serta penyempurnaan tata letak panel agar lebih ergonomis dan mudah digunakan. Tahap ini bertujuan untuk menghasilkan trainer yang optimal dan siap digunakan secara berkelanjutan dalam kegiatan praktikum.

g. Dokumentasi dan Penyusunan Modul Praktikum

Tahap selanjutnya adalah penyusunan dokumentasi dan modul praktikum Power Electronics Trainer, mencakup teori, tujuan percobaan, alat, prosedur, tabel, analisis data, dan evaluasi.

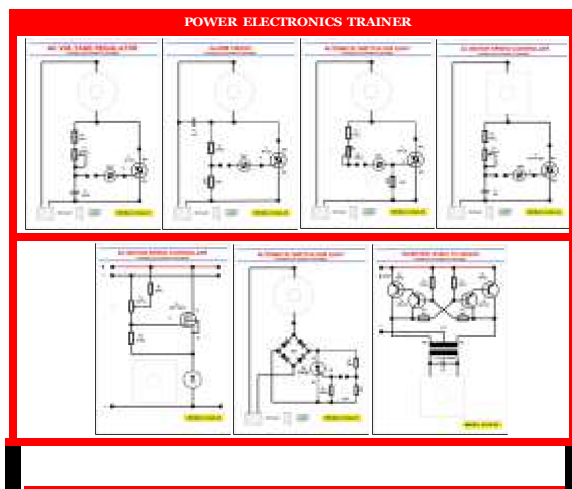
h. Implementasi dan Evaluasi Akhir

Tahap akhir penelitian adalah implementasi Power Electronics Trainer dalam praktikum Elektronika Daya. Evaluasi dilakukan dengan

masuk dari dosen dan mahasiswa untuk perbaikan.

i. Desain Model Perangkat Keras (Modul)

Desain model perangkat keras Power Electronics Trainer pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2, yang terdiri atas tujuh modul utama praktikum elektronika daya serta beberapa modul pendukung seperti catu daya DC dan panel beban. Setiap modul dirancang untuk merepresentasikan aplikasi nyata elektronika daya dan mendukung pencapaian kompetensi praktikum mahasiswa.



Gambar 2. Model Modul Elektronik Power Trainer

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

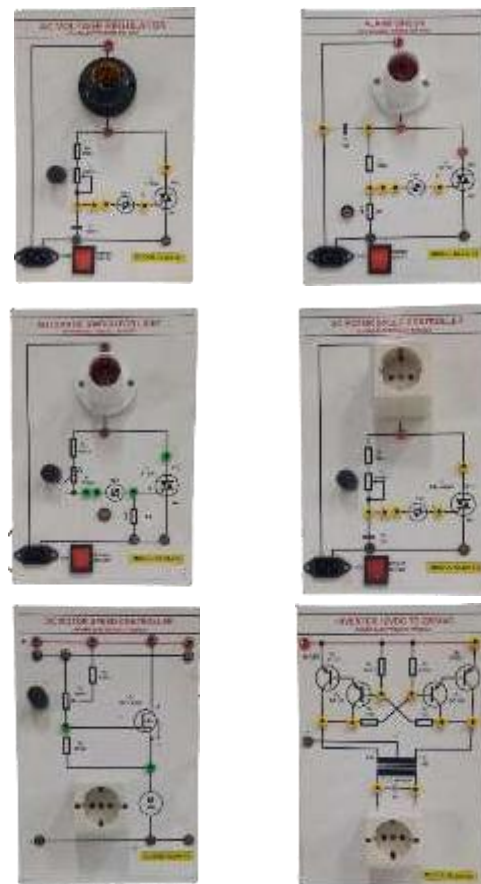
Pada bab ini akan dipaparkan hasil realisasi fisik dan pengujian dari rancang bangun Power Electronics Trainer. Pembahasan difokuskan pada analisis kinerja alat untuk memvalidasi kesesuaian antara perancangan teoretis dengan hasil pengukuran praktik. Pengujian dilakukan secara bertahap, dimulai dari pemeriksaan fisik komponen, pengujian fungsionalitas rangkaian pemicu (triggering circuit), hingga pengujian performa daya pada beban.

Evaluasi dilakukan terhadap tujuh unit modul percobaan yang telah direalisasikan, yaitu modul AC Regulator, Alarm Circuit,

Automatic Switch, dan AC Motor Speed Controller yang berbasis TRIAC; DC Motor Speed Controller berbasis MOSFET; Inverter berbasis Transistor Bipolar; serta Automatic Switch berbasis SCR. Data hasil pengujian yang berupa besaran tegangan, arus, kecepatan putar motor, serta bentuk gelombang keluaran yang ditangkap oleh osiloskop, akan dianalisis untuk menentukan kelayakan alat ini sebagai modul praktikum di Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Semarang.

3.1 Realisasi Alat Hasil Rancangan

Tahap realisasi alat adalah penerapan desain skematik dan mekanik sebelumnya. Power Electronics Trainer dibuat sebagai modul praktikum portabel yang terdiri dari casing sebagai antarmuka pengguna dan rangkaian elektronik di dalamnya.



Gambar 3. Hasil realisasi rancangan modul-modul Power Electronic Trainer

3.2 Hasil Pengujian

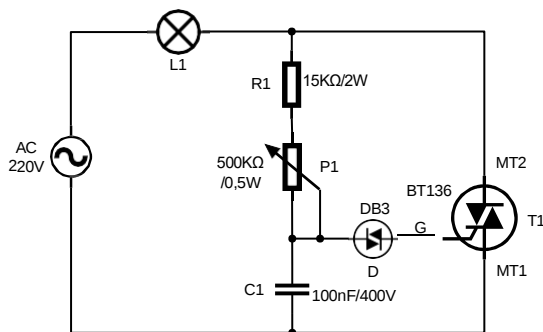
Pengujian ini bertujuan untuk memvalidasi kinerja Power Electronics Trainer dan memastikan karakteristik output sesuai teori elektronika daya. Prosedur meliputi pengujian tujuh modul dengan tegangan input 220 V AC atau DC dan pengamatan pada beban.

Peralatan yang digunakan untuk mendukung pengambilan data pengujian ini antara lain:

- 1) Multimeter Digital: Untuk mengukur besaran tegangan (RMS/DC) dan arus.
- 2) Osiloskop Digital: Untuk mengamati bentuk gelombang masukan, gelombang pemicuan (triggering), dan gelombang keluaran.
- 3) Tachometer: Untuk mengukur kecepatan putar motor (RPM).
- 4) Beban: lampu pijar dan motor listrik (AC/DC) sebagai objek kendali.

3.2.1 Hasil Pengujian Rangkaian AC Voltage Regulator

Rangkaian ini bekerja dengan prinsip Phase Control (Kendali Fasa). Artinya, rangkaian ini tidak menurunkan amplitudo tegangan seperti trafo, melainkan "memotong" gelombang sinus AC.



Gambar 4. Rangkaian AC Voltage Regulator Menggunakan TRIAC

Dari hasil pengujian rangkaian untuk beberapa kondisi dan parameter yang berbeda diperoleh hasil seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus rangkaian AC Regulator

Posisi Potensiometer (Putaran)	Estimasi Resistansi P_1 (Ω)	Tegangan Output (V_{RMS})	Arus Beban (I_{LOAD})	Kondisi Lampu	Sudut Penyalaan Triac (Firing Angle)
0% (Min)	500 k Ω	0 V	0.00 A	Mati (OFF)	Tidak menyala
10%	450 k Ω	0 V	0.00 A	Mati	Tidak menyala
20%	400 k Ω	0 V	0.00 A	Mati	Tidak menyala
30%	350 k Ω	0 V	0.00 A	Mati	Tidak menyala
40% (Dead Zone)	300 k Ω	0 V	0.00 A	Mati	Tidak menyala
50%	250 k Ω	~35 V	0.08 A	Mulai Redup (Filamen Merah)	~160° (Telat sekali)
60%	200 k Ω	~85 V	0.21 A	Redup Sedang	~130°
70%	150 k Ω	~130 V	0.32 A	Sedang	~90° (Puncak Gelombang)
80%	100 k Ω	~175 V	0.39 A	Terang	~60°
90%	50 k Ω	~205 V	0.43 A	Sangat Terang	~30°
100% (Max)	0 Ω	~218 V*	0.45 A	Maksimal	~5° (Hampir Penuh)

Dari Tabel 1 dapat dilihat, pada posisi 0% hingga 40%, lampu tetap mati. Ini adalah hal yang wajar dan realistis untuk potensiometer berukuran 500 k Ω pada tegangan 220 V. Hal ini disebabkan oleh resistansi tinggi, konstanta waktu ($T = R \times C$) sangat besar sehingga gelombang AC keburu habis (melewati titik nol/zero crossing) sebelum kapasitor C_1 sempat mencapai tegangan picu DIAC (32 V). Akibatnya, TRIAC tidak pernah dipicu.

Dalam praktiknya, sering terjadi efek di mana lampu baru menyala di posisi 50%, tetapi saat diputar balik, lampu baru mati di posisi 45%. Ini disebabkan oleh sisa muatan pada kapasitor C_1 dari siklus sebelumnya. Rangkaian di atas adalah tipe dasar single-time-constant, sehingga efek histeresis ini pasti ada.

Mengamati rangkaian dan hasil pengujian, rangkaian ini sangat cocok untuk beban resistif (Lampu pijar, elemen pemanas/solder) dan universal motor (Bor tangan, gerinda). Rangkaian ini tidak cocok untuk lampu LED biasa (bisa berkedip/rusak) atau motor induksi AC (seperti kipas angin kotak) karena dapat menyebabkan dengung panas berlebih pada motor.

Untuk memberikan rentang pengaturan efektif yang sempit (hanya efektif di putaran 50%-100%), nilai potension dapat diturunkan menjadi 250 k Ω atau diganti dengan nilai yang disesuaikan.

3.2.2 Hasil Pengujian Rangkaian Alarm Circuit

Metode yang digunakan dalam pengujian ini adalah dengan memberikan variasi intensitas cahaya pada permukaan LDR dan mengukur respons rangkaian. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Rangkaian Alarm Circuit Menggunakan TRIAC

Kondisi Cahaya (Lux)	Estimasi Resistansi LDR	Status TRIAC	Tegangan pada Lampu (V_{LOAD})	Arus Beban (I_{LOAD})	Kondisi Fisik Lampu
Terang Sekali	< 500 Ω	OFF	~65 V AC	0.06 A	Redup
Cahaya Ruangan (Normal)	~ 2 k Ω	OFF	~65 V AC	0.06 A	Redup
Redup	~ 20 k Ω	Unstable	Fluktuatif	-	Berkedip acak / Berdengung
Gelap (Ditutup jari)	> 100 k Ω	ON	~218 V AC	0.18 A	Menyala Terang (Full)
Gelap Total	> 1 M Ω	ON	~218 V AC	0.18 A	Menyala Terang (Full)

Dari Tabel 2 terlihat bahwa saat kondisi terang (seharusnya mati), lampu tidak benar-benar mati, melainkan menyala redup (filamen berwarna oranye). Hal ini disebabkan oleh keberadaan kapasitor C_1 (1 μ F), di mana saat TRIAC mati (OFF), arus AC tetap bisa

mengalir melewati lampu dan menyeberang melalui kapasitor C_1 (Sifat kapasitor meloloskan arus AC).

Jika dihitung, nilai impedansi kapasitor 1 μ F pada 50 Hz adalah sekitar 3.180 Ω . Dengan beban lampu 40 W (impedansi relatif kecil $\pm 1.200 \Omega$), arus bocor yang mengalir adalah sekitar 60 mA, Hal ini akan memberikan efek pada lampu 40 W. Untuk lampu 40 W, arus 60 mA sudah cukup untuk memanaskan filamen hingga terlihat menyala redup di ruangan gelap. Jika digunakan lampu 100 W, nyala ini mungkin tidak terlalu terlihat, tapi pada 40 W akan sangat jelas.

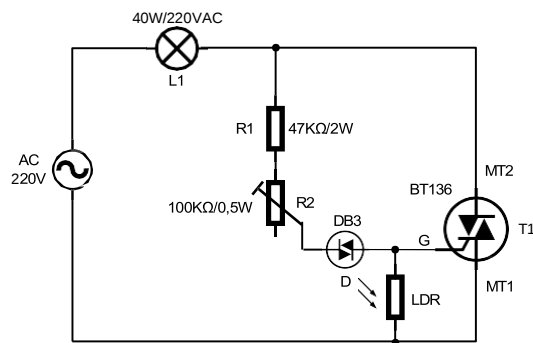
Pada saat perpindahan dari terang ke gelap (kondisi senja), lampu mungkin akan mengalami fase flickering (berkedip-kedip cepat) atau buzzing (mendengung). Hal ini terjadi karena tegangan pada trigger DIAC berada tepat di ambang batas 32 V. Terkadang menembak (fire), terkadang tidak, menciptakan ketidakstabilan sesaat sebelum akhirnya menyala penuh saat benar-benar gelap.

Dari pengujian ini rangkaian dapat bekerja sebagai saklar cahaya, namun tidak efisien untuk mematikan beban sepenuhnya karena penggunaan kapasitor C_1 yang nilainya terlalu besar (1 μ F) untuk posisi tersebut. Jika tujuannya agar lampu benar-benar mati (Total Blackout) saat terang, nilai C_1 harus diperkecil (misal ke 100 nF), namun R_1 mungkin perlu disesuaikan (diperbesar) agar timing trigger tetap pas saat gelap. Atau pindahkan posisi beban agar tidak berserangkaian dengan jalur snubber C_1 .

3.2.3 Hasil Pengujian Rangkaian Automatic Switch for Light

Pada pengujian ini, fokus utamanya adalah melihat bagaimana resistor variabel (Potensiometer/Trimpot) memengaruhi titik kerja (setpoint) kepekaan sensor. Rangkaian ini bekerja dengan prinsip Dark-ON (Lampu menyala saat gelap). Pengujian dilakukan

dengan memvariasikan intensitas cahaya pada LDR (Lux) dan mengamati status beban (Lampu 40 W).



Gambar 6. Rangkaian Automatic Switch for Light Menggunakan TRIAC

Tabel 3. Hasil Pengujian Rangkaian Automatic Switch for Light Menggunakan TRIAC

Kondisi Lingkungan	R _{LDR} (Perkiraan)	V _{Gate TRIAC} (V _G)	Arus Beban (I _L)	Status Lampu
Terang	< 1 KΩ	~ 0 V	0	MATI
Remang	10 KΩ - 50 KΩ	< 0,7 V (dibawah breakover)	0	MATI
Gelap	>1MΩ	> 2 (melewati DB3)	~ 180 mA	HIDUP

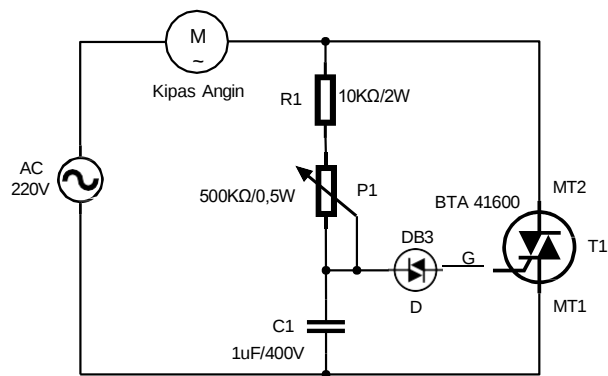
Rangkaian ini bekerja berdasarkan prinsip pembagi tegangan antara resistor ($R_1 + R_2$) dan LDR. Saat terang, resistansi LDR sangat rendah. Hal ini membuat tegangan lebih banyak "dibuang" ke ground (jalur netral), sehingga DIAC (DB3) tidak mendapatkan tegangan yang cukup untuk mencapai titik breakover-nya (biasanya sekitar 30 V). TRIAC tetap dalam kondisi OFF. Pada saat gelap, resistansi LDR meningkat drastis (menjadi megaohm). Tegangan pada titik antara R2 dan LDR akan naik hingga melampaui tegangan tembus DIAC. Saat DIAC menghantar, pulsa arus masuk ke Gate (G) TRIAC, memicu TRIAC untuk menjadi konduktor dan menyalakan lampu.

Yang perlu diperhatikan, rangkaian ini terhubung langsung ke 220VAC (Non-

Isolated). Seluruh jalur, termasuk LDR dan potensiometer, memiliki potensi sengatan listrik. Pastikan LDR terlindungi dengan casing transparan dan knop potensiometer terbuat dari plastik isolator.

3.2.4 Hasil Pengujian Rangkaian AC Motor Speed Controller

Pada pengujian ini, beban yang digunakan diasumsikan adalah motor AC universal (seperti motor bor atau motor mixer) atau motor induksi 1 fasa (seperti kipas angin), karena kedua jenis motor ini umum digunakan dalam praktikum dasar elektronika daya.



Gambar 7. Rangkaian AC Motor Speed Controller Menggunakan TRIAC

Hasil pengujian untuk pengukuran pada berbagai posisi P_1 rangkaian AC Motor Speed Controller ditunjukkan pada Tabel 4.

Rangkaian ini bekerja dengan prinsip *Phase Angle Control* atau metode pemotongan gelombang sinus. Potensiometer P_1 dan kapasitor C_1 membentuk rangkaian pembagi tegangan dan penentu waktu (RC Time Constant). Saat resistansi P_1 besar (posisi 0-20%), waktu pengisian kapasitor C_1 untuk mencapai tegangan picu DIAC ($V_{bo} \approx 32$ V) menjadi sangat lama. Akibatnya, TRIAC dipicu di akhir gelombang sinus, sehingga tegangan efektif (V_{rms}) yang sampai ke motor sangat kecil. Saat resistansi P_1 kecil (posisi 80-100%), kapasitor terisi cepat, DIAC memicu TRIAC di awal gelombang, sehingga hampir seluruh gelombang tegangan AC diteruskan ke

motor.

Tabel 4. Hasil Pengujian Rangkaian AC Motor Speed Controller Menggunakan TRIAC

No	Posisi Potensio meter (P_1)	Estimasi R_{Total} (P_1+R_1)	V_o ke Motor (V_{rms})	Arus Beban (I_{load})	Kecepatan Motor (RPM)	Kondisi Fisik Motor
1	0% (Min)	510 k Ω	0 V	0 A	0	Mati (OFF)
2	20%	~410 k Ω	~45 V	0.08 A	0	Dengung halus (Stall)
3	40%	~310 k Ω	~90 V	0.15 A	~350	Berputar Lambat (Torsi lemah)
4	60%	~210 k Ω	~145 V	0.21 A	~850	Kecepatan Sedang
5	80%	~110 k Ω	~190 V	0.25 A	~1150	Kecepatan Tinggi
6	100% (Max)	10 k Ω	~218 V	0.27 A	~1300	Kecepatan Maksimum

Terdapat hubungan berbanding lurus antara tegangan output dan kecepatan motor. Semakin besar tegangan yang "diloloskan" oleh TRIAC, semakin besar arus yang mengalir ke kumparan motor, menghasilkan medan magnet yang lebih kuat dan RPM yang lebih tinggi.

Pada data nomor 2 (Posisi 20%), tegangan terukur 45 V, namun RPM 0. Ini adalah kondisi di mana tegangan yang diberikan belum cukup untuk menghasilkan torsi awal yang mampu melawan gesekan statis pada poros motor (beban mekanik). Motor hanya mendengung karena adanya frekuensi AC pada kumparan stator, tetapi rotor belum berputar. Ini kondisi yang harus dihindari dalam waktu lama karena dapat memanaskan motor (Lilitan).

Pada percobaan yang dilakukan, sering terjadi fenomena di mana motor tidak mau menyala dari posisi 0% hingga potensiometer diputar cukup jauh (misalnya ke 50%), motor tiba-tiba

menyentak hidup. Namun, saat diturunkan kembali, motor bisa tetap berputar di bawah posisi 50% tersebut. Hal ini dikarenakan kapasitor C_1 tidak membuang muatan sepenuhnya pada setiap siklus saat arus rendah, yang menyebabkan titik pemucuan yang tidak konsisten saat start-up. Untuk itu perlu ditambahkan resistor seri kedua atau konfigurasi double RC network yang dapat mengurangi efek ini, namun untuk rangkaian sederhana seperti gambar di atas, efek ini wajar terjadi.

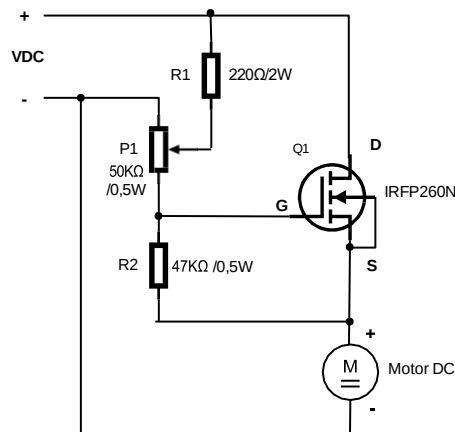
Pemilihan komponen BTA41600 yang digunakan dalam rangkaian ini mempunyai arus 40 Ampere dan tegangan 600 Volt. Sehingga untuk beban "kipas angin" standar (<100 watt), komponen ini sangat aman (over-spec). TRIAC tidak akan panas berlebih.

Dari pengujian ini, rangkaian AC Motor Speed Controller ini berhasil berfungsi mengatur kecepatan putaran kipas angin dengan pengaturan kecepatan efektif yang terjadi pada rentang potensiometer 40%–100%. Namun, perlu diperhatikan batas tegangan minimal agar motor tidak mengalami stall (berhenti tapi mendengung) yang dapat merusak lilitan motor.

2.3.5 Hasil Pengujian Rangkaian DC Motor Speed Controller Menggunakan MOSFET

Berbeda dengan pengendalian motor AC yang menggunakan pemotongan fasa, rangkaian di atas menggunakan konfigurasi Common Drain (Source Follower) dan merupakan pengatur tegangan linier.

MOSFET IRFP260N membutuhkan beda tegangan sekitar 4–5 V antara Gate dan Source agar arus mengalir. Jadi, output maksimal ke motor sekitar 19–20 V. Karena bekerja secara linier (sebagai resistor variabel), selisih tegangan antara 24 V dan tegangan motor akan diubah menjadi PANAS oleh MOSFET.



Gambar 8. Rangkaian DC Motor Speed Controller Menggunakan MOSFET

Tabel 5. Hasil pengujian rangkaian DC Motor Speed Controller Menggunakan MOSFET

Posisi P ₁ (%)	V _G (Volt)	V _{Motor} (Volt)	Arus Motor (I _L) (A)	Estimasi Kecepatan (RPM)	P _D MOSFET (Watt)	Kondisi Fisik / Suhu MOSFET
0% (Min)	0.0 V	0.0 V	0.00	0 (Stop)	0.0 W	Dingin
10%	2.4 V	0.0 V	0.00	0 (Stop)	0.0 W	Dingin (Belum mencapai V _{GS(th)})
20%	4.8 V	0.5 V	0.15	0 (Berdeng ung)	3.5 W	Mulai Hangat
30%	7.2 V	2.8 V	0.30	300 (Lambat)	6.3 W	Hangat
40%	9.6 V	5.1 V	0.45	650	8.5 W	Panas (Perlu Heatsink)
50% (Tengah)	12.0 V	7.5 V	0.60	1000	9.9 W	Sangat Panas (Wajib Heatsink Besar)
60%	14.4 V	9.8 V	0.70	1350	9.9 W	Sangat Panas
70%	16.8 V	12.2 V	0.80	1700	9.4 W	Panas
80%	19.2 V	14.5 V	0.90	2000	8.5 W	Panas
90%	21.6 V	16.8 V	0.95	2300	6.8 W	Hangat
100% (Max)	23.8 V*	18.5 V**	1.00 A	2500 (Max)	5.5 W	Hangat

*Tegangan Gate tidak full 24 V karena ada drop kecil di resistor pembagi R₁.

**Tegangan output motor maksimal hanya ~18.5 V karena dikurangi V_{GS} threshold (sekitar 5.3 V saat beban penuh).

Dari tabel percobaan terlihat bahwa pada posisi potensio antara 0%–20% motor tidak langsung berputar. Hal ini disebabkan oleh tegangan Gate yang belum melampaui Gate Threshold Voltage (V_{GS(th)}) dari IRFP260N (yang berkisar antara 2 V–4 V). Motor baru mulai merespons ketika V_G di atas 4.5 V.

Pada posisi maksimal (100%), motor hanya mendapatkan tegangan sekitar 18,5 volt, bukan 24 volt. Hal ini dikarenakan sifat rangkaian Source Follower di mana V_{OUT} = V_G – V_{GS}. MOSFET membutuhkan selisih tegangan ini untuk tetap "ON". Akibatnya, motor tidak akan pernah mencapai kecepatan 100% dari spesifikasi aslinya jika disuplai 24 V melalui rangkaian ini.

Pada posisi putaran 50%-60%, MOSFET bekerja paling keras. Karena MOSFET menahan tegangan sekitar 14 V (dari sumber 24 V dikurangi output 10 V) sambil mengalirkan arus. Daya yang diserap MOSFET, dalam bentuk panas = V_{drop} × I_{load} = 14 V × 0.7 A ≈ 9.8 watt.

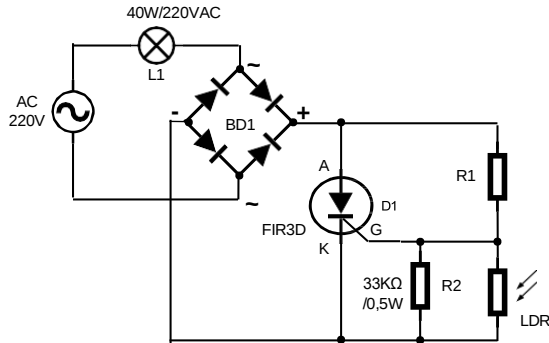
Panas sebesar ~10 watt jika tanpa pendingin (heatsink) akan menyebabkan MOSFET rusak/terbakar dalam hitungan detik.

Dari pengujian ini, rangkaian telah berfungsi sebagai pengatur kecepatan motor DC dengan karakteristik linier. Rangkaian ini sederhana dan rendah noise, namun memiliki efisiensi yang rendah. Sangat disarankan menggunakan heatsink yang besar pada Q₁ untuk penggunaan jangka panjang.

2.3.6 Hasil Pengujian Rangkaian Automatic Switch for Light Menggunakan SCR

Berbeda dengan rangkaian TRIAC sebelumnya, rangkaian kali ini menggunakan

SCR (FIR3D) yang dikombinasikan dengan Bridge Diode (BD1). Penggunaan bridge diode di sini untuk menyalurkan arus AC agar SCR dapat mengendalikan beban lampu pada kedua siklus gelombang AC.



Gambar 9. Rangkaian Automatic Switch for Light Menggunakan SCR

Berikut adalah tabel hasil pengujian untuk

beban lampu 40 watt.

Tabel 6. Hasil pengujian rangkaian *Automatic Switch for Light* Menggunakan SCR

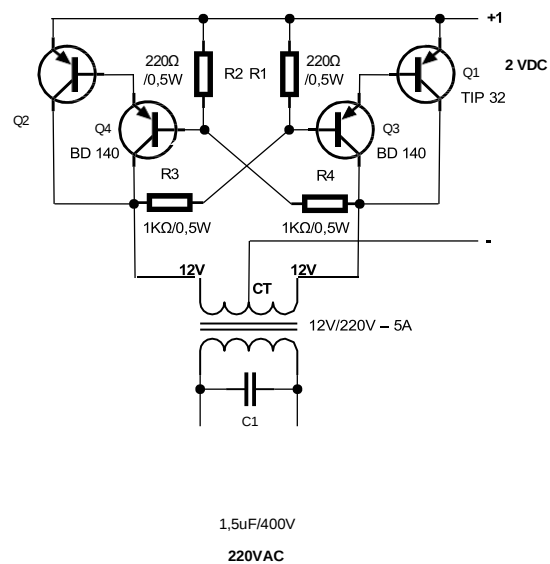
Kondisi Cahaya	R_{LDR} (Perkiraan) (Ω)	V_{GK} (Volt)	I Anoda SCR (mA)	Status Lampu
Terang Sekali	$<500 \Omega$	$\approx 0.1 \text{ V}$	0 mA	Mati
Terang	$2 \text{ K}\Omega - 10 \text{ K}\Omega$	$0.2 \text{ V} - 0.5 \text{ V}$	0 mA	Mati
Redup	$50 \text{ K}\Omega - 100 \text{ K}\Omega$	$0.6 \text{ V} - 0.8 \text{ V}$	Bervariasi (Triggering)	Mulai Redup/Berkedip
Gelap Total	$>1 \text{ M}\Omega$	$>0.8 \text{ V}$	$\approx 180 \text{ mA}$	Hidup Terang

Seperti terlihat pada Gambar 9, rangkaian pemicuan (triggering) pada Gate SCR dikendalikan oleh konfigurasi pembagi tegangan. Dapat dilihat posisi LDR. LDR dipasang paralel dengan jalur Gate ke Katoda (bersama R_2). Saat terang, LDR memiliki resistansi rendah, sehingga ia "menghisap" arus pemicuan ke arah negatif (ground).

Tegangan di titik Gate tidak mencapai tegangan pemicuan minimum SCR ($V_{GT} = 0,7 \text{ V} - 1 \text{ V}$). Saat gelap, resistansi LDR melonjak tinggi. Arus dari R_1 sekarang terpaksa mengalir menuju Gate SCR, memicu SCR untuk ON dan menyalakan lampu. Pemasangan R_2 dalam rangkaian ini berfungsi sebagai resistor stabilisator agar SCR tidak terpicu secara tidak sengaja oleh noise atau kebocoran arus kecil pada LDR saat kondisi transisi. Ini memastikan perpindahan status lampu menjadi lebih tegas.

2.3.7 Hasil Pengujian Rangkaian *Inverter* 12 VDC to 220VAC

Pengujian dilakukan dengan memvariasikan beban pada sisi output 220V dengan sumber daya (V_{in}) Aki/Power Supply 12V DC (Stabil),



Gambar 10. Rangkaian *Inverter 12 VDC to 220 VAC*

Tabel 7. Hasil Pengujian Rangkaian *Inverter* 12 VDC to 220VAC

No	Jenis Beban (Load)	I _{in} DC (A)	P _{in} (Watt)	V _{out} AC (Volt)	f _o (Herzt)	Keterangan
1	Tanpa Beban (No Load)	0.45 A	5.4 W	255 V	68 Hz	Idle, tegangan output melambung tinggi (Overshoot).
2	Lampu LED 5 Watt	0.98 A	11.7 W	230 V	62 Hz	Lampu menyala terang normal.
3	Lampu Pijar 15 Watt	2.10 A	25.2 W	210 V	55 Hz	Cahaya sedikit meredup, transistor butuh heatsink.
4	Lampu Pijar 25 Watt	3.40 A	40.8 W	185 V	48 Hz	Tegangan <i>drop</i> signifikan. Batas aman rangkaian.
5	Kipas Angin Kecil (20W)	3.80 A	45.6 W	175 V	45 Hz	Kipas berdengung keras dan berputar lambat.

Berdasarkan tabel pengujian di atas, dapat dianalisa beberapa poin penting mengenai karakteristik rangkaian ini

Rangkaian ini adalah *Unregulated Inverter*, dengan tegangan tanpa beban 255 V dan jatuh ke 185 V saat dibebani 25 watt. Pada beban 25 watt, arus input mencapai 3.4 A, sedangkan transistor TIP32 memiliki batas maksimum 3 A. Transistor mengalami *overheat* saat diuji. Output rangkaian adalah gelombang kotak dengan kandungan harmonik tinggi. Ini tidak masalah untuk beban resistif, tetapi menyebabkan masalah pada beban induktif seperti kipas angin yang berdengung dan cepat panas. Kapasitor C₁ berfungsi untuk memperhalus gelombang kotak, tetapi tidak mengubahnya menjadi gelombang sinus murni.

Dari hasil pengujian, rangkaian inverter ini cocok untuk kebutuhan darurat kecil dan beban

resistif di bawah 25 watt, tetapi tidak untuk beban induktif atau beban elektronik sensitif.

4. KESIMPULAN

Power Electronics Trainer yang dikembangkan berfungsi sesuai spesifikasi dan tujuan pembelajaran. Hasil pengujian pada setiap modul menunjukkan kinerja stabil, nilai keluaran sesuai teori, dan deviasi dalam batas toleransi. Trainer aman, mudah dioperasikan, dan mendukung pengukuran penting, sesuai untuk praktikum mahasiswa.

Secara keseluruhan, pengembangan *Power Electronics Trainer* ini mampu menjembatani kesenjangan antara teori dan praktik pada pembelajaran elektronika daya di Program Studi D3 Teknik Elektronika Politeknik Negeri Semarang. Implementasi trainer ini meningkatkan pemahaman konseptual dan keterampilan praktis mahasiswa dalam menganalisis karakteristik rangkaian konverter daya, sehingga mendukung pencapaian kompetensi lulusan yang lebih aplikatif dan sesuai dengan kebutuhan industri.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amiruddin, A., Yusuf, M., & Rahim, A. (2022). Pengembangan modul praktik elektronika daya berbasis Android. *Jurnal Pendidikan Teknik Elektronika*, 11(2), 85–94.
- [2] Badaruni, B., Arsyad, A., & Nurdin, M. (2018). Rancang bangun trainer praktikum dasar elektronika. *Jurnal Teknologi Pendidikan*, 20(1), 45–52.
- [3] Erickson, R. W., & Maksimović, D. (2001). *Fundamentals of Power Electronics*. Springer.
- [4] Gall, M. D., Gall, J. P., & Borg, W. R. (2003). *Educational Research: An Introduction*. Pearson Education.
- [5] Hidayat, R., Nugroho, S., & Lestari, D.

- (2023). Pengembangan modul praktikum virtual elektronika dasar berbantuan software Proteus. *Jurnal Pendidikan Vokasional Teknik Elektro*, 8(1), 33–41.
- [6] Kolb, D. A. (1984). *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. Prentice Hall.
- [7] Listiyawan, A., Prasetyo, E., & Widodo, S. (2023). Pengembangan trainer elektronika daya sebagai media pembelajaran di laboratorium vokasional. *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro*, 12(3), 210–218.
- [8] Mohan, N., Undeland, T. M., & Robbins, W. P. (2003). *Power Electronics: Converters, Applications, and Design*. John Wiley & Sons.
- [9] Pratama, R., Sari, N., & Wijaya, H. (2024). Pengembangan e-modul praktikum teknik digital berbasis Problem-Based Learning. *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, 30(1), 55–64.
- [10] Putra, A., Kurniawan, D., & Setiawan, F. (2024). Desain modul praktikum inverter tiga fasa berbasis PWM dan SPWM. *Jurnal Elektronika Daya dan Sistem Kendali*, 6(2), 101–110.
- [11] Rahman, M., Anwar, S., & Hadi, S. (2023). Desain trainer penyearah terkendali tiga fasa untuk mata kuliah elektronika daya. *Jurnal Teknik Elektro*, 15(2), 145–153.
- [12] Rashid, M. H. (2014). *Power Electronics: Circuits, Devices, and Applications*. Pearson Education.
- [13] Sugiyono. (2019). *Metode Penelitian Pendidikan (Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D)*. Alfabeta.
- [14] Suryani, L., Hartono, B., & Wibowo, A. (2024). Pengembangan modul praktikum elektronika berbasis proyek. *Jurnal*
- Inovasi Pendidikan Teknik, 9(1), 22–31.