

PROPOSAL SKRIPSI

RANCANG BANGUN INVERTER SATU FASA BERBASIS SPWM MENGGUNAKAN KENDALI MIKROKONTROLER ESP32 DENGAN EFISIENSI TINGGI



Oleh:

**NAMA MAHASISWA
NPM. G1D02X0XX**

**PROGRAM STUDI SARJANA (S1) TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BENGKULU
2026**

LEMBAR PENGESAHAN

PROPOSAL SKRIPSI

**RANCANG BANGUN INVERTER SATU FASA BERBASIS SPWM
MENGUNAKAN KENDALI MIKROKONTROLER ESP32 DENGAN
EFISIENSI TINGGI**

Oleh:
**NAMA MAHASISWA
NPM. G1D02X0XX**

Proposal Skripsi ini telah disetujui dan disahkan pada tanggal:

Menyetujui,
Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

Nama Dosen Pembimbing I, S.T., M.T.
NIP. 198X0XXX 200X0X 1 00X

Nama Dosen Pembimbing II, S.T., M.Eng.
NIP. 199X0XXX 202X0X 2 00X

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1 Teknik Elektro

Afriyastuti Herawati, S.T., M.T.
NIP. 19730416 199903 2 001

ABSTRAK

Inverter satu fasa merupakan komponen esensial dalam sistem konversi energi terbarukan fotovoltaik. Penelitian ini mengusulkan rancang bangun inverter satu fasa berbasis modulasi lebar pulsa sinusoidal (*Sinusoidal Pulse Width Modulation / SPWM*) dengan algoritma kendali terprogram pada mikrokontroler 32-bit ESP32. Permasalahan utama yang diatasi adalah tingginya rugi-rugi pensaklaran dan distorsi harmonisa total (*Total Harmonic Distortion / THD*) pada beban non-linear. Metodologi penelitian menerapkan pendekatan hibrida 5-fase yang diawali pemodelan matematis analitis, simulasi SPICE menggunakan LTspice untuk memvalidasi filter LC keluaran, perancangan layout PCB berstandar industri dengan KiCad EDA, fabrikasi prototipe fisik 500 VA, dan pengujian laboratorium dengan beban resistif-induktif. Target kuantitatif dari penelitian ini adalah menghasilkan gelombang sinus murni dengan $THD < 3.0\%$ dan efisiensi konversi daya $> 92.5\%$ pada beban nominal. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem konversi energi mandiri yang andal dan efisien.

Kata Kunci: Inverter satu fasa, SPWM, ESP32, THD, Efisiensi daya.

Daftar Isi

LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	2
2 TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Landasan Teori Inverter dan Modulasi SPWM	3
2.2 Penelitian Terdahulu dan Matriks State-of-the-Art	3
3 METODE PENELITIAN	4
3.1 Desain dan Spesifikasi Sistem	4
3.2 Diagram Alir Penelitian	4
3.3 Jadwal Pelaksanaan Penelitian	5
DAFTAR PUSTAKA	5

Bab 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan sistem penyedia daya listrik mandiri berbasis energi terbarukan terus meningkat seiring dinamika transisi energi bersih di Indonesia [1]. Inverter merupakan perangkat elektronika daya yang berfungsi mengubah tegangan searah (DC) dari sumber fotovoltaik atau baterai menjadi tegangan bolak-balik (AC) standar jala-jala 220 V/50 Hz. Kualitas keluaran inverter sangat ditentukan oleh teknik modulasi dan desain tapis keluaran (*output filter*) yang diterapkan.

Metode pensaklaran konvensional kerap menghasilkan distorsi harmonisa yang relatif tinggi dan penurunan efisiensi termal akibat rugi-rugi konduksi dan switching. Berdasarkan perkembangan literatur mutakhir, pemanfaatan mikrokontroler berkemampuan komputasi tinggi berbiaya terjangkau seperti ESP32 membuka peluang implementasi algoritma pembangkitan SPWM presisi tinggi dengan waktu tunda (*dead-time*) adaptif. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji prototipe inverter SPWM yang memenuhi standar mutu daya IEEE 519.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang model matematis dan simulasi rangkaian inverter satu fasa SPWM dengan filter LC untuk mencapai $THD < 3.0\%$?
2. Bagaimana merancang layout PCB dan merealisasikan prototipe inverter 500 VA menggunakan mikrokontroler ESP32?

3. Bagaimana performa efisiensi daya dan deviasi tegangan prototipe inverter terhadap variasi beban dinamis di laboratorium?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah:

1. Memodelkan dan menyimulasikan sistem inverter SPWM dengan perangkat lunak open-source LTspice dan GNU Octave.
2. Membuat perangkat keras prototipe inverter satu fasa 500 VA dengan layout PCB berbasis KiCad EDA.
3. Mengkarakterisasi efisiensi daya, regulasi tegangan, dan persentase error antara simulasi dan pengukuran fisik laboratorium.

1.4 Batasan Masalah

Ruang lingkup dan batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Daya nominal inverter dibatasi maksimum 500 VA dengan tegangan masukan nominal 24 VDC dan tegangan keluaran 220 VAC $\pm 5\%$, frekuensi 50 Hz.
2. Mikrokontroler yang digunakan sebagai pengendali utama adalah ESP32 berbasis arsitektur dual-core 32-bit.
3. Pengujian performa laboratorium dilakukan pada kondisi beban resistif murni (R) dan beban induktif (RL) skala laboratorium.
4. Aspek keekonomian dan interkoneksi ke jaringan utilitas umum (*grid-tied synchronization*) tidak dibahas dalam penelitian ini.

Bab 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori Inverter dan Modulasi SPWM

Inverter jembatan penuh (*H-bridge*) terdiri dari empat saklar semikonduktor daya (MOSFET/IGBT) yang dikemudikan secara komplementer [1]. Modulasi SPWM membandingkan sinyal referensi sinusoidal frekuensi rendah f_m dengan sinyal pembawa segitiga frekuensi tinggi f_c . Indeks modulasi amplitudo (m_a) didefinisikan melalui Persamaan (2.1):

$$m_a = \frac{V_{\text{control}}}{V_{\text{tri}}} \quad (2.1)$$

2.2 Penelitian Terdahulu dan Matriks State-of-the-Art

Kajian literatur 10 tahun terakhir menunjukkan pergeseran dari kendali analog menuju kendali digital berbasis algoritma tertanam [2, 3]. Rangkuman perbandingan penelitian terdahulu disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Matriks Perbandingan Penelitian Terdahulu (State-of-the-Art)

Peneliti & Tahun	Topologi / Metode	Capaian / Metrik	Keterbatasan (Gap)
Rahman dkk. (2024) [1]	Grid-Tied Inverter	Efisiensi 94.2%, THD 2.8%	Kompleksitas komputasi DSP tinggi
Brocard (2023) [3]	Simulasi SPICE Filter	Prediksi harmonisa akurat	Belum divalidasi prototipe fisik
Penelitian Ini (2026)	ESP32 SPWM H-brid	Target $\eta > 92.5\%$, THD $< 3\%$	Diuji skala mandiri 500 VA

Bab 3

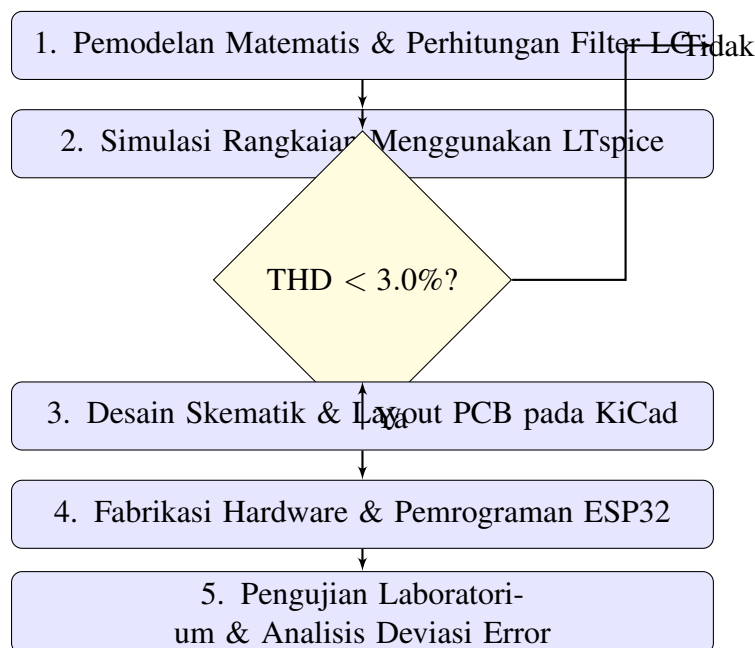
METODE PENELITIAN

3.1 Desain dan Spesifikasi Sistem

Penelitian ini dirancang menggunakan kerangka kerja hibrida yang mengintegrasikan pemodelan analitis, simulasi numerik multi-skala, dan fabrikasi perangkat keras.

3.2 Diagram Alir Penelitian

Tahapan pelaksanaan penelitian dirangkum dalam diagram alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

3.3 Jadwal Pelaksanaan Penelitian

Jadwal rencana kegiatan penelitian selama 16 minggu disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Jadwal Kegiatan Penelitian Skripsi (16 Minggu)

Aktivitas Penelitian	Bulan 1	Bulan 2	Bulan 3	Bulan 4
Kajian Literatur & Seminar Proposal	■			
Simulasi LTspice & Desain KiCad PCB		■		
Fabrikasi Prototipe & Pengujian Lab			■	
Penyusunan Skripsi & Seminar Hasil				■

Bibliografi

- [1] A. Rahman, T. Hidayat, and R. Pratama, “Performance analysis of single-phase grid-tied inverters,” *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 39, no. 4, pp. 1120–1129, 2024.
- [2] K. D. Team, “Kicad eda: A cross platform and open source electronics design automation suite,” *CERN Open Hardware Repository*, 2023.
- [3] G. Brocard, “The Itspice iv/xvii simulator: Manual, methods and applications,” *Analog Devices Inc. Technical Report*, 2023.
- [4] K. Popper, *The Logic of Scientific Discovery*. London, UK: Routledge, 2002.
- [5] T. S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago, IL, USA: University of Chicago Press, 1962.
- [6] M. I. Montrose, *Printed Circuit Board Design Techniques for EMC Compliance: A Handbook for Designers*. Piscataway, NJ, USA: IEEE Press / John Wiley & Sons, 2000.
- [7] J. R. Taylor, *An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements*. Sausalito, CA, USA: University Science Books, 1997.
- [8] *IEEE Code of Ethics and Guidelines for Author Conduct*, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Piscataway, NJ, USA, 2020.
- [9] J. W. Eaton, D. Bateman, S. Hauberg, and R. Wehbring, “Gnu octave: A high-level interactive language for numerical computations,” *Free Software Foundation*, 2022.
- [10] C. Feuersänger, “Manual for package pgfplots: A latex package to create normal/logarithmic plots in two and three dimensions,” *TeX User Group*, 2020.