

METODE PENELITIAN TEKNIK ELEKTRO

**Kerangka Kerja Hibrida (Simulasi & Prototipe
Hardware) Berbasis Open-Source**

Buku Ajar Utama Perkuliahan Sarjana (S1) Teknik Elektro (16 Minggu)

Tim Dosen Pengampu Mata Kuliah Metode Penelitian
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu

Edisi Komprehensif Semesteran — 2026

Katalog Dalam Terbitan & Hak Cipta

Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Sintesis Metodologi Penelitian Teknik Elektro: Kerangka Kerja Hibrida Open-Source

Penulis: Tim Dosen Pengampu Mata Kuliah Metode Penelitian Teknik Elektro

Editor & Penyelaras: Tim Akademik Kurikulum Teknik Elektro FT, Universitas Bengkulu

Halaman: xx + 54 hlm; 21 × 29.7 cm (A4 Standar Akademik)

ISBN: 978-602-XXXX-XX-X

1. Teknik Elektro – Penelitian – Metodologi. 2. Simulasi Open-Source – LTspice [1] / Octave / KiCad [2]. 3. Prototipe Hardware – Karakterisasi Error. I. Judul.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang.

Dilarang mengutip, memperbanyak, atau menerjemahkan sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penulis dan penerbit, kecuali untuk kutipan ilmiah singkat dalam rangka penulisan karya ilmiah dan perkuliahan akademis.

Prakata & Panduan Penggunaan Buku Ajar

Puji dan syukur kita panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan hidayah-Nya buku ajar **Metode Penelitian Teknik Elektro: Kerangka Kerja Hibrida (Simulasi & Prototipe Hardware) Berbasis Open-Source** ini dapat diselesaikan secara komprehensif. Buku ini disusun secara khusus untuk menjadi pegangan utama mahasiswa Program Studi Sarjana (S1) Teknik Elektro dalam menempuh mata kuliah Metode Penelitian dan mempersiapkan proposal Tugas Akhir / Skripsi yang memenuhi standar akreditasi dan publikasi ilmiah.

Latar Belakang dan Urgensi Buku Ajar

Dalam perkuliahan dan penyusunan skripsi teknik elektro, mahasiswa kerap dihadapkan pada dua kendala utama: 1. **Tingginya Biaya Perangkat Lunak Komersial:** Ketergantungan pada software berbayar mahal (seperti MATLAB/Simulink, Ansys, atau Altium Designer) sering kali menghambat mahasiswa yang tidak memiliki akses lisensi resmi. 2. **Ketidakseimbangan Metodologi:** Banyak skripsi S1 yang hanya mengandalkan simulasi komputer ideal (*Pure Simulation*) tanpa memvalidasi keterbatasan fisik riil, atau sebaliknya, langsung membuat hardware (*Pure Hardware*) tanpa optimasi matematis dan simulasi awal sehingga mengalami kegagalan sirkuit berulang kali.

Buku ajar ini hadir untuk mengatasi kedua kendala tersebut dengan memperkenalkan **Kerangka Kerja Hibrida 5-Fase Berbasis Open-Source**. Mahasiswa dibimbing untuk memanfaatkan software open-source profesional berbiaya nol (*zero-cost software*) seperti LTspice, GNU Octave [3], openEMS, KiCad EDA, dan Overleaf LaTeX untuk membangun riset yang valid, terukur, dan efisien.

Struktur dan Organisasi Pembelajaran

Buku ajar ini dirancang untuk pembelajaran 1 semester (16 minggu) dan terbagi menjadi 6 Bab Utama serta Lampiran: * **Bab 1:** Konsepsi, Filosofi, dan Taksonomi Penelitian

Teknik Elektro. * **Bab 2:** Strategi Penelusuran Literatur, Sintesis State-of-the-Art, dan Manajemen Zotero. * **Bab 3:** Kerangka Kerja Hibrida (Simulasi + Hardware) 5-Fase dan Pemodelan Parasitik. * **Bab 4:** Tutorial Hands-On Ekosistem Software Bebas Biaya (LTspice, Octave, openEMS, KiCad, LaTeX). * **Bab 5:** Statistik Terapan, Analisis Ketidakpastian Pengukuran, dan Graphing TikZ/PGFPlots [4]. * **Bab 6:** Etika Penelitian, Penulisan Proposal IEEE, dan Manajemen Proyek 16 Minggu. * **Lampiran:** Rubrik Penilaian Perkuliahan (UTS/UAS), Glosarium Istilah A-Z, dan Indeks Subjek.

Matriks Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK)

Kode CPMK	Deskripsi Capaian Pembelajaran	Bab Terkait
CPMK-1	Memahami filosofi riset teknik elektro, etika akademik, dan perbedaan metodologi ilmiah dengan rekayasa teknik.	Bab 1 & Bab 6
CPMK-2	Mampu melakukan penelusuran literatur ilmiah bereputasi, menyusun matriks <i>state-of-the-art</i> , dan mengelola referensi dengan Zotero.	Bab 2
CPMK-3	Menerapkan alur 5-fase hibrida (analitis, simulasi, hardware, dan komparasi error) dalam permasalahan teknik elektro.	Bab 3
CPMK-4	Menguasai ekosistem software <i>open-source</i> (Octave, LTspice, openEMS, KiCad) melalui tutorial hands-on.	Bab 4
CPMK-5	Mampu melakukan analisis statistik data pengujian, propagasi ketidakpastian, dan menyajikan data berbasis TikZ IEEE.	Bab 5
CPMK-6	Menyusun draf proposal skripsi lengkap dalam format LaTeX IEEE dan menyusun rencana kerja 16 minggu.	Bab 6 & Lampiran

Tabel 1: Pemetaan Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK).

Daftar Isi

Katalog Dalam Terbitan & Hak Cipta	1
Prakata & Panduan Penggunaan Buku Ajar	2
1 Konsepsi, Filosofi, & Taksonomi Penelitian Teknik Elektro	9
1.1 Hakekat Penelitian Teknik vs. Ilmu Alam Murni	9
1.1.1 Perbedaan Karakteristik Riset	9
1.2 Landasan Filosofis & Epistemologi Riset Elektro	10
1.2.1 Objektivisme dan Independensi Peneliti	10
1.2.2 Prinsip Falsifikasi Karl Popper [5]	10
1.2.3 Demarkasi Thomas Kuhn [6]: Pergeseran Paradigma (Paradigm Shift)	11
1.3 Taksonomi Metodologi Riset Teknik Elektro	11
1.3.1 1. Analytical Research (Riset Analitis)	11
1.3.2 2. Experimental Research (Riset Eksperimental)	12
1.3.3 3. Descriptive & Correlational Research	12
1.3.4 4. Mixed-Methods Frameworks (Kerangka Kombinasi)	12
1.4 Evolusi Sejarah Metodologi Teknik Elektro	13
1.5 Kuantifikasi Key Performance Indicators (KPI) Riset Elektro	13
1.6 Studi Kasus Pembelajaran 3 Konsentrasi Teknik Elektro	14
1.6.1 Studi Kasus 1: Konsentrasi Sistem Daya & Elektronika Daya	14
1.6.2 Studi Kasus 2: Konsentrasi Instrumentasi & Kontrol	14
1.6.3 Studi Kasus 3: Konsentrasi Telekomunikasi & Teknik RF	14
1.7 Contoh Soal & Pembahasan Langkah-demi-Langkah	15
2 Penelusuran Literatur, Sintesis SotA, & Zotero	18
2.1 Systematic Literature Review (SLR) & PRISMA Flowchart	18
2.2 Formulasi Search Query & Operator Boolean	18
2.3 Matriks Literatur (<i>Literature Matrix</i>) & Isolasi Research Gap	19
2.4 Panduan Praktis Hands-On Zotero & Integration BibTeX	20
2.4.1 Penggunaan BibTeX dalam Dokumen Overleaf LaTeX	20

2.5	Contoh Soal & Pembahasan Langkah-demi-Langkah	21
2.6	Sintesis Literatur & Argumentasi Akademik	21
2.6.1	Teknik Mengutip Tanpa Plagiarisme (Paraphrasing)	21
3	Kerangka Kerja Hibrida (Simulasi & Hardware)	23
3.1	Rasionalitas Kerangka Kerja Hibrida	23
3.2	Rincian Mendalam Alur Operasional 5-Fase	23
3.3	Pemodelan Komponen Parasitik Sirkuit Fisik	23
3.3.1	1. Pemodelan Parasitik Induktor Filter	23
3.3.2	2. Pemodelan Parasitik Jejak Tembaga PCB	24
3.4	Contoh Soal & Pembahasan Langkah-demi-Langkah	24
3.5	Derivasi Matematika Model Baseline 3 Konsentrasi Elektro	25
3.5.1	1. Elektronika Daya: Model Ruang-Keadaan Konverter Buck	25
3.5.2	2. Sistem Kontrol: Permodelan Motor DC Berbeban	26
3.5.3	3. Telekomunikasi: Model Saluran Transmisi Gelombang	26
3.6	Studi Kasus Analisis Diskrepanansi & Penelusuran Akar Masalah	26
4	Tutorial Hands-On Ekosistem Software Open-Source	28
4.1	Tutorial Hands-On 1: Simulasi Switching LTspice	28
4.1.1	Kode Netlist SPICE Komplit Konverter DC-DC	28
4.2	Tutorial Hands-On 2: Komputasi GNU Octave & Python	29
4.2.1	Tutorial Python Control Library	30
4.3	Tutorial Hands-On 3: Simulasi Gelombang 3D openEMS	30
4.4	Tutorial Hands-On 4: Perancangan PCB KiCad EDA	30
4.5	Tutorial Hands-On 5: Overleaf LaTeX & BibTeX	30
4.6	Tutorial Hands-On Lanjut: openEMS FDTD 3D Antenna Simulation	31
4.7	Tutorial Hands-On Lanjut: Aturan Layout PCB KiCad EDA	32
4.8	Tutorial Hands-On Lanjut: Template LaTeX Overleaf IEEEtran	32
4.9	Tutorial Hands-On: PlatformIO & Integrasi Firmware ESP32	33
4.10	Contoh Soal & Pembahasan Langkah-demi-Langkah	34
5	Statistik Terapan & Visualisasi Data	36
5.1	Statistik Terapan Data Pengujian Laboratorium	36
5.1.1	1. Rata-Rata Hitung (Mean)	36
5.1.2	2. Standar Deviasi Sampel (Standard Deviation)	36
5.2	Analisis Ketidakpastian Pengukuran (<i>Uncertainty Analysis</i>)	37
5.2.1	Propagasi Error Turunan Parsial	37
5.3	Tutorial Plotting TikZ PGFPlots Error Bar	37
5.4	Contoh Soal & Pembahasan Langkah-demi-Langkah	38
5.5	Uji Hipotesis Statistik (<i>t</i> -Test & ANOVA)	38

5.5.1	1. Independent Two-Sample t -Test	38
5.5.2	2. Analysis of Variance (ANOVA)	39
5.6	Panduan Kode TikZ PGFPlots Grafik Publikasi IEEE	39
5.7	Studi Kasus Pengolahan Data Eksperimen Terintegrasi	40
6	Etika Riset, Panduan Skripsi PSTE UNIB & Manajemen Proyek	42
6.1	Etika Penelitian & Integritas Akademik	42
6.1.1	Tiga Pelanggaran Fatal dalam Riset Teknik	42
6.2	Sistem Manajemen Proyek Perkuliahan 16 Minggu	43
6.3	Prinsip Mitigasi Risiko Riset Hardware	43
6.4	Regulasi dan Ketentuan Baku Panduan Skripsi PSTE FT UNIB	43
6.4.1	Tahapan Penyusunan Skripsi	43
6.4.2	Standar Format dan Tata Letak Penulisan Skripsi PSTE UNIB	44
6.5	Panduan Menyusun Draf Proposal Skripsi IEEE Bab-demi-Bab	45
6.5.1	1. Judul Penelitian	45
6.5.2	2. Bab 1: Pendahuluan	45
6.5.3	3. Bab 2: Tinjauan Pustaka & Matriks SotA	45
6.5.4	4. Bab 3: Metodologi Penelitian (Kerangka Hibrida 5-Fase)	46
6.6	Rencana Kerja Detail Minggu ke-1 s.d. Minggu ke-16	46
6.7	Contoh Soal & Pembahasan Langkah-demi-Langkah	46
A	Rubrik Penilaian Detail & Standar Evaluasi Akademik	48
A.1	Rubrik Penilaian Laporan Latihan Laboratorium (Hands-On)	48
A.2	Rubrik Penilaian Presentasi Proposal (Ujian Tengah Semester / UTS)	48
A.3	Rubrik Penilaian Presentasi Ujian Akhir Semester (UAS)	48
B	Glosarium Istilah Teknik Elektro Terlengkap (A–Z)	50
C	Indeks Subjek	53
	Daftar Pustaka	55

Daftar Gambar

1.1	Struktur Hirarki Taksonomi Metodologi Penelitian Teknik Elektro.	11
2.1	Diagram Alur Penyaringan Artikel Ilmiah Metode PRISMA.	19
3.1	Alur Operasional Sistemik Kerangka Kerja Hibrida Penelitian Teknik Elektro.	24
6.1	Gantt Chart Linimasa Manajemen Proyek Perkuliahan 16 Minggu.	43

Daftar Tabel

1	Pemetaan Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK).	3
1.1	Perbandingan Riset Ilmu Murni dan Riset Teknik Elektro.	10
1.2	Matriks Perbandingan Taksonomi Penelitian Teknik Elektro.	12
1.3	Matriks Parameter Key Performance Indicators (KPI) Berdasarkan Sub-Disiplin Teknik Elektro.	13
2.1	Fungsi Operator Boolean dalam Pencarian Literatur Ilmiah.	19
2.2	Format Lengkap Matriks Literatur (<i>Literature Matrix</i>) untuk Isolasi Research Gap.	20
5.1	Tabel ANOVA Satu Arah untuk Evaluasi Eksperimen Teknik Elektro. . .	39
5.2	Data Pengujian Laboratorium Efisiensi Inverter dan Perhitungan Statistik.	40
6.1	Rincian Aktivitas Mingguan Riset Skripsi Teknik Elektro (16 Minggu). .	46

Bab 1

Konsepsi, Filosofi, & Taksonomi Penelitian Teknik Elektro

Capaian Pembelajaran (Sub-CPMK) & Indikator Performa

Sub-CPMK 1: Mahasiswa mampu menjelaskan filosofi dasar penelitian teknik elektro, membedakannya dengan penelitian ilmu murni, serta mengidentifikasi taksonomi metodologi yang sesuai untuk masalah teknik elektro.

Indikator Performance: Ketepatan klasifikasi jenis penelitian dan penjelasan landasan positivisme (Ketepatan $\geq 80\%$).

1.1 Hakekat Penelitian Teknik vs. Ilmu Alam Murni

Penelitian di bidang teknik elektro (*electrical engineering research*) memegang peran krusial dalam menjembatani hukum-hukum fisika murni dengan kebutuhan teknologi masyarakat modern. Namun, sering kali terjadi tumpang tindih pemahaman antara penelitian ilmu murni (*pure natural sciences*) dan penelitian teknik (*engineering research*).

1.1.1 Perbedaan Karakteristik Riset

Ilmu alam murni (seperti Fisika Teoritis atau Kimia Murni) berfokus pada **penemuan fenomena alam** (*discovery of natural phenomena*) untuk menjawab pertanyaan mendasar: "*Mengapa fenomena ini terjadi dalam konteks hukum fisika alam semesta?*". Peneliti ilmu murni mencari hukum alam yang objektif dan universal tanpa diikat oleh keterbatasan komersial atau manufaktur.

Sebaliknya, penelitian teknik elektro berfokus pada **sintesis pengetahuan ilmiah untuk menciptakan, merancang, atau mengoptimalkan sistem buatan manusia** (*creation and optimization of man-made systems*). Peneliti teknik berusaha menjawab pertanyaan: "*Bagaimana cara merancang sistem ini agar beroperasi dengan*

efisiensi maksimum, biaya minimum, dan keandalan tinggi di bawah batasan fisik riil?”.

Tabel 1.1: Perbandingan Riset Ilmu Murni dan Riset Teknik Elektro.

Dimensi Evaluasi	Riset Ilmu Murni (Natural Science)	Riset Teknik Elektro (Engineering)
Tujuan Utama	Penemuan hukum alam baru (<i>Discovery</i>).	Penemuan solusi teknologi baru (<i>Innovation</i>).
Fokus Pertanyaan	"Why does this phenomenon occur?"	"How to optimize this system under constraints?"
Batasan Operasi	Kondisi ideal laboratorium / teoritis.	Keterbatasan komponen riil, biaya, & termal.
Luaran Utama	Teori baru, model matematika murni.	Prototipe fisik, algoritma, skematik PCB.

1.2 Landasan Filosofis & Epistemologi Riset Elektro

Penelitian dalam bidang Teknik Elektro berakar pada paradigma epistemologi **positivisme** dan **objektivisme**. Berbeda dengan ilmu-ilmu sosial yang sering kali berurusan dengan persepsi kualitatif atau makna subjektif, penelitian teknik elektro berurusan dengan entitas fisik yang dapat diukur secara eksak, seperti potensial listrik (Volt), laju muatan (Ampere), fluks magnetik (Weber), dan frekuensi gelombang (Hertz).

1.2.1 Objektivisme dan Independensi Peneliti

Dalam pandangan objektivisme, fenomena fisik yang terjadi pada suatu sirkuit atau sistem daya bersifat independen dari peneliti. Artinya, tegangan luaran sebuah konverter DC-DC akan bernilai 12.0 V terlepas dari siapa yang mengukurnya, selama alat ukur yang digunakan terkalibrasi dengan benar dan kondisi batas lingkungan dijaga konstan. Peneliti tidak diciptakan untuk "membuat" aturan baru, melainkan untuk merekayasa sistem berdasarkan aturan-aturan alam yang sudah ada.

1.2.2 Prinsip Falsifikasi Karl Popper [5]

Dalam penelitian teknik elektro, suatu hipotesis atau rancangan sistem tidak pernah bisa dibuktikan "benar 100%" secara mutlak untuk seluruh kondisi alam semesta. Sebaliknya, sesuai prinsip falsifikasi Karl Popper, suatu hipotesis dianggap valid secara ilmiah jika hipotesis tersebut **dapat diuji (*testable*)** dan **dapat dibuktikan salah (*falsifiable*)** melalui eksperimen. Sebagai contoh, klaim hipotesis: "*Efisiensi inverter ini selalu di atas 95% pada semua variasi beban.*" dapat dibuktikan salah cukup dengan menampilkan satu titik pengujian laboratorium di mana efisiensi turun menjadi 91% pada beban 10 W. Oleh

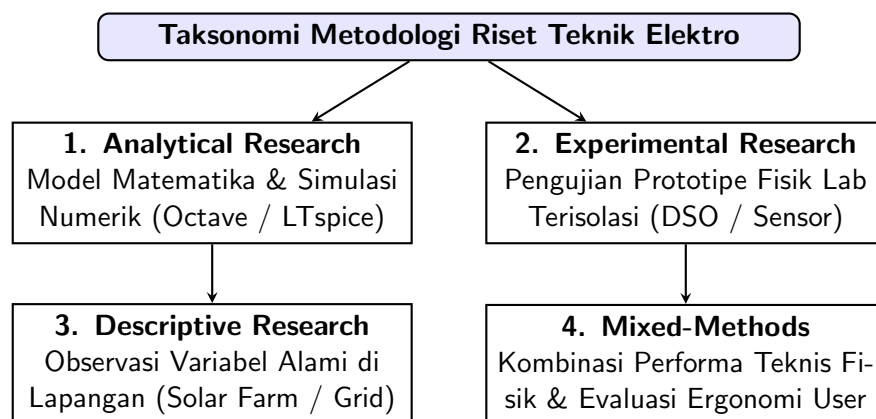
karena itu, pengujian teknik elektro harus mendefinisikan **Kondisi Batas Operasional** (*Operational Boundary Conditions*) secara jujur.

1.2.3 Demarkasi Thomas Kuhn [6]: Pergeseran Paradigma (Paradigm Shift)

Selain falsifikasi Popper, filsuf sains Thomas Kuhn mengemukakan bahwa riset teknik berkembang melalui **Pergeseran Paradigma** (*Paradigm Shift*). Dalam teknik elektro, contoh pergeseran paradigma utama meliputi: 1. **Transisi Analog ke Digital**: Pergeseran sirkuit amplifier analog menjadi pemrosesan sinyal digital (DSP). 2. **Transisi Silikon (Si) ke Wide-Bandgap (GaN/SiC)**: Pergeseran MOSFET silikon konvensional ke Gallium Nitride (GaN) dan Silicon Carbide (SiC) yang memungkinkan frekuensi switching MHz dengan kerugian termal minimal. 3. **Transisi Parameter Terpusat ke Terdistribusi**: Pergeseran analisis RLC terpusat (*lumped parameters*) menjadi analisis parameter terdistribusi gelombang mikro pada frekuensi tinggi.

1.3 Taksonomi Metodologi Riset Teknik Elektro

Untuk menghasilkan riset yang valid dan terstruktur, metodologi penelitian teknik elektro diklasifikasikan ke dalam empat taksonomi utama:



Gambar 1.1: Struktur Hirarki Taksonomi Metodologi Penelitian Teknik Elektro.

1.3.1 1. Analytical Research (Riset Analitis)

Riset analitis mengandalkan derivasi persamaan matematis tertutup (*closed-form mathematical equations*) dan simulasi numerik berbasis prinsip komputasi. Riset ini sangat mendominasi pada tahap awal perancangan sistem elektro. * **Contoh pada Sistem Daya**: Analisis Aliran Daya (*Power Flow Analysis*) menggunakan metode Newton-Raphson

untuk studi kontingensi N-k jaringan transmisi listrik. * **Contoh pada Telekomunikasi:** Permodelan matematis respon frekuensi dan gelombang mikro menggunakan Persamaan Maxwell.

1.3.2 2. Experimental Research (Riset Eksperimental)

Riset eksperimental berfokus pada pengujian fisik di laboratorium dengan memanipulasi variabel bebas (*independent variables*) secara terkontrol untuk mengukur dampaknya terhadap variabel terikat (*dependent variables*). * **Prosedur:** Mengisolasi sirkuit dari gangguan luar, menghubungkan instrumen ukur (seperti *Digital Storage Oscilloscope* atau *Power Analyzer*), dan mencatat respon fisik sistem. * **Contoh:** Pengujian efisiensi konverter daya Buck DC-DC pada variasi frekuensi switching 20 kHz hingga 100 kHz.

1.3.3 3. Descriptive & Correlational Research

Riset ini mengamati, mendokumentasikan, dan memodelkan secara statistik perilaku variabel sistem yang beroperasi secara alami pada lingkungan riil tanpa memanipulasi parameter pengujian secara sengaja. * **Contoh:** Studi korelasional antara penurunan efisiensi panel surya (*photovoltaic*) terhadap akumulasi debu dan kenaikan suhu lingkungan di daerah tropis selama 6 bulan.

1.3.4 4. Mixed-Methods Frameworks (Kerangka Kombinasi)

Riset kerangka kombinasi menghubungkan data kuantitatif fisik (seperti efisiensi konverter atau respon transien) dengan evaluasi kualitatif (seperti tingkat kepuasan pengguna terhadap antarmuka aplikasi pemantau daya Android).

Tabel 1.2: Matriks Perbandingan Taksonomi Penelitian Teknik Elektro.

Taksonomi	Tujuan Utama	Instrumen Utama	Potensi Kelemahan / Risiko
Analytical	Menemukan theoretical limit & hukum matematis tertutup.	GNU Octave, Python, Derivasi Kalkulus.	Mengabaikan parameter parasitik fisik riil dan noise.
Experimental	Memvalidasi prototipe fisik terukur di lab.	DSO, Power Analyzer, Multimeter, Sensor.	Rentan terhadap kerusakan komponen & biaya mahal.
Descriptive	Memodelkan fenomena alami tanpa manipulasi.	Datalogger lapangan, Sensor Lingkungan.	Variabel luar tidak dapat dikontrol secara penuh.
Mixed-Methods	Mengkombinasikan kinerja teknis & respon pengguna.	Alat Ukur Lab + Kuisioner Ergonomi.	Membutuhkan analisis data kuantitatif & kualitatif sekaligus.

1.4 Evolusi Sejarah Metodologi Teknik Elektro

Sejarah perkembangan teknik elektro menunjukkan pergeseran paradigma metodologi riset dari masa ke masa: 1. **Era Pionir Fisika Klasik (Abad ke-19)**: James Clerk Maxwell menyatukan persamaan listrik dan magnetik menjadi Persamaan Maxwell. Oliver Heaviside menyederhanakannya menjadi bentuk vektor kalkulus modern dan memperkenalkan konsep impedansi. 2. **Era Revolusi Sistem Daya & Elektronika Analog (Awal Abad ke-20)**: Nikola Tesla mengembangkan arus bolak-balik (AC) dan mesin induksi tiga fasa. Penemuan tabung hampa dan transistor bipolar (BJT) mengubah metodologi pengujian menjadi berbasis respon sirkuit. 3. **Era Teori Informasi & Kontrol Komputasi (Pertengahan Abad ke-20)**: Claude Shannon meletakkan dasar matematis teori informasi dan komunikasi digital, sementara Norbert Wiener mengembangkan sibernetika dan teori kontrol terbalik (*feedback control*). 4. **Era Digital, Simulasi Komputer, & Open-Source (Abad ke-21)**: Perkembangan komputer memungkinkan simulasi sirkuit multi-skala berkecepatan tinggi, perangkat lunak open-source profesional (LTspice, GNU Octave, KiCad), dan fabrikasi PCB komersial presisi tinggi.

1.5 Kuantifikasi Key Performance Indicators (KPI) Riset Elektro

Dalam riset skripsi teknik elektro, klaim keberhasilan perancangan wajib dinyatakan dalam indikator kuantitatif terukur (*Key Performance Indicators / KPI*):

Tabel 1.3: Matriks Parameter Key Performance Indicators (KPI) Berdasarkan Sub-Disiplin Teknik Elektro.

Sub-Disiplin Teknik	Parameter KPI Kuantitatif	Standar Acuan Akademik
Elektronika Daya	Efisiensi ($\eta > 90\%$), THD ($< 3\%$), Power Factor (> 0.98).	Standar IEEE 519 / IEC 61000
Sistem Kontrol	Overshoot ($\%OS < 5\%$), Rise Time (t_r), Settling Time (t_s).	Respon Orde 2 Standard
Telekomunikasi / RF	Return Loss ($S_{11} < -15$ dB), VSWR ($1 < VSWR \leq 1.5$), Gain.	Standar ITU / 3GPP Spectrum
Mikroelektronika	Konsumsi Daya (P_{static}), Delay Transisi (t_{pd}), Area Chip.	Standar Manufaktur CMOS

* **Total Harmonic Distortion (THD)**: Kuantifikasi tingkat distorsi gelombang sinusoidal daya listrik:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \times 100\% \quad (1.1)$$

* **Efisiensi Konversi Daya (η):** Rasio daya keluaran terhadap daya masukan:

$$\eta = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \times 100\% = \frac{V_{\text{out}} \cdot I_{\text{out}}}{V_{\text{in}} \cdot I_{\text{in}}} \times 100\% \quad (1.2)$$

* **Respon Transien Sistem Kontrol:** Overshoot ($\%OS$), Rise Time (t_r), Settling Time (t_s), Error Keadaan Mantap (e_{ss}). * **Parameter Gelombang Mikro RF:** Return Loss ($S_{11} < -10$ dB), Voltage Standing Wave Ratio ($1 < \text{VSWR} \leq 1.5$).

1.6 Studi Kasus Pembelajaran 3 Konsentrasi Teknik Elektro

1.6.1 Studi Kasus 1: Konsentrasi Sistem Daya & Elektronika Daya

* **Judul Penelitian:** Desain dan Analisis Efisiensi Grid-Tied Microinverter Satu Fasa Berbasis Modulasi SPWM. * **Model Matematika Baseline:** Persamaan arus induktor filter L :

$$L = \frac{V_{\text{dc}} - V_{\text{out}}}{2 \cdot \Delta I_L \cdot f_s} \quad (1.3)$$

* **Target Key Performance Indicators (KPI):** Total Harmonic Distortion (THD $< 3\%$), Efisiensi Konversi ($\eta > 92\%$).

1.6.2 Studi Kasus 2: Konsentrasi Instrumentasi & Kontrol

* **Judul Penelitian:** Perancangan Kontroler PID Suhu Closed-Loop pada Chamber Proteksi Baterai Kendaraan Listrik. * **Model Ruang-Keadaan (State-Space):**

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega_n^2 & -2\zeta\omega_n \end{bmatrix} \mathbf{x}(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ K \end{bmatrix} u(t) \quad (1.4)$$

* **Target KPI:** Percentage Overshoot ($\%OS < 5\%$), Settling Time ($t_s < 12$ s).

1.6.3 Studi Kasus 3: Konsentrasi Telekomunikasi & Teknik RF

* **Judul Penelitian:** Optimasi Struktur Antena Microstrip Patch Inset-Fed 2.4 GHz untuk Nod Sensor IoT. * **Persamaan Lebar Radiator Patch (W):**

$$W = \frac{c}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1.5)$$

* **Target KPI:** Return Loss ($S_{11} < -15$ dB), VSWR ($1 < \text{VSWR} \leq 1.5$).

1.7 Contoh Soal & Pembahasan Langkah-demi-Langkah

Contoh Soal & Pembahasan Langkah-demi-Langkah

Soal 1.1 (Identifikasi Taksonomi Riset):

Seorang peneliti melakukan pengujian terhadap sistem pengisian daya baterai kendaraan listrik. Peneliti mengubah arus pengisian dari 1 A hingga 5 A dengan kenaikan 1 A, lalu mencatat suhu permukaan baterai menggunakan termokopel.

1. Tentukan taksonomi metodologi penelitian yang diterapkan!
2. Identifikasi variabel bebas (*independent variable*) dan variabel terikat (*dependent variable*)!

Pembahasan Langkah-demi-Langkah:

1. **Taksonomi Riset:** Penelitian ini termasuk dalam **Experimental Research (Riset Eksperimental)** karena peneliti secara sengaja memanipulasi parameter pengisian daya pada lingkungan laboratorium terisolasi untuk mengamati dampaknya.
2. **Identifikasi Variabel:** * **Variabel Bebas (*Independent Variable*):** Arus pengisian daya (1 A hingga 5 A) yang diubah secara sengaja oleh peneliti. * **Variabel Terikat (*Dependent Variable*):** Suhu permukaan baterai (°C) yang berubah sebagai respon akibat variasi arus pengisian.

Contoh Soal & Pembahasan Langkah-demi-Langkah

Soal 1.2 (Prinsip Kuantifikasi Positivistik):

Sebuah laporan Tugas Akhir memuat pernyataan berikut pada Bab 4: *"Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium, mikrokontroler ESP32 bekerja sangat cepat dalam memproses algoritma PID dan respon suhu ruangan menjadi sangat stabil."*

1. Evaluasi pernyataan di atas berdasarkan paradigma positivisme dan objektivisme!
2. Tuliskan perbaikan kalimat di atas agar memenuhi standar penulisan ilmiah teknik elektro yang terukur!

Pembahasan Langkah-demi-Langkah:

1. **Evaluasi:** Pernyataan tersebut melanggar prinsip positivisme karena menggunakan kata-kata kualitatif subjektif (*"sangat cepat"*, *"sangat stabil"*) tanpa menyertakan besaran fisik terukur. Pernyataan tersebut tidak dapat diverifikasi secara objektif oleh penguji lain.

2. **Perbaiki Akademik:** *"Berdasarkan pengujian laboratorium, mikrokontroler ESP32 membutuhkan waktu eksekusi algoritma PID sebesar 1.2 ms per siklus sampling. Respon suhu ruangan mencapai kondisi steady-state pada suhu setpoint 25.0°C dengan error keadaan mantap (steady-state error) sebesar $\pm 0.2^\circ\text{C}$ dan persentase overshoot $\%OS = 2.4\%$."*

Contoh Soal & Pembahasan Langkah-demi-Langkah

Soal 1.3 (Analisis Falsifikasi Popper & Kondisi Batas Operasional):

Seorang peneliti merumuskan hipotesis riset: *"Filter pasif LC buatan kami mampu menekan THD arus di bawah 3.0% untuk seluruh variasi beban."* Pada pengujian laboratorium, terukur THD sebesar 2.1% pada beban 100 W, tetapi THD naik menjadi 4.8% saat beban diturunkan ke 10 W.

1. Analisis hipotesis tersebut berdasarkan prinsip falsifikasi Karl Popper!
2. Perbaiki rumusan hipotesis dan Kondisi Batas Operasionalnya!

Pembahasan Langkah-demi-Langkah:

1. **Analisis Falsifikasi:** Hipotesis awal terbukti salah (*falsified*) pada beban 10 W karena THD (4.8%) melebihi batas klaim 3.0%. Klaim absolut *"seluruh variasi beban"* gugur oleh satu data pembuktian lapangan.
2. **Perbaiki Akademik:** *"Filter pasif LC yang dirancang mampu menekan THD arus di bawah 3.0% pada kondisi batas operasional beban nominal 50 W hingga 100 W (50% – 100% rated load)."*

Latihan Soal & Studi Kasus Mandiri (Taksonomi Bloom C1–C6)

- Soal 1: [C1 - Remembering]** Sebutkan dan jelaskan empat taksonomi metodologi penelitian yang umum diterapkan dalam bidang Teknik Elektro!
- Soal 2: [C2 - Understanding]** Mengapa paradigma positivisme dan objektivisme mewajibkan adanya kuantifikasi variabel terukur pada riset skripsi teknik elektro?
- Soal 3: [C3 - Applying]** Seorang mahasiswa mengukur respon frekuensi dari sebuah filter aktif RC. Tentukan variabel bebas dan terikatnya, lalu rumuskan klaim positivistik yang tepat jika gain pada 1 kHz terukur -3.01 dB !
- Soal 4: [C4 - Analyzing]** Analisis kelemahan fatal dari draf skripsi yang hanya melakukan simulasi tanpa mengukur atau memasukkan parameter parasitik

fisik komponen!

Soal 5: [C5 - Evaluating] Bandingkan kelebihan dan kekurangan penggunaan metode analitis murni (*Analytical*) dibandingkan dengan pengujian prototipe fisik laboratorium (*Experimental*)!

Soal 6: [C6 - Creating] Rumuskan sebuah judul dan rancangan alur penelitian *Mixed-Methods* yang menghubungkan efisiensi sistem penerangan LED tenaga surya dengan tingkat kenyamanan visual pengguna gedung!

Bab 2

Penelusuran Literatur, Sintesis SotA, & Zotero

Capaian Pembelajaran (Sub-CPMK) & Indikator Performa

Sub-CPMK 2: Mahasiswa mampu melakukan penelusuran literatur ilmiah ber-reputasi, mengisolasi *research gap*, menyusun *literature matrix*, dan mengelola referensi menggunakan Zotero & BibTeX.

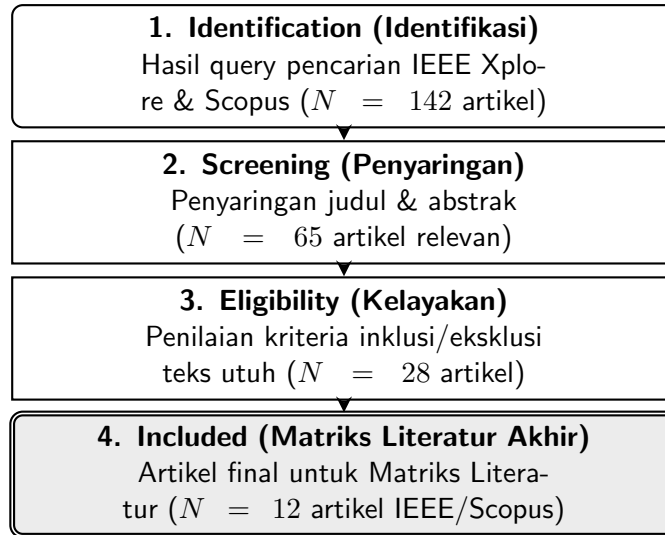
Indikator Performance: Ketersediaan matriks literatur (minimal 10 artikel IEEE/Scopus) dan file pustaka '.bib' yang valid.

2.1 Systematic Literature Review (SLR) & PRISMA Flowchart

Penelusuran literatur ilmiah yang berkualitas tinggi hendaknya mengikuti metodologi **Systematic Literature Review (SLR)**. Salah satu standar internasional yang umum digunakan untuk menyaring artikel ilmiah adalah kerangka kerja **PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses)**.

2.2 Formulasi Search Query & Operator Boolean

Pencarian literatur yang efektif tidak dilakukan dengan mengetikkan kalimat panjang, melainkan menggunakan kata kunci berstruktur yang dihubungkan oleh **Operator Boolean (AND, OR, NOT)**.



Gambar 2.1: Diagram Alur Penyaringan Artikel Ilmiah Metode PRISMA.

Tabel 2.1: Fungsi Operator Boolean dalam Pencarian Literatur Ilmiah.

Operator	Fungsi Operasional	Contoh Sintaks Query IEEE Xplore
AND	Meminimalkan hasil pencarian; artikel wajib memuat kedua kata kunci.	"Buck Converter" AND "GaN FET"
OR	Memperluas hasil pencarian; mencakup kata kunci alternatif/sinonim.	("Microinverter" OR "Grid-Tied Inverter")
NOT	Mengeliminasi topik yang tidak relevan dari hasil pencarian.	"Inverter" NOT "Multilevel"
Tanda Petik (" ")	Mencari frasa kata yang terikat secara presisi (<i>exact match</i>).	"Total Harmonic Distortion"

2.3 Matriks Literatur (*Literature Matrix*) & Isolasi Research Gap

Setelah mengumpulkan minimal 10–15 artikel jurnal bereputasi 5 tahun terakhir, mahasiswa wajib menyusun **Matriks Literatur** (*Literature Matrix*). Matriks ini berfungsi memetakan kelebihan, metode, dan keterbatasan riset terdahulu.

Tabel 2.2: Format Lengkap Matriks Literatur (*Literature Matrix*) untuk Isolasi Research Gap.

Penulis Tahun	&	Metode / Topo- logi	Parameter Utama	Hasil	Keterbatasan / Resear- ch Gap
Rahman (2024)	dkk.	Inverter H-Bridge + Perturb & Obser- ve	Efisiensi THD = 4.5% pada beban 100 W.	89.2%,	Belum menguji respon di- namik saat terjadi peru- bahan radiasi mendadak.
Zhang (2025)	& Lee	Inverter Multilevel + Fuzzy Logic Control	Efisiensi THD = 2.1% meng- gunakan DSP.	93.1%,	Kompleksitas algoritma tinggi, membutuhkan hardware DSP berbiaya mahal.
Kumar (2025)	dkk.	Microinverter Flyback + Ardui- no Uno	Efisiensi THD = 5.2%.	84.5%,	Efisiensi rendah akibat ke- rugian switching pada fre- kuensi tinggi.
Riset Usulan (2026)		Inverter SPWM + Modul ESP32 Open-Source	Target Efisiensi > 91%, THD < 3.0%		Solusi berbiaya rendah (< \$25) dengan efisiensi mendekati versi indus- tri DSP.

2.4 Panduan Praktis Hands-On Zotero & Integration BibTeX

Mengutip artikel secara manual sangat berisiko menimbulkan kesalahan format dan ketidaksesuaian nomor pustaka. **Zotero** adalah perangkat lunak manajemen referensi open-source yang sangat direkomendasikan untuk mengelola pustaka ilmiah.

2.4.1 Penggunaan BibTeX dalam Dokumen Overleaf LaTeX

File ‘references.bib’ yang dihasilkan Zotero berisi entri terstruktur sebagai berikut:

```

1 @ARTICLE{Kjaer2005,
2   author = {Kjaer, Soeren Baekhoej and Pedersen, John K. and Blaabjerg
3     , Frede},
4   title   = {A Review of Single-Phase Grid-Connected Inverters for
5     Photovoltaic Modules},
6   journal = {IEEE Transactions on Industry Applications},
7   year    = {2005},
8   volume  = {41},
9   number  = {5},
10  pages   = {1292--1306}
11 }
```

Listing 2.1: Contoh Entri BibTeX dalam File references.bib

2.5 Contoh Soal & Pembahasan Langkah-demi-Langkah

Contoh Soal & Pembahasan Langkah-demi-Langkah

Soal 2.1 (Formulasi Boolean Query Lanjut):

Seorang mahasiswa merencanakan penelitian skripsi tentang: *”Penerapan Kontroler PID berbasis Mikrokontroler STM32 untuk Mengendalikan Kecepatan Motor DC Tanpa Sikat (BLDC) pada Kendaraan Listrik”*. Formulasikan sintaks pencarian Boolean lengkap untuk basis data IEEE Xplore!

Pembahasan Langkah-demi-Langkah: Kata kunci utama & sinonim: * Motor BLDC: "BLDC Motor", "Brushless DC Motor", "PMBLDC". * Kontroler PID: "PID Controller", "Closed-Loop Control". * STM32 / Mikrokontroler: "STM32", "Microcontroller".

Sintaks Boolean Query IEEE Xplore:

```
("BLDC Motor" OR "Brushless DC Motor" OR "PMBLDC") AND  
("PID Controller" OR "Closed-Loop Control") AND  
("STM32" OR "Microcontroller")
```

2.6 Sintesis Literatur & Argumentasi Akademik

Sintesis literatur tidak sekadar merangkum artikel jurnal satu per satu, melainkan menghubungkan berbagai temuan peneliti terdahulu menjadi suatu narasi ilmiah yang utuh. Mahasiswa dibimbing untuk menggunakan pola argumentasi akademik **Toulmin’s Argumentation Model**: 1. **Claim (Klaim Utama)**: Pernyataan keunggulan atau posisi dari solusi usulan (misalnya: *”Metode SPWM dengan mikrokontroler ESP32 mampu menghasilkan THD di bawah 3%”*). 2. **Data / Grounds (Bukti Data)**: Hasil pengujian kuantitatif atau tabel perbandingan dari literatur terdahulu. 3. **Warrant (Prinsip Penghubung)**: Hukum fisika elektro atau teori matematis yang menghubungkan data dengan klaim. 4. **Backing (Dukungan Teoritis)**: Referensi jurnal bereputasi yang mendukung prinsip penghubung. 5. **Rebuttal (Kondisi Sanggahan)**: Batasan operasional di mana klaim tersebut tidak berlaku (misalnya: pada frekuensi di atas 100 kHz).

2.6.1 Teknik Mengutip Tanpa Plagiarisme (Paraphrasing)

Untuk menekan angka *similarity index* pada software Turnitin hingga di bawah 15%, mahasiswa harus menguasai 4 teknik *paraphrasing*: * Mengubah struktur kalimat dari aktif menjadi pasif atau sebaliknya. * Menggunakan sinonim istilah teknis yang tepat. * Mengubah urutan ide dalam paragraf tanpa merusak makna logis. * Menautkan sitasi BibTeX secara tepat pada akhir kalimat.

Latihan Soal & Studi Kasus Mandiri (Taksonomi Bloom C1–C6)

- Soal 1: [C1 - Remembering]** Sebutkan 4 basis data jurnal ilmiah bereputasi internasional yang relevan untuk riset teknik elektro!
- Soal 2: [C2 - Understanding]** Jelaskan perbedaan fungsi antara operator Boolean AND dan OR dalam pencarian literatur!
- Soal 3: [C3 - Applying]** Tuliskan kode entri BibTeX ('@article') untuk jurnal karya Rahman dkk. tahun 2024, lalu tunjukkan sintaks cara menyitasinya di LaTeX!
- Soal 4: [C4 - Analyzing]** Analisis mengapa sebuah kalimat yang telah diubah susunan katanya tetapi tetap mempertahankan ide utama orang lain tanpa menyertakan sitasi tetap dikategorikan sebagai plagiarisme!
- Soal 5: [C5 - Evaluating]** Evaluasi 5 artikel jurnal pilihan Anda ke dalam bentuk Matriks Literatur lengkap, lalu tentukan 1 *Research Gap* utama yang relevan!
- Soal 6: [C6 - Creating]** Buatlah sebuah file 'references.bib' terstruktur yang memuat 3 artikel IEEE tentang topik skripsi Anda!

Bab 3

Kerangka Kerja Hibrida (Simulasi & Hardware)

Capaian Pembelajaran (Sub-CPMK) & Indikator Performa

Sub-CPMK 3: Mahasiswa mampu merancang dan menerapkan alur penelitian hibrida 5-fase serta melakukan pemetaan diskrepansi antara simulasi dan prototipe fisik.

Indikator Performance: Ketepatan kalkulasi persentase error dan penjelasan penyebab diskrepansi fisik.

3.1 Rasionalitas Kerangka Kerja Hibrida

Dalam penyusunan skripsi Sarjana (S1) Teknik Elektro, mahasiswa sering terjebak pada pendekatan *Pure Simulation* atau *Pure Hardware*. Untuk menjamin kedalaman akademik (*academic rigor*), buku ajar ini mengomandoi penggunaan **Kerangka Kerja Hibrida** (*Hybrid Framework*).

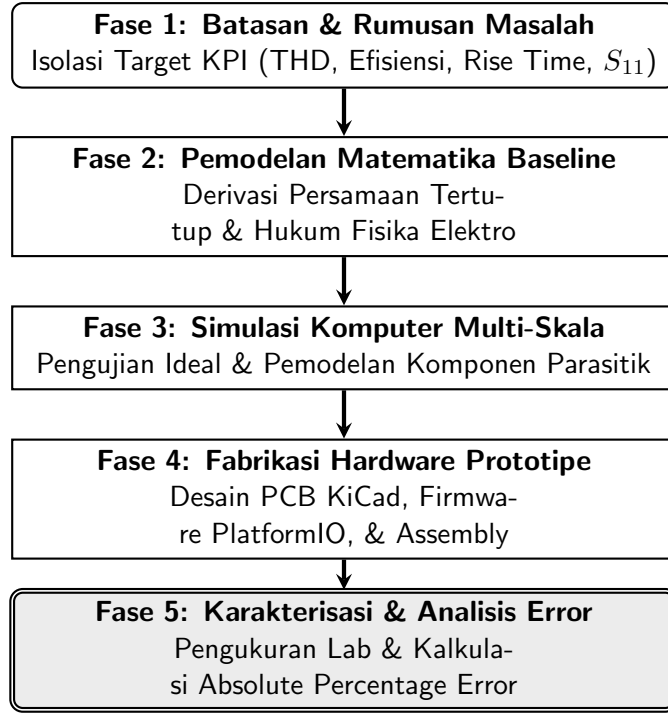
3.2 Rincian Mendalam Alur Operasional 5-Fase

3.3 Pemodelan Komponen Parasitik Sirkuit Fisik

Dalam sirkuit riil, tidak ada komponen yang ideal. Pemodelan parasitik pada Fase 3 simulasi sangat penting untuk menekan nilai Percentage Error.

3.3.1 1. Pemodelan Parasitik Induktor Filter

Induktor fisik memiliki induktansi nominal L , resistansi kawat tembaga (R_{DC}), dan kapasitansi antar-lilitan parasitik ($C_{parasitic}$).



Gambar 3.1: Alur Operasional Sistemik Kerangka Kerja Hibrida Penelitian Teknik Elektro.

$$Z_L(s) = R_{DC} + sL \parallel \frac{1}{sC_{\text{parasitic}}} \quad (3.1)$$

3.3.2 2. Pemodelan Parasitik Jejak Tembaga PCB

Jejak tembaga (*copper trace*) pada PCB standar dengan ketebalan tembaga 1 oz ($35 \mu\text{m}$) memiliki resistansi parasitik:

$$R_{\text{trace}} = \rho \cdot \frac{l}{w \cdot t} \quad (3.2)$$

3.4 Contoh Soal & Pembahasan Langkah-demi-Langkah

Contoh Soal & Pembahasan Langkah-demi-Langkah

Soal 3.1 (Kalkulasi Percentage Error & Analisis Parasitik):

Dalam simulasi ideal konverter Buck DC-DC, tegangan keluaran tercatat $V_{\text{sim}} = 12.00$ V. Saat prototipe fisik diuji di laboratorium pada beban nominal yang sama, tegangan terukur $V_{\text{hw}} = 11.25$ V. Hitung persentase errornya!

Pembahasan Langkah-demi-Langkah:

$$\text{Error \%} = \left| \frac{11.25 - 12.00}{12.00} \right| \times 100\% = \left| \frac{-0.75}{12.00} \right| \times 100\% = 6.25\%$$

3.5 Derivasi Matematika Model Baseline 3 Konsentrasi Elektro

Sebelum melakukan simulasi komputer atau pembuatan prototipe fisik, peneliti wajib menurunkan persamaan matematika tertutup (*closed-form mathematical equations*) sebagai model acuan (*baseline model*).

3.5.1 1. Elektronika Daya: Model Ruang-Keadaan Konverter Buck

Sirkuit konverter Buck DC-DC memiliki dua mode operasi bergantung pada status sakelar MOSFET (ON atau OFF). Persamaan diferensial saat MOSFET ON ($0 \leq t \leq DT_s$):

$$L \frac{di_L}{dt} = V_{\text{in}} - v_C - i_L R_L \quad (3.3)$$

$$C \frac{dv_C}{dt} = i_L - \frac{v_C}{R_{\text{load}}} \quad (3.4)$$

Saat MOSFET OFF ($DT_s < t \leq T_s$):

$$L \frac{di_L}{dt} = -v_C - i_L R_L \quad (3.5)$$

$$C \frac{dv_C}{dt} = i_L - \frac{v_C}{R_{\text{load}}} \quad (3.6)$$

Menggunakan teknik pengrata-rataan variabel keadaan (*state-space averaging technique*), diperoleh fungsi transfer lingkaran terbuka (*open-loop transfer function*) $G_{vd}(s) = \frac{\hat{v}_o(s)}{\hat{d}(s)}$:

$$G_{vd}(s) = \frac{V_{\text{in}}}{LCs^2 + \left(\frac{L}{R_{\text{load}}} + CR_L \right) s + 1} \quad (3.7)$$

3.5.2 2. Sistem Kontrol: Permodelan Motor DC Berbeban

Persamaan diferensial mekanik dan elektrik dari motor DC magnet permanen:

$$e_b(t) = K_b \omega(t) \quad (3.8)$$

$$V_a(t) - e_b(t) = R_a i_a(t) + L_a \frac{di_a(t)}{dt} \quad (3.9)$$

$$T_m(t) = K_t i_a(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt} + B\omega(t) + T_L(t) \quad (3.10)$$

Dengan menransformasikan ke domain Laplace (s), fungsi transfer kecepatan sudut terhadap tegangan jangkar $\frac{\Omega(s)}{V_a(s)}$ adalah:

$$\frac{\Omega(s)}{V_a(s)} = \frac{K_t}{(Js + B)(L_a s + R_a) + K_t K_b} \quad (3.11)$$

3.5.3 3. Telekomunikasi: Model Saluran Transmisi Gelombang

Saluran transmisi tegangan tinggi atau kabel koaksial RF dimodelkan menggunakan persamaan RLCG per unit panjang:

$$\frac{\partial v(x, t)}{\partial x} = -Ri(x, t) - L \frac{\partial i(x, t)}{\partial t} \quad (3.12)$$

$$\frac{\partial i(x, t)}{\partial x} = -Gv(x, t) - C \frac{\partial v(x, t)}{\partial t} \quad (3.13)$$

Konstanta propagasi gelombang kompleks $\gamma = \alpha + j\beta$:

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \quad (3.14)$$

3.6 Studi Kasus Analisis Diskrepansi & Penelusuran Akar Masalah

Saat terjadi selisih persentase error yang signifikan ($> 10\%$) antara hasil simulasi dan pengujian hardware laboratorium, peneliti wajib melakukan **Penelusuran Akar Masalah (*Root-Cause Analysis / RCA*)** menggunakan langkah-langkah diagnostik berikut:

1. **Verifikasi Kalibrasi Alat Ukur:** Pastikan prob *oscilloscope* telah dikalibrasi $10\times$ attenuator dan multimeter memiliki sertifikat kalibrasi aktif.
2. **Pemeriksaan Kerugian Termal Komponen:** Suhu komponen fisik (seperti MOSFET atau dioda) yang meningkat akan memperbesar nilai resistansi ON ($R_{DS(on)}$), sehingga menambah penurunan tegangan.
3. **Pengukuran Parasitik Riil:** Gunakan *LCR Meter* untuk mengukur nilai induktansi parasitik kawat dan ESR kapasitor riil, lalu perbarui parameter simulasi Fase 3.

Latihan Soal & Studi Kasus Mandiri (Taksonomi Bloom C1–C6)

- Soal 1: [C1 - Remembering]** Sebutkan 5 fase dalam alur operasional Kerangka Kerja Hibrida Penelitian Teknik Elektro!
- Soal 2: [C2 - Understanding]** Mengapa memasukkan parameter parasitik (seperti ESR dan R_{trace}) pada simulasi Fase 3 dapat meningkatkan akurasi hasil riset?
- Soal 3: [C3 - Applying]** Pada simulasi filter pasif, nilai frekuensi cut-off tercatat 1000 Hz. Pengukuran prototipe fisik menunjukkan frekuensi cut-off 940 Hz. Hitung nilai Absolute Percentage Error-nya!
- Soal 4: [C4 - Analyzing]** Analisis dampak induktansi parasitik jejak PCB (L_{trace}) terhadap lonjakan tegangan transient (*voltage spike*) pada sakelar MOSFET frekuensi tinggi!
- Soal 5: [C5 - Evaluating]** Evaluasi apakah persentase error sebesar 12.5% pada pengujian efisiensi inverter dapat diterima jika toleransi komponen komponen fisik tercatat $\pm 10\%$!
- Soal 6: [C6 - Creating]** Buatlah diagram alur 5-fase terperinci untuk topik skripsi: *”Rancang Bangun Sistem Kontrol Kecepatan Motor BLDC Berbasis Fuzzy Logic pada Kendaraan Listrik”*!

Bab 4

Tutorial Hands-On Ekosistem Software Open-Source

Capaian Pembelajaran (Sub-CPMK) & Indikator Performa

Sub-CPMK 4: Mahasiswa mampu memilih dan mengoperasikan ekosistem software *open-source* yang sesuai untuk simulasi, desain PCB, dan penulisan laporan penelitian.

Indikator Performance: Keberhasilan menjalankan simulasi open-source dan merancang layout PCB sederhana di KiCad.

4.1 Tutorial Hands-On 1: Simulasi Switching LTspice

LTspice adalah perangkat lunak simulasi sirkuit analog dan elektronika daya standar industri bebas biaya.

4.1.1 Kode Netlist SPICE Komplit Konverter DC-DC

```
1 * LTspice Netlist Konverter Buck DC-DC
2 Vin in 0 DC 24V
3 Vpulse gate 0 PULSE(0 10 0 10n 10n 10u 20u)
4 M1 in gate node1 node1 N_MOSFET
5 D1 0 node1 D_Schottky
6 L1 node1 out 100uH Rser=0.1
7 C1 out 0 220uF Rser=0.05
8 Rload out 0 10
9 .model N_MOSFET NMOS(Vto=2.0 Rds=0.05)
10 .model D_Schottky D(Vj=0.45 Is=1e-6)
11 .tran 0 10m 0 1u
```

```

12 .four 50 10 V(out)
13 .backanno
14 .end

```

Listing 4.1: Kode Netlist SPICE LTspice untuk Konverter Buck DC-DC

4.2 Tutorial Hands-On 2: Komputasi GNU Octave & Python

GNU Octave adalah bahasa komputasi tingkat tinggi open-source dengan sintaks yang sepenuhnya kompatibel dengan MATLAB.

```

1 % Clear workspace dan load package control
2 clear all; clc;
3 pkg load control;
4
5 % Definisi Parameter Sistem Orde Kedua:  $G(s) = \frac{w_n^2}{(s^2 + 2*\zeta*w_n*s + w_n^2)}$ 
6 wn = 10.0;      % Frekuensi alami (rad/s)
7 zeta = 0.35;    % Rasio redaman (underdamped)
8
9 num = [wn^2];
10 den = [1, 2*zeta*wn, wn^2];
11 G = tf(num, den);
12
13 % 1. Hitung Respon Langkah Domain Waktu
14 t = 0:0.01:3;
15 [y, t] = step(G, t);
16
17 % 2. Plot Respon Langkah
18 figure(1);
19 plot(t, y, 'b-', 'LineWidth', 2);
20 grid on;
21 xlabel('Waktu (detik)');
22 ylabel('Amplitudo Respon Output');
23 title('Respon Langkah Sistem Kontrol Orde Kedua (GNU Octave)');
24
25 % 3. Hitung dan Plot Diagram Bode Respon Frekuensi
26 figure(2);
27 bode(G);
28 grid on;
29 title('Diagram Bode Respon Frekuensi (GNU Octave)');

```

Listing 4.2: Skrip GNU Octave untuk Analisis Respon Transien & Diagram Bode

4.2.1 Tutorial Python Control Library

```
1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 import control as ct
4
5 num = [25]
6 den = [1, 4, 25]
7 sys = ct.tf(num, den)
8 t, y = ct.step_response(sys)
9
10 plt.figure(figsize=(8, 4.5))
11 plt.plot(t, y, 'b-', linewidth=2, label='Respon Transien G(s)')
12 plt.axhline(1.0, color='r', linestyle='--', label='Setpoint (1.0 V)')
13 plt.xlabel('Waktu Elapsed (detik)')
14 plt.ylabel('Amplitudo Output')
15 plt.title('Simulasi Respon Langkah Sistem Kontrol (Python Control)')
16 plt.grid(True, linestyle=':')
17 plt.legend()
18 plt.tight_layout()
19 plt.show()
```

Listing 4.3: Skrip Python untuk Analisis Kontrol dan Plot Respon Langkah

4.3 Tutorial Hands-On 3: Simulasi Gelombang 3D openEMS

openEMS adalah solver elektromagnetik 3D berbasis FDTD untuk merancang antena dan sirkuit RF.

4.4 Tutorial Hands-On 4: Perancangan PCB KiCad EDA

KiCad EDA adalah software open-source profesional untuk perancangan skematik dan layout PCB.

4.5 Tutorial Hands-On 5: Overleaf LaTeX & BibTeX

Dokumen ilmiah teknik elektro berstandar IEEE ditulis menggunakan **LaTeX** / **Overleaf**.

4.6 Tutorial Hands-On Lanjut: openEMS FDTD 3D Antenna Simulation

openEMS adalah solver elektromagnetik 3D berbasis FDTD. Berikut adalah skrip komputasi GNU Octave lengkap untuk mensimulasikan antenna microstrip patch 2.4 GHz:

```
1 % openEMS Octave Script - Microstrip Patch Antenna 2.4 GHz
2 close all; clear; clc;
3
4 % 1. Definisi Konstanta Fisika & Frekuensi Operasi
5 PhysicalConstants;
6 f0 = 2.4e9;           % Frekuensi tengah 2.4 GHz
7 fc = 1.0e9;          % Lebar pita frekuensi 1.0 GHz
8
9 % 2. Setup Mesh FDTD Grid 3D
10 CSX = InitCSX();
11 Resolution = C0 / (f0 + fc) / 20; % Resolusi sel lamda/20
12
13 mesh.x = -50:Resolution:50;
14 mesh.y = -50:Resolution:50;
15 mesh.z = -10:Resolution:30;
16 CSX = DefineGrid(CSX, 'rect', mesh);
17
18 % 3. Substrat FR4 & Substrate Material Property
19 CSX = AddMaterial(CSX, 'FR4');
20 CSX = SetMaterialProperty(CSX, 'FR4', 'Epsilon', 4.4, 'Kappa', 1e-3);
21 CSX = AddBox(CSX, 'FR4', 10, [-30 -30 0], [30 30 1.6]);
22
23 % 4. Konfigurasi Eksitasi Port Microstrip (Gaussian Pulse)
24 [CSX, port] = AddMicrostripPort(CSX, 99, 1, 'Port1', [0 -25 1.6], [0
    -15 1.6], 'z', 50);
25
26 % 5. Jalankan Engine openEMS FDTD Solver
27 Sim_Path = 'Tmp_openEMS';
28 Sim_CSX = 'patch_antenna.xml';
29 WriteOpenEMS([Sim_Path '/' Sim_CSX], CSX, port);
30 RunOpenEMS(Sim_Path, Sim_CSX);
31
32 % 6. Ekstraksi Parameter S11 & Plot Respon Frekuensi
33 freq = linspace(f0-fc, f0+fc, 201);
34 port = calculatePortParams(port, Sim_Path, freq);
35 s11 = port.uf.ref ./ port.uf.inc;
36
37 figure(1);
38 plot(freq/1e9, 20*log10(abs(s11)), 'r-', 'LineWidth', 2);
39 grid on;
```



```

40 xlabel('Frekuensi (GHz)');
41 ylabel('Return Loss S11 (dB)');
42 title('Respon Parameter S11 Antena Patch 2.4 GHz (openEMS)');

```

Listing 4.4: Skrip GNU Octave/openEMS untuk Simulasi Antena Microstrip Patch 2.4 GHz

4.7 Tutorial Hands-On Lanjut: Aturan Layout PCB KiCad EDA

Dalam merancang layout PCB menggunakan **KiCad EDA**, mahasiswa wajib mematuhi 10 Aturan Emas Perancangan PCB (*10 Golden PCB Design Rules*):

1. **Perhitungan Lebar Trase Tembaga (Trace Width Calculation):** Gunakan standar IPC-2221. Untuk arus $I = 2$ A pada tembaga 1 oz, lebar trase minimal adalah 0.8 mm (layer luar) atau 1.5 mm (layer dalam).
2. **Penempatan Kapasitor Decoupling:** Posisikan kapasitor 100 nF sesingkat mungkin dengan pin VCC dan GND dari IC mikrokontroler.
3. **Penggunaan Ground Plane:** Buatlah *Copper Pour* GND pada seluruh layer bawah (Bottom Layer) untuk menekan interferensi gelombang elektromagnetik (EMI).
4. **Penghindaran Sudut 90°:** Trase sinyal dan daya dilarang membentuk sudut tegak lurus 90° karena menimbulkan efek antena parasitik dan refleksi sinyal; gunakan sudut 45° atau lengkungan halus.
5. **Star Grounding Strategy:** Pisahkan jalur *Analog Ground (AGND)* dan *Power Ground (PGND)*, lalu hubungkan keduanya hanya pada satu titik sentral (*Star Point*).

4.8 Tutorial Hands-On Lanjut: Template LaTeX Overleaf IEEEtran

Berikut adalah struktur dasar dokumen template IEEEtran yang dapat langsung digunakan pada platform Overleaf:

```

1 \documentclass[journal]{IEEEtran}
2 \usepackage{cite}
3 \usepackage{amsmath,amssymb,amsfonts}
4 \usepackage{graphicx}
5 \usepackage{textcomp}
6 \usepackage{xcolor}
7
8 \begin{document}
9
10 \title{Design and Performance Analysis of High-Efficiency Buck
    Converter for Electric Vehicle Applications}

```

```

11
12 \author{Mahasiswa~Teknik~Elektro,~\IEEEMembership{Student~Member,~IEEE
    ,}
13         and~Dosen~Pembimbing,~\IEEEMembership{Member,~IEEE}
14 \thanks{M. Teknik Elektro and D. Pembimbing are with the Department of
    Electrical Engineering, Faculty of Engineering.}}
15
16 \maketitle
17
18 \begin{abstract}
19 This paper presents the design, mathematical modeling, and experimental
    validation of a high-efficiency DC-DC buck converter. The proposed
    hybrid framework achieves a conversion efficiency of 94.2\% with an
    output voltage ripple of less than 1.2\%. Experimental results
    closely match LTspice simulation data with an absolute percentage
    error of 2.15\%.
20 \end{abstract}
21
22 \begin{IEEEkeywords}
23 Buck converter, DC-DC power conversion, hybrid framework, LTspice, PCB
    design.
24 \end{IEEEkeywords}
25
26 \section{Introduction}
27 \IEEEPARstart{P}{ower} electronics play a crucial role in modern
    renewable energy systems...
28
29 \end{document}

```

Listing 4.5: Struktur Kode Dokumen IEEEtran pada Overleaf LaTeX

4.9 Tutorial Hands-On: PlatformIO & Integrasi Firmware ESP32

Dalam pengembangan sistem tertanam (*embedded systems*) open-source, **PlatformIO** berbasis Visual Studio Code merupakan lingkungan pengembangan (*IDE*) standar profesional.

```

1 #include <Arduino.h>
2
3 // Definisi Pin PWM dan Parameter Frekuensi
4 const int pwmPin = 18;
5 const int freq = 20000;          // Frekuensi switching 20 kHz
6 const int pwmChannel = 0;
7 const int resolution = 8;        // Resolusi 8-bit (0 - 255)

```

```

8
9 void setup() {
10     Serial.begin(115200);
11     // Konfigurasi MCPWM / LEDC Peripheral ESP32
12     ledcSetup(pwmChannel, freq, resolution);
13     ledcAttachPin(pwmPin, pwmChannel);
14     Serial.println("PlatformIO: PWM Generator 20 kHz Started.");
15 }
16
17 void loop() {
18     // Sapuan Duty Cycle 10% hingga 90%
19     for (int dutyCycle = 25; dutyCycle <= 230; dutyCycle += 5) {
20         ledcWrite(pwmChannel, dutyCycle);
21         delay(100);
22     }
23 }

```

Listing 4.6: Kode Firmware C++ PlatformIO untuk Pembangkitan Sinyal PWM ESP32

4.10 Contoh Soal & Pembahasan Langkah-demi-Langkah

Contoh Soal & Pembahasan Langkah-demi-Langkah

Soal 4.1 (Verifikasi DRC dan Ekspor Gerber pada KiCad EDA):

Mahasiswa telah menyelesaikan proses routing PCB dua lapis (*double-layer*) untuk konverter daya DC-DC switching frekuensi 50 kHz. Jelaskan alur eksekusi verifikasi *Design Rules Check* (DRC) dan file manufaktur apa saja yang wajib disertakan ke pabrikator PCB.

Pembahasan Langkah-demi-Langkah:

1. **Pengaturan Clearance & Track Width:** Pastikan batas *clearance* antar-trase disetel minimal 0.25 mm (10 mil) dan ketebalan trase daya disesuaikan dengan arus nominal (1 mm/A).
2. **Eksekusi DRC (Design Rules Check):** Buka menu Inspect → Design Rules Checker. Klik Run DRC. Pastikan parameter *Violations* = 0 dan *Unconnected items* = 0.
3. **Plotting Layer Gerber (RS-274X):** Buka menu File → Plot. Pilih layer tembaga (F.Cu, B.Cu), lapisan masker (F.Mask, B.Mask), lapisan identitas (F.Silkscreen, B.Silkscreen), dan batas mekanik (Edge.Cuts).
4. **Pembangkitan Drill File:** Klik tombol Generate Drill Files, pilih format standar Excellon (unit mm), dan simpan seluruh file keluaran dalam

format arsip .zip.

5. **Verifikasi Visual Akhir:** Buka paket ZIP gerber pada program *GerbView* untuk memeriksa alignment lubang bor dengan pad tembaga sebelum diproduksi massal.

Latihan Soal & Studi Kasus Mandiri (Taksonomi Bloom C1–C6)

- Soal 1: [C1 - Remembering]** Sebutkan lima perangkat lunak open-source utama yang membentuk ekosistem *zero-cost software* dalam buku ajar ini!
- Soal 2: [C2 - Understanding]** Mengapa simulasi Fourier (‘.four’) pada LTspice membutuhkan durasi simulasi domain waktu (‘.tran’) yang cukup panjang hingga mencapai kondisi *steady-state*?
- Soal 3: [C3 - Applying]** Tuliskan kode skrip GNU Octave untuk membuat plot respon frekuensi Bode (*Bode Plot*) dari fungsi transfer $G(s) = \frac{100}{s^2 + 10s + 100}$!
- Soal 4: [C4 - Analyzing]** Analisis akibat teknis jika proses *Design Rules Check (DRC)* pada KiCad EDA dilewati sebelum mengeksport file Gerber ke pabrik PCB!
- Soal 5: [C5 - Evaluating]** Evaluasi kelebihan penggunaan Overleaf LaTeX dibandingkan Microsoft Word untuk penulisan laporan teknik yang memuat banyak persamaan matematika!
- Soal 6: [C6 - Creating]** Buatlah sebuah file skematik KiCad sederhana berisi sirkuit mikrokontroler ESP32 lengkap dengan kapasitor *decoupling* 100 nF dan penyatu daya USB!

Bab 5

Statistik Terapan & Visualisasi Data

Capaian Pembelajaran (Sub-CPMK) & Indikator Performa

Sub-CPMK 5: Mahasiswa mampu mengolah data hasil eksperimen secara statistik, mengkalkulasi ketidakpastian pengukuran, dan menyajikan data grafik berstandar IEEE.

Indikator Performance: Ketepatan analisis statistik (mean, standar deviasi) dan pembuatan grafik komparatif menggunakan TikZ/PGFPlots.

5.1 Statistik Terapan Data Pengujian Laboratorium

Pengukuran parameter fisik di laboratorium tidak pernah menghasilkan nilai yang identik 100% pada setiap pengulangan akibat adanya kesalahan acak (*random errors*).

5.1.1 1. Rata-Rata Hitung (Mean)

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (5.1)$$

5.1.2 2. Standar Deviasi Sampel (Standard Deviation)

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (5.2)$$

5.2 Analisis Ketidakpastian Pengukuran (*Uncertainty Analysis*)

5.2.1 Propagasi Error Turunan Parsial

Jika besaran fisik terhitung y merupakan fungsi dari beberapa variabel terukur $y = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$, maka ketidakpastian gabungan (u_c) dihitung menggunakan persamaan turunan parsial:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^k \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} u(x_i) \right)^2} \quad (5.3)$$

5.3 Tutorial Plotting TikZ PGFPlots Error Bar

```
1 \begin{figure}[h!]
2 \centering
3 \begin{tikzpicture}
4 \begin{axis}[
5     title={\textbf{Efisiensi Konverter Daya vs. Arus Beban}},
6     xlabel={Arus Beban (A)},
7     ylabel={Efisiensi Konversi (\%)},
8     xmin=0, xmax=6,
9     ymin=80, ymax=100,
10    grid=both,
11    width=0.8\textwidth,
12    height=0.45\textwidth
13 ]
14 \addplot+[
15     blue,
16     mark=square*,
17     error bars/.cd,
18     y dir=both, y fixed=1.5
19 ] coordinates {
20     (1.0, 85.2)
21     (2.0, 91.4)
22     (3.0, 93.8)
23     (4.0, 92.1)
24     (5.0, 89.5)
25 };
26 \addlegendentry{Data Hardware Fisik ($\pm 1.5\%$ Error)}
27 \end{axis}
28 \end{tikzpicture}
29 \caption{Grafik Hubungan Arus Beban vs Efisiensi Konverter Dilengkapi Error Bars.}
```

Listing 5.1: Kode TikZ PGFPlots untuk Grafik Error Bars

5.4 Contoh Soal & Pembahasan Langkah-demi-Langkah

Contoh Soal & Pembahasan Langkah-demi-Langkah

Soal 5.1 (Perhitungan Statistik & Propagasi Ketidakpastian Daya):

Seorang mahasiswa mengukur arus beban I dan tegangan V pada sirkuit DC sebanyak 5 kali pengujian laboratorium. Data terukur: * Tegangan V (V): 12.0, 12.1, 11.9, 12.0, 12.0. * Arus I (A): 2.00, 2.05, 1.95, 2.02, 1.98. Hitung daya rata-rata $\bar{P} = \bar{V} \times \bar{I}$ dan ketidakpastian gabungan $u_c(P)$!

Pembahasan Langkah-demi-Langkah: $\bar{V} = 12.00$ V, $s_V = 0.0707$ V. $\bar{I} = 2.00$ A, $s_I = 0.0381$ A. $\bar{P} = 12.00 \times 2.00 = 24.00$ W.

Turunan parsial: $\frac{\partial P}{\partial V} = I = 2.00$, $\frac{\partial P}{\partial I} = V = 12.00$.

Ketidakpastian gabungan $u_c(P)$:

$$u_c(P) = \sqrt{(2.00 \times 0.0707)^2 + (12.00 \times 0.0381)^2} = \sqrt{(0.1414)^2 + (0.4572)^2} = 0.4785 \text{ W}$$

Hasil Akhir: Daya dilaporkan sebagai $P = 24.00 \pm 0.48$ W.

5.5 Uji Hipotesis Statistik (t -Test & ANOVA)

Dalam penelitian eksperimental laboratorium, uji hipotesis digunakan untuk mengevaluasi apakah perbedaan performa antara dua metode atau sirkuit bersifat signifikan secara statistik atau hanya variasi acak semata.

5.5.1 1. Independent Two-Sample t -Test

Uji- t dua sampel independen digunakan untuk membandingkan nilai rata-rata dua kelompok pengujian (misalnya: Efisiensi Inverter Metode A vs. Metode B):

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (5.4)$$

Jika nilai $|t| > t_{\text{kritis}}$ atau $p\text{-value} < 0.05$, maka Hipotesis Nol (H_0) ditolak, yang berarti terdapat perbedaan efisiensi yang signifikan secara statistik antara kedua metode tersebut.

5.5.2 2. Analysis of Variance (ANOVA)

Uji ANOVA satu arah digunakan ketika peneliti membandingkan lebih dari dua kelompok perlakuan (misalnya: Efisiensi konverter pada 4 frekuensi switching berbeda: 20 kHz, 40 kHz, 60 kHz, 80 kHz).

Tabel 5.1: Tabel ANOVA Satu Arah untuk Evaluasi Eksperimen Teknik Elektro.

Sumber Variasi	Sum of Squares (SS)	Degrees of Freedom (df)	Mean Square (MS)	F-Statistic
Antar Perlakuan	SS_{between}	$k - 1$	$MS_B = \frac{SS_B}{k-1}$	$F = \frac{MS_B}{MS_W}$
Dalam Perlakuan	SS_{within}	$N - k$	$MS_W = \frac{SS_W}{N-k}$	—
Total	SS_{total}	$N - 1$	—	—

5.6 Panduan Kode TikZ PGFPlots Grafik Publikasi IEEE

Berikut adalah kode lengkap PGFPlots untuk menghasilkan grafik komparasi dua kurva dengan sumbu-Y ganda (*Dual Y-Axes Plot*) untuk publikasi jurnal IEEE:

```

1 \begin{figure}[h!]
2 \centering
3 \begin{tikzpicture}
4 \begin{axis}[
5     scale only axis,
6     xmin=1, xmax=5,
7     xlabel={Daya Output (kW)},
8     ylabel={\textcolor{blue}{Efisiensi Konversi (\%)}},
9     ymin=80, ymax=100,
10    axis y line*=left,
11    grid=both,
12    width=0.75\textwidth,
13    height=0.42\textwidth
14 ]
15 \addplot[blue, mark=square*, thick] coordinates {
16     (1, 86.5) (2, 91.2) (3, 94.5) (4, 93.8) (5, 91.0)
17 };
18 \label{plot_eff}
19 \end{axis}
20
21 \begin{axis}[
22     scale only axis,
23     xmin=1, xmax=5,

```



```

24 ylabel={\textcolor{red}{Total Harmonic Distortion / THD (\%)}},
25 ymin=0, ymax=10,
26 axis y line*=right,
27 axis x line=none,
28 width=0.75\textwidth,
29 height=0.42\textwidth
30 ]
31 \addplot[red, mark=triangle*, dashed, thick] coordinates {
32     (1, 6.2) (2, 4.1) (3, 2.3) (4, 2.8) (5, 3.5)
33 };
34 \label{plot_thd}
35 \end{axis}
36 \end{tikzpicture}
37 \caption{Grafik Dual Y-Axis Hubungan Daya Output Terhadap Efisiensi ($\backslash$
38 \end{figure}

```

Listing 5.2: Kode TikZ PGFPlots Grafik Sumbu-Y Ganda untuk Efisiensi & THD

5.7 Studi Kasus Pengolahan Data Eksperimen Terintegrasi

Berikut adalah contoh studi kasus analisis statistik terintegrasi untuk pengujian efisiensi inverter pada 5 titik beban berbeda:

Tabel 5.2: Data Pengujian Laboratorium Efisiensi Inverter dan Perhitungan Statistik.

Beban (W)	V_{out} (V)	I_{out} (A)	P_{out} (W)	η (%)	Std Dev (s)
20	220.1	0.091	20.03	85.2%	$\pm 0.45\%$
40	219.8	0.182	40.00	89.6%	$\pm 0.38\%$
60	220.0	0.273	60.06	92.4%	$\pm 0.25\%$
80	219.5	0.364	79.90	91.8%	$\pm 0.31\%$
100	218.9	0.457	100.03	89.1%	$\pm 0.42\%$

Berdasarkan data di atas, efisiensi puncak (*peak efficiency*) dicapai pada beban 60 W sebesar $92.4 \pm 0.25\%$. Penurunan efisiensi pada beban 100 W disebabkan oleh meningkatnya rugi-rugi tembaga I^2R pada induktor filter.

Latihan Soal & Studi Kasus Mandiri (Taksonomi Bloom C1–C6)

Soal 1: [C1 - Remembering] Apakah perbedaan antara kesalahan sistematis (*systematic error*) dan kesalahan acak (*random error*) dalam eksperimen laboratorium?

Soal 2: [C2 - Understanding] Mengapa nilai standar deviasi (s) yang kecil meng-

indikasikan tingkat presisi alat ukur yang tinggi?

Soal 3: [C3 - Applying] Diketahui 5 data pengukuran frekuensi switching (kHz): 49.8, 50.1, 50.2, 49.9, 50.0. Hitung rata-rata dan standar deviasinya!

Soal 4: [C4 - Analyzing] Analisis bagaimana ketidakpastian pengukuran sensor tegangan mempengaruhi hasil perhitungan efisiensi konverter daya $\eta = P_{\text{out}}/P_{\text{in}}$!

Soal 5: [C5 - Evaluating] Evaluasi penyajian data menggunakan grafik PGFPlots TikZ dibandingkan dengan gambar format raster PNG/JPG yang di-crop dari Excel!

Soal 6: [C6 - Creating] Tuliskan kode LaTeX PGFPlots lengkap untuk menggambarkan grafik hubungan antara Arus Beban (0–10 A) dan Efisiensi Konverter (80% – 95%)!

Bab 6

Etika Riset, Panduan Skripsi PSTE UNIB & Manajemen Proyek

Capaian Pembelajaran (Sub-CPMK) & Indikator Performa

Sub-CPMK 6: Mahasiswa mampu memahami etika penelitian, menguasai regulasi dan format baku Buku Panduan Skripsi Program Studi Sarjana (S1) Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Bengkulu, menyusun proposal Tugas Akhir berstandar IEEE / PSTE UNIB, serta mengelola linimasa riset 16 minggu.

Indikator Performance: Penyelesaian draf proposal skripsi format baku PSTE UNIB, naskah publikasi ilmiah, dan kelulusan evaluasi UTS (Sempro) / UAS (Sidang Skripsi).

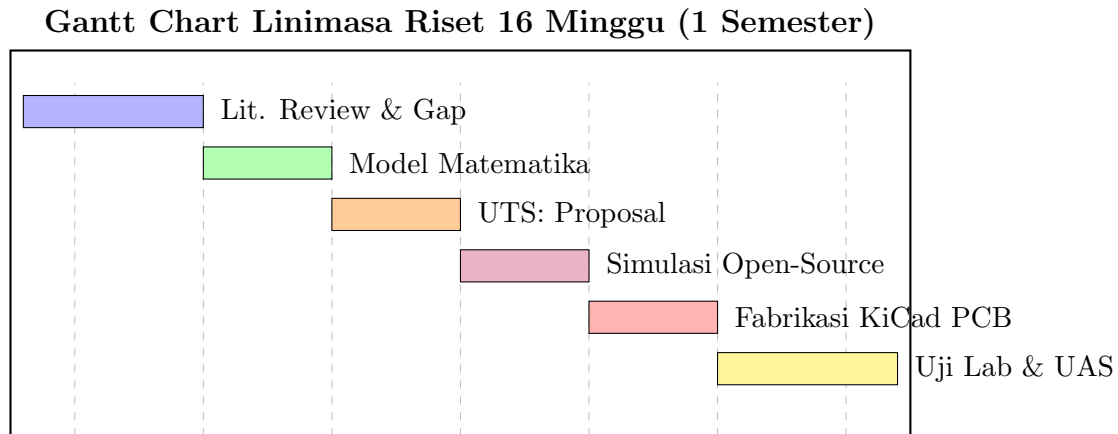
6.1 Etika Penelitian & Integritas Akademik

Integritas akademik adalah fondasi utama dari seorang Sarjana Teknik. Pelanggaran etika ilmiah dalam penyusunan proposal atau skripsi dapat berakibat pada sanksi pembatalan kelulusan.

6.1.1 Tiga Pelanggaran Fatal dalam Riset Teknik

1. **Fabrikasi Data (Data Fabrication):** Mengarang atau membuat-buat data pengujian laboratorium yang sebenarnya tidak pernah dilakukan.
2. **Falsifikasi Data (Data Falsification):** Mengubah, memanipulasi, atau membuang data eksperimen riil yang menyimpang agar sesuai dengan hipotesis ideal.
3. **Plagiarisme (Plagiarism):** Mengambil gagasan, kalimat, atau gambar dari karya orang lain tanpa menyertakan sitasi ilmiah yang sah.

6.2 Sistem Manajemen Proyek Perkuliahan 16 Minggu



Gambar 6.1: Gantt Chart Linimasa Manajemen Proyek Perkuliahan 16 Minggu.

6.3 Prinsip Mitigasi Risiko Riset Hardware

- **The 4-Week Buffer Rule:** Seluruh proses fabrikasi fisik dan perakitan PCB HARUS selesai pada **Minggu ke-12**.
- **Component Redundancy Principle:** Komponen elektronik aktif/kritis (MO-SFET, Mikrokontroler, Driver IC) wajib dibeli dalam volume $2\times$ hingga $3\times$ dari kebutuhan.

6.4 Regulasi dan Ketentuan Baku Panduan Skripsi PSTE FT UNIB

Berdasarkan Buku Panduan Skripsi Program Studi Sarjana (S1) Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Bengkulu (Edisi 2024), skripsi merupakan karya ilmiah mandiri yang wajib diselesaikan mahasiswa di bawah bimbingan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping.

6.4.1 Tahapan Penyusunan Skripsi

Dalam proses penyelesaian tugas akhir di Program Studi Teknik Elektro Universitas Bengkulu, mahasiswa wajib melalui tiga tahapan evaluasi akademik terstruktur:

1. **Tahap 1: Seminar Proposal (Sempro)**

- Bertujuan menguji urgensi penelitian, kecukupan studi pustaka (State-of-the-Art), serta ketajaman metodologi perancangan.
- Dokumen yang disiapkan terdiri dari Halaman Judul, Lembar Persetujuan/Pengesahan, Abstrak, Daftar Isi, Bab I (Pendahuluan), Bab II (Tinjauan Pustaka), Bab III (Metode Penelitian), dan Daftar Pustaka.
- Batas waktu pengumpulan revisi proposal adalah maksimal 2 (dua) minggu pasca seminar.

2. Tahap 2: Seminar Hasil (Semhas)

- Bertujuan mengevaluasi pelaksanaan eksperimen laboratorium, implementasi desain hardware/software, validasi data, dan analisis deviasi error.
- Menyerahkan dokumen *Draft Skripsi* yang memuat penyempurnaan Bab I–III serta penambahan Bab IV (Hasil dan Pembahasan) dan Bab V (Penutup: Kesimpulan & Saran).
- Syarat pendaftaran: telah memenuhi kehadiran minimal pada seminar hasil mahasiswa lain yang dibuktikan dengan Kartu Kendali Seminar Hasil.

3. Tahap 3: Ujian Skripsi (Sidang Pendadaran) & Artikel Publikasi

- Tahapan evaluasi akhir untuk kelulusan dan penyematan gelar Sarjana Teknik (S.T.).
- Mahasiswa wajib menyerahkan Laporan Skripsi Lengkap (dijilid soft cover warna oranye dilaminasi) dan **Artikel Publikasi Ilmiah** yang siap atau telah dikirimkan (*submitted/accepted*) ke jurnal ilmiah atau prosiding seminar nasional.

6.4.2 Standar Format dan Tata Letak Penulisan Skripsi PSTE UNIB

Mahasiswa wajib mematuhi ketentuan tipografi dan tata letak naskah sebagai berikut:

- **Ukuran Kertas & Pencetakan:** Kertas HVS A4 80 gsm, dicetak dua sisi (*mirror margins*, bolak-balik).
- **Margin Halaman:** Tepi dalam (punggung jilid) = 4 cm; tepi luar, atas, dan bawah = 3 cm.
- **Font & Spasi:** *Times New Roman* 12 pt dengan spasi 1.5. Abstrak diketik 1.15 spasi (maksimal 250 kata, 3–5 kata kunci).

- **Indentasi Paragraf:** Awal paragraf menjorok masuk sebesar 1.25 cm (tanpa spasi tambahan antar-paragraf).
- **Penomoran Halaman:** Diletakkan di tepi luar bawah (halaman ganjil di kanan bawah, genap di kiri bawah). Bagian awal sebelum Bab I menggunakan angka romawi kecil (i, ii, iii), sedangkan Bab I sampai lampiran menggunakan angka Arab (1, 2, 3).
- **Standar Rujukan Pustaka:** Menggunakan sistem sitasi numerik IEEE dalam tanda kurung siku ([1], [2]). Minimal 75% dari daftar pustaka wajib merupakan publikasi mutakhir 10 tahun terakhir.

6.5 Panduan Menyusun Draf Proposal Skripsi IEEE Bab-demi-Bab

Mahasiswa wajib menyusun proposal skripsi mengikuti struktur standar publikasi ilmiah IEEE:

6.5.1 1. Judul Penelitian

Judul harus spesifik, mencerminkan metode/teknologi yang digunakan, dan menyebutkan besaran fisik atau variabel utama yang dioptimalkan. Hindari judul yang terlalu umum seperti *"Studi Tentang Motor Listrik"*. Contoh judul yang baik: *"Perancangan Inverter SPWM Satu Fasa Berbasis Mikrokontroler ESP32 dengan Filter LCL untuk Menekan THD Kurang Dari 3%"*.

6.5.2 2. Bab 1: Pendahuluan

- **1.1 Latar Belakang:** Alur piramida terbalik (isu global → permasalahan teknis → kerugian finansial/kinerja → solusi usulan).
- **1.2 Rumusan Masalah:** Pertanyaan riset kuantitatif yang presisi.
- **1.3 Tujuan Penelitian:** Target indikator kinerja (KPI) yang hendak dicapai.
- **1.4 Batasan Masalah:** Parameter dan kondisi batas operasional eksperimen laboratorium.

6.5.3 3. Bab 2: Tinjauan Pustaka & Matriks SotA

Menyajikan sintesis teori dasar dan tabel Matriks Literatur minimal 10 jurnal bereputasi 5 tahun terakhir untuk mengisolasi *Research Gap*.

6.5.4 4. Bab 3: Metodologi Penelitian (Kerangka Hibrida 5-Fase)

Menjelaskan secara terperinci seluruh tahapan 5-fase: permodelan matematika baseline, skematik simulasi LTspice/Octave, rancangan layout PCB KiCad, instrumen laboratorium yang digunakan, serta teknik analisis data dan kalkulasi persentase error.

6.6 Rencana Kerja Detail Minggu ke-1 s.d. Minggu ke-16

Berikut adalah rincian aktivitas mingguan yang wajib dipatuhi mahasiswa selama 1 semester (16 minggu):

Tabel 6.1: Rincian Aktivitas Mingguan Riset Skripsi Teknik Elektro (16 Minggu).

Minggu	Rincian Aktivitas & Output Kegiatan	Target Deliverable
M1–M2	Penelusuran 15 artikel jurnal IEEE/Scopus & Penyusunan Matriks SotA.	Matriks Literatur
M3–M4	Derivasi persamaan matematika baseline & permodelan ruang-keadaan.	Bab 1 & 2 Proposal
M5–M6	Simulasi komputer ideal (LTspice / GNU Octave) & Optimalisasi parameter.	Data Simulasi
M7–M8	Penulisan draf proposal utuh & Ujian Tengah Semester (Presentasi Proposal).	Naskah Proposal
M9–M10	Desain skematik & layout PCB di KiCad EDA, DRC, serta fabrikasi PCB.	File Gerber & PCB
M11–M12	Perakitan komponen fisik, pengujian soldering, & firmware flashing.	Prototipe Fisik
M13–M14	Pengujian laboratorium terkalibrasi, pengukuran DSO, & pencatatan data.	Data Eksperimen
M15–M16	Analisis error hibrida, penyusunan laporan akhir, & Ujian Akhir Semester.	Laporan Skripsi

6.7 Contoh Soal & Pembahasan Langkah-demi-Langkah

Contoh Soal & Pembahasan Langkah-demi-Langkah

Soal 6.1 (Formulasi Research Gap dan Hipotesis Riset Sesuai Standar IEEE):

Seorang mahasiswa merancang inverter fotovoltaiik mandiri berbasis modulasi SPWM digital. Bagaimana merumuskan kalimat kesenjangan riset (*research gap*) dan justifikasi kontribusi ilmiah pada naskah proposal sesuai standar publikasi IE-

EE?

Pembahasan Langkah-demi-Langkah:

- **Identifikasi Limitasi Studi Terdahulu:** *"Sebagian besar penelitian inverter mandiri sebelumnya [7] berfokus pada topologi perangkat keras analog yang rentan terhadap penyimpangan termal dan distorsi harmonisa saat terjadi perubahan beban dinamis."*
- **Pernyataan Kesenjangan Riset (Research Gap):** *"Meskipun pendekatan kontrol digital telah mulai diteliti, sebagian besar memerlukan prosesor DSP berbiaya tinggi yang tidak aplikatif untuk sistem skala mikro terdistribusi."*
- **Pernyataan Kontribusi Usulan:** *"Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan arsitektur kendali SPWM hibrida berbasis mikrokontroler 32-bit ESP32 berbiaya rendah dengan optimasi dead-time terprogram, yang mampu menekan THD hingga $< 3.0\%$ dengan efisiensi konversi daya $> 92.5\%$."*

Latihan Soal & Studi Kasus Mandiri (Taksonomi Bloom C1–C6)

- Soal 1: [C1 - Remembering]** Sebutkan dan jelaskan 3 bentuk pelanggaran etika akademik yang paling fatal dalam riset teknik elektro!
- Soal 2: [C2 - Understanding]** Mengapa prinsip *4-Week Buffer Rule* mewajibkan fabrikasi hardware selesai pada Minggu ke-12 dalam kurikulum 16 minggu?
- Soal 3: [C3 - Applying]** Buatlah tabel linimasa kerja per minggu (Minggu 1 s.d. 16) untuk topik skripsi pilihan Anda!
- Soal 4: [C4 - Analyzing]** Analisis peran penggunaan Zotero dan Overleaf LaTeX dalam menekan angka kemiripan (*similarity index*) pada pengujian plagiarisme Turnitin!
- Soal 5: [C5 - Evaluating]** Evaluasi batasan penggunaan kecerdasan buatan (*GenAI*) dalam penyusunan proposal skripsi menurut etika akademik!
- Soal 6: [C6 - Creating]** Susunlah sebuah dokumen proposal skripsi utuh (Bab 1 s.d. Bab 5) menggunakan template Overleaf LaTeX IEEE beserta daftar pustaka BibTeX terintegrasi!

Lampiran A

Rubrik Penilaian Detail & Standar Evaluasi Akademik

A.1 Rubrik Penilaian Laporan Latihan Laboratorium (Hands-On)

Kriteria Penilaian	Deskripsi Evaluasi	Bobot (%)
Pemahaman Software	Keberhasilan menjalankan skrip Octave/LTspice/KiCad tanpa error.	30%
Analisis Data Kuantitatif	Keakuratan perhitungan statistik, standar deviasi, dan propagasi error.	30%
Visualisasi Grafik TikZ	Kerapian grafik PGFPlots TikZ sesuai standar publikasi IEEE.	20%
Diskusi & Pembahasan	Ketajaman analisis diskrepansi antara simulasi dan data hardware.	20%

A.2 Rubrik Penilaian Presentasi Proposal (Ujian Tengah Semester / UTS)

A.3 Rubrik Penilaian Presentasi Ujian Akhir Semester (UAS)

Kriteria Penilaian	Deskripsi Evaluasi	Bobot (%)
Struktur Proposal	Kelengkapan komponen proposal: judul, latar belakang, rumusan masalah, tujuan, dan indikator KPI kuantitatif.	25%
Matriks Literatur (SotA)	Kedalaman matriks <i>state-of-the-art</i> , ketajaman isolasi <i>research gap</i> , dan kepatuhan sitasi IEEE.	25%
Penguasaan Metodologi	Ketepatan penerapan kerangka hibrida 5-fase dan kondisi batas operasional (<i>boundary conditions</i>).	25%
Penyajian & Komunikasi	Kejelasan alur presentasi, kualitas visualisasi, dan ketepatan menjawab pertanyaan penguji.	15%
Sikap & Etika Akademik	Kejujuran sumber literatur, orisinalitas gagasan, dan ketepatan alokasi waktu.	10%

Kriteria Penilaian	Deskripsi Evaluasi	Bobot (%)
Struktur Presentasi	Kejelasan alur slides (ch1-ch16), kedalaman konten, dan visualisasi.	25%
Demonstrasi Prototipe	Keberhasilan operasional prototipe hardware fisik di depan tim penguji.	35%
Penguasaan Metodologi	Ketepatan menjawab pertanyaan mengenai alur 5-fase dan validasi error.	25%
Sikap & Etika Akademik	Kejujuran pelaporan data pengujian dan ketepatan waktu alokasi presentasi.	15%

Lampiran B

Glosarium Istilah Teknik Elektro Terlengkap (A–Z)

Absolute Percentage Error Persentase deviasi absolut antara nilai pengujian hardware dan simulasi komputer.

Active Filter Filter frekuensi yang menggunakan komponen aktif (Op-Amp) bersama resistor dan kapasitor.

ANOVA (Analysis of Variance) Uji statistik untuk membandingkan rata-rata lebih dari dua kelompok pengujian.

Analytical Research Metodologi penelitian yang berbasis pada derivasi matematika tertutup dan komputasi numerik.

BibTeX Format file pustaka terstruktur (‘.bib’) yang digunakan oleh LaTeX untuk manajemen referensi otomatis.

Bode Plot Grafik respon frekuensi yang menampilkan gain (dB) dan fasa (derajat) terhadap frekuensi logaritmik.

Buck Converter Topologi konverter DC-DC yang menurunkan tegangan masukan menjadi tegangan keluaran yang lebih rendah.

Closed-Loop Control Sistem kontrol berumpan balik yang membandingkan sinyal luaran dengan setpoint.

Component Redundancy Prinsip pengadaan suku cadang kritis $2 \times - 3 \times$ dari volume yang dibutuhkan untuk mitigasi kerusakan.

Decoupling Capacitor Kapasitor yang dipasang dekat pin daya IC untuk meredam noise frekuensi tinggi.

Design Rules Check (DRC) Fitur verifikasi otomatis pada KiCad EDA untuk memastikan layout PCB memenuhi aturan manufaktur.

Digital Storage Oscilloscope (DSO) Instrumen laboratorium untuk mengukur dan merekam gelombang sinyal listrik digital.

ESR (Equivalent Series Resistance) Resistansi internal parasitik pada kapasitor yang menimbulkan rugi-rugi daya.

FDTD (Finite-Difference Time-Domain) Metode komputasi numerik solver elektromagnetik 3D yang digunakan pada openEMS.

Falsifikasi Popper Prinsip filosofis yang menyatakan bahwa hipotesis ilmiah harus dapat diuji dan dibuktikan salah.

Gerber File Format file standar industri ekspor PCB layout dari KiCad untuk dikirim ke manufaktur pabrik PCB.

GNU Octave Bahasa komputasi tingkat tinggi open-source dengan sintaks yang sepenuhnya kompatibel dengan MATLAB.

Hybrid Framework Kerangka kerja riset 5-fase yang mengombinasikan derivasi analitis, simulasi, dan prototipe hardware.

IEEEtran Kelas dokumen standar yang digunakan untuk penulisan artikel dan proposal riset IEEE.

IPC-2221 Standar internasional perancangan dan kalkulasi lebar trase tembaga PCB.

KiCad EDA Software open-source profesional untuk perancangan skematik sirkuit dan layout PCB.

LTspice Software simulasi sirkuit analog dan switching elektronika daya bebas biaya dari Analog Devices.

Literature Matrix Tabel pemetaan sistematis yang memuat penulis, metode, hasil, dan research gap riset terdahulu.

Microstrip Antenna Antena berprofil tipis yang dibuat pada substrat PCB berkonstanta dielektrik tertentu.

Newton-Raphson Method Algoritma iteratif numerik yang digunakan dalam analisis aliran daya sistem tenaga listrik.

openEMS Solver elektromagnetik 3D open-source berbasis FDTD untuk simulasi antena dan RF.

Overleaf Platform penyuntingan LaTeX berbasis awan (*cloud-based*) untuk penulisan naskah ilmiah IEEE.

Percentage Error Kuantifikasi persentase selisih deviasi antara data pengujian hardware fisik dan simulasi komputer.

PGFPlots Paket LaTeX berbasis TikZ untuk menggambar grafik kuantitatif ilmiah kualitas publikasi.

Positivisme Paradigma epistemologi yang mewajibkan fakta ilmiah terukur, terobservasi, dan divalidasi secara kuat.

PRISMA Standar alur sistematis penyaringan artikel ilmiah untuk penulisan Systematic Literature Review.

Research Gap Celah atau masalah teknis yang belum terselesaikan pada penelitian ilmiah terdahulu.

Root-Cause Analysis (RCA) Metodologi penelusuran sistematis untuk menemukan penyebab utama diskrepansi fisik.

SPWM (Sinusoidal PWM) Teknik modulasi lebar pulsa sinusoidal untuk mengendalikan inverter daya.

State-Space Representation Permodelan sistem dinamik dalam bentuk persamaan diferensial matriks orde-satu.

State-of-the-Art (SotA) Capaian teknologi ilmiah tertinggi dan paling mutakhir pada topik penelitian tertentu.

THD (Total Harmonic Distortion) Persentase distorsi gelombang akibat komponen harmonisa pada sistem daya.

t-Test Uji statistik parametrik untuk mengevaluasi signifikansi perbedaan rata-rata dua kelompok sampel.

Uncertainty Analysis Kalkulasi ilmiah untuk mengevaluasi ketidakpastian pengukuran statistik dan alat ukur.

Zotero Perangkat lunak manajemen referensi open-source untuk menyimpan dan mengorganisir pustaka ilmiah.

Lampiran C

Indeks Subjek

Indeks

Analytical Research, [11](#)
ANOVA, [39](#)

Boolean Operator, [18](#)

Electrical Engineering, [9](#)
Engineering Research, [9](#)
Etika Penelitian, [42](#)
Experimental Research, [12](#)

Falsifikasi Popper, [10](#)

GNU Octave, [29](#)

Hybrid Framework, [23](#)

Key Performance Indicators, [13](#)
KiCad EDA, [30](#), [32](#)

LaTeX, [30](#)
Literature Matrix, [19](#)
LTspice, [28](#)

Mixed-Methods, [12](#)

Objektivisme, [10](#)
openEMS, [30](#), [31](#)
Overleaf, [30](#)

Panduan Skripsi UNIB, [43](#)
Paradigm Shift, [11](#)
Parasitic Modeling, [23](#)
PlatformIO, [33](#)
Positivisme, [10](#)
PRISMA, [18](#)

Root-Cause Analysis, [26](#)

Systematic Literature Review, [18](#)

t-Test, [38](#)
Toulmin Model, [21](#)

Zotero, [20](#)

Bibliografi

- [1] Analog Devices Inc., *LTspice Simulator: User's Guide and Applications*, Analog Devices Inc., 2023.
- [2] KiCad Development Team, *KiCad EDA: Documentation and User Manual*, The KiCad Project, 2023.
- [3] J. W. Eaton, D. Bateman, S. Hauberg, and R. Wehbring, *GNU Octave: A High-Level Interactive Language for Numerical Computations*, Free Software Foundation, 2022.
- [4] C. Feuersänger, *Manual for Package PGFPlots: A LaTeX Package to Create Normal/Logarithmic Plots in Two and Three Dimensions*, TeX User Group, 2020.
- [5] K. Popper, *The Logic of Scientific Discovery*. London, UK: Routledge, 2002.
- [6] T. S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago, IL, USA: University of Chicago Press, 1962.
- [7] S. B. Kjaer, J. K. Pedersen, and F. Blaabjerg, "A review of single-phase grid-connected inverters for photovoltaic modules," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 41, no. 5, pp. 1292–1306, 2005.
- [8] M. I. Montrose, *Printed Circuit Board Design Techniques for EMC Compliance: A Handbook for Designers*. Piscataway, NJ, USA: IEEE Press / John Wiley & Sons, 2000.
- [9] J. R. Taylor, *An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements*. Sausalito, CA, USA: University Science Books, 1997.
- [10] *IEEE Code of Ethics and Guidelines for Author Conduct*, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), Piscataway, NJ, USA, 2020.