



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**Perancangan dan Simulasi *Synchronous Buck Converter* dengan
Kontrol MPPT Berbasis Algoritma Hibrid PSO-GSA pada Sistem
Pompa Air Tenaga Surya *Direct-Coupling* (Tanpa Baterai)**

SKRIPSI

Oleh:
Adam Rizki Pratama
NIM. 2202431047

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA KONVERSI ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

JULI, 2026



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**Perancangan dan Simulasi *Synchronous Buck Converter* dengan
Kontrol MPPT Berbasis Algoritma Hibrid PSO-GSA pada Sistem
Pompa Air Tenaga Surya *Direct-Coupling* (Tanpa Baterai)**

SKRIPSI

Oleh:
Adam Rizki Pratama
NIM. 2202431047

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA KONVERSI ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

JULI, 2026



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERSETUJUAN

SKRIPSI

Perancangan dan Simulasi *Synchronous Buck Converter* dengan Kontrol MPPT Berbasis Algoritma Hibrid PSO GSA pada Sistem Pompa Air Tenaga Surya *Direct-Coupling* (Tanpa Baterai)

Oleh:

Adam Rizki Pratama

NIM. 2202431047

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Skripsi Telah Disetujui Oleh:

Pembimbing 1

Idrus Assagaf, S.T., M.T.
NIP. 196811042000121001

Pembimbing 2

Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si
NIP. 197602252000121002

Kepala Program Studi

Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Arifia Ekayuliana, S.T., M.T.
NIP. 199107212018032001



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI

Perancangan dan Simulasi *Synchronous Buck Converter* dengan Kontrol MPPT Berbasis Algoritma Hibrid PSO GSA pada Sistem Pompa Air Tenaga Surya *Direct-Coupling* (Tanpa Baterai)

Oleh:

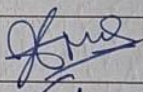
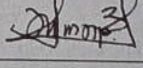
Adam Rizki Pratama

NIM. 2202431047

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

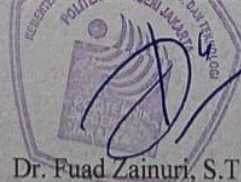
Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana terapan di hadapan Dewan Penguji pada tanggal 14 Juli 2026 dan diterima sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin

DEWAN PENGUJI

No	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1	Idrus Assagaf, S.ST, M.T. NIP.196811042000121001	Ketua Sidang		
2	Cecep Slamet Abadi, S.T, MT. NIP.199107252024061001	Penguji 1		
3	P. Jannus, S.T, MT. NIP.199404212023212044	Penguji 2		

Depok, 14 Juli 2026

Disahkan Oleh:
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si.
NIP. 197602252000121002



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Adam Rizki Pratama

NIM : 22024310047

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Menyatakan bahwa yang dituliskan di dalam Laporan Tugas Akhir (atau Skripsi) ini adalah hasil karya saya sendiri bukan jiplakan (plagiasi) karya orang lain baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat di dalam Laporan Tugas akhir (atau skripsi) telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Depok, 14 Juli 2026



Adam Rizki Pratama

Nim. 2202431047



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Perancangan dan Simulasi *Synchronous Buck Converter* dengan Kontrol MPPT Berbasis Algoritma Hibrid PSO-GSA pada Sistem Pompa Air Tenaga Surya *Direct-Coupling* (Tanpa Baterai)

Adam Rizki Pratama¹, Idrus Assagaf², Fuad Zainuri²

¹Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²Magister Terapan Rekayasa Teknologi Manufaktur, Pascasarjana, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

Email: adam.rizki.pratama.tm22@mhsw.pnj.ac.id

ABSTRAK

Sistem pompa air tenaga surya (PLTS) tanpa baterai (*direct-coupling*) menawarkan solusi irigasi yang ekonomis namun sangat bergantung pada profil daya panel fotovoltaik (PV) yang fluktuatif terhadap perubahan iradiasi matahari. Metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) konvensional berbasis gradien seperti *Perturb and Observe* (P&O) dan *Incremental Conductance* (InC) rentan terjebak pada titik puncak daya lokal (*Local Maximum Power Point*) saat sistem mengalami kondisi bayangan sebagian (*Partial Shading Condition*), sehingga berisiko menyebabkan penghentian operasi pompa secara prematur. Penelitian ini bertujuan merancang dan mensimulasikan kontroler *Synchronous Buck Converter* dengan algoritma hibrid *Particle Swarm Optimization-Gravitational Search Algorithm* (PSOGSA) sebagai metode MPPT untuk menjaga kestabilan penyaluran daya ke motor-pompa pada sistem tanpa baterai. Penelitian dilakukan sepenuhnya dalam lingkungan simulasi MATLAB/Simulink, mencakup perancangan komponen pasif konverter, implementasi algoritma PSOGSA, serta pengujian pada berbagai skenario iradiasi termasuk profil iradiasi harian aktual. Hasil simulasi menunjukkan bahwa rancangan *Synchronous Buck Converter* mampu menjaga riak tegangan keluaran sebesar 0,46% dari tegangan nominal, jauh di bawah batas toleransi desain. Algoritma PSOGSA terbukti mampu melacak titik daya maksimum secara konsisten dengan efisiensi konversi sekitar 93,2–93,7% pada kondisi iradiasi seragam maupun dinamis, serta berhasil



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

menemukan titik daya maksimum *global* tanpa terjebak pada puncak lokal saat kondisi bayangan sebagian. Sistem juga mampu mempertahankan operasi motor-pompa secara stabil hingga ambang iradiasi minimum 550 W/m^2 dan tervalidasi andal pada profil iradiasi geografis nyata. Hasil ini menunjukkan bahwa algoritma hibrid PSOGSA berpotensi menjadi metode MPPT yang efektif untuk sistem pompa air tenaga surya tanpa baterai.

Kata kunci: PSOGSA, MPPT, *Synchronous Buck Converter*, sistem pompa air tenaga surya tanpa baterai, *Partial Shading Condition*





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat, karunia, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Perancangan dan Simulasi Kontroler Pompa Air Tenaga Surya (PLTS) Tanpa Baterai Menggunakan Metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT)" dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknik pada Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta.

Penyusunan skripsi ini merupakan bagian dari proses akademik yang penuh dengan tantangan, pengalaman, serta pembelajaran yang berharga bagi penulis. Penulis menyadari bahwa penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari dukungan, bimbingan, motivasi, serta bantuan dari berbagai pihak yang telah berkontribusi, baik secara langsung maupun tidak langsung, selama proses penyusunan skripsi ini.

Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta, atas dukungan dan arahannya selama proses perkuliahan.
2. Ibu Arifia Ekayuliana, S.T., M.T., selaku Koordinator Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi, yang senantiasa memberikan arahan, motivasi, dan kemudahan fasilitas selama penulis menempuh pendidikan.
3. Idrus Assagaf, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I, atas segala dukungan dan kontribusi berharga yang telah diberikan. Penulis menyampaikan apresiasi khusus atas bantuan beliau dalam memfasilitasi pendanaan, menyediakan fasilitas laboratorium, serta peralatan dan bahan pengujian yang sangat krusial bagi keberhasilan penelitian ini.
4. Bapak Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si., selaku Dosen Pembimbing II, atas kesabaran, waktu, dan masukannya yang sangat berharga. Bimbingan beliau



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

sangat membantu penulis dalam menyelaraskan alur penulisan serta memfokuskan arah penelitian ini agar tetap terstruktur dengan baik.

5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen dan Tenaga Kependidikan Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan, pengalaman, serta pelayanan akademik yang prima selama masa perkuliahan.
6. Kedua orang tua tercinta, serta seluruh keluarga besar, yang senantiasa memanjatkan doa, mencurahkan kasih sayang, serta memberikan dukungan moral maupun material dan semangat yang tiada henti kepada penulis dalam setiap langkah penyusunan skripsi ini.
7. Rekan-rekan mahasiswa Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi angkatan 2022, yang telah menjadi keluarga kedua, teman bertukar pikiran, dan sistem pendukung yang luar biasa selama masa perkuliahan hingga tahap penyelesaian skripsi ini.
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, namun telah memberikan bantuan dan kontribusi nyata dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan dan belum sepenuhnya sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak demi penyempurnaan karya ilmiah ini. Penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat serta menjadi referensi bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang efisiensi energi.

Depok, 7 Juli 2026

Adam Rizki Pratama
NIM. 2202431047



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PENGESAHAN	III
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	V
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Pertanyaan Penelitian	4
1.5 Tujuan Penelitian	5
1.6 Manfaat Penulisan Skripsi	5
1.7 Sistematika Penulisan Skripsi	6
BAB II	8
TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Kajian Pustaka dan Penelitian Terdahulu	8
2.2 Gambaran Umum Sistem Pompa Air Tenaga Surya Tanpa Baterai	11
2.3 Panel Fotovoltaik sebagai Sumber Daya	12
2.4 Pemodelan Matematis Sel Surya	13
2.5 Konsep MPPT dan Teorema Penyesuaian Impedansi	14
2.6 Dinamika Bayangan Sebagian (Partial Shading Condition)	15
2.7 Algoritma MPPT Berbasis Gradien (P&O dan InC)	15
2.8 Algoritma Particle Swarm Optimization (PSO)	16
2.9 Algoritma Gravitational Search Algorithm (GSA)	17
2.10 Algoritma Hibrid PSO GSA	17
2.11 Komponen Semikonduktor Daya: MOSFET sebagai Saklar Elektronik	19
2.12 Komponen Pasif Penyimpan Energi: Induktor dan Kapasitor	20
2.13 Topologi Synchronous Buck Converter	21
2.14 Mode Operasi dan Dinamika Transien	22
2.15 Pemodelan Matematis Rata-Rata Ruang Keadaan	22
2.16 Mode Konduksi Arus dan Karakteristik FCCM	23
2.17 Teori Perancangan Filter Pasif pada Buck Converter	23
2.18 Teori Kontrol Umpan Balik: Kompensator Proportional-Integral (PI)	25
2.19 Pemodelan Dinamika Motor Pompa Air Sistem Direct-Coupling	26
2.20 Ambang Iradiasi Minimum Sistem Tanpa Baterai	27
2.21 Kinerja Elektro-Mekanik dan Kestimbangan Torsi Motor Arus Searah	27
BAB III	29
METODE PENELITIAN	29
3.1 Kerangka Pemikiran	29
3.2 Diagram Alir Penelitian	31
3.3 Spesifikasi Parameter Desain Sistem	32
3.4 Perancangan dan Perhitungan Komponen Pasif Konverter	32
3.4.1 Perhitungan Induktor Daya (L)	32
3.4.2 Perhitungan Kapasitor Keluaran (Cout)	33
3.4.3 Perhitungan Kapasitor Masukan (Cin)	34
3.4.4 Justifikasi Kalibrasi Empiris Komponen Pasif pada Sistem	34
3.5 Pemodelan Karakteristik Elektro-Mekanik Motor-Pompa	36
3.5.1 Analisis Torsi Elektromagnetik dan Kestimbangan Beban	37
3.5.2 Perhitungan Efisiensi Konversi Energi	37
3.6 Implementasi Algoritma PSO GSA untuk MPPT dalam Simulink	38



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.7 Struktur Perangkat Lunak Blok MATLAB Function	38
3.8 Pemodelan Sistem pada Lingkungan MATLAB/Simulink	39
3.9 Pemodelan Motor-Pompa dalam Simulink	40
3.10 Skenario Pengujian Simulasi Terstruktur	41
3.10.1 Prosedur Ekstraksi Data PVGIS	42
3.11 Diagram Blok Sistem Terintegrasi Direct-Coupling	43
3.12 Logika Proteksi dan Cut-Off Sistem Simulasi	44
BAB IV	45
HASIL DAN ANALISIS	45
4.1 Gambaran Umum Hasil Simulasi	45
4.2 Pengujian Sinyal PWM dan Verifikasi Dead-Time	46
4.3 Analisis Riak Tegangan dan Arus Keluaran	47
4.4 Kinerja Pelacakan Algoritma Hibrid PSO GSA	48
4.4.1 Verifikasi Pelacakan Titik Daya Maksimum pada Kondisi Iradiasi Konstan	49
4.4.2 Respons terhadap Perubahan Iradiasi Dinamis	52
4.5 Dinamika Sistem Direct-Coupling Tanpa Baterai	55
4.5.1 Penentuan Ambang Iradiasi Minimum (G_{min})	56
4.5.2 Pengujian Logika Proteksi pada Kondisi Iradiasi Kritis	60
4.6 Pengujian pada Kondisi Bayangan Sebagian (Partial Shading Condition)	63
4.7 Kinerja Sistem pada Profil Iradiasi Aktual Harian	64
BAB V	68
PENUTUP	68
5.1 Kesimpulan	68
5.2 Saran	69

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kurva Karakteristik Daya-Tegangan (P-V) pada Kondisi Iradiasi Seragam (Unimodal) dan Kondisi Bayangan Sebagian/PSC (Multimodal).....	15
Gambar 2. 2 Diagram Alir Algoritma PSOGSA	18
Gambar 2. 3 Skematik Rangkaian Topologi Synchronous Buck Converter	21
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	31
Gambar 3. 2 Blok Diagram Sistem MPPT.....	43
Gambar 4. 1 Hasil <i>Deadtime</i>	46
Gambar 4. 2 Riak Tegangan Keluaran (V_{out}) pada Kondisi Iradiasi 1000 W/m ²	47
Gambar 4. 3 Riak Arus Keluaran (I_{out}) pada Kondisi Iradiasi 1000 W/m ²	47
Gambar 4. 4 Tegangan Panel PV (V_{pv}) pada Kondisi Iradiasi 1000 W/m ²	49
Gambar 4. 5 Arus Panel PV (I_{pv}) pada Kondisi Iradiasi 1000 W/m ²	49
Gambar 4. 6 Daya Masukan dari Panel PV (P_{in}) pada Kondisi Iradiasi 1000 W/m ²	50
Gambar 4. 7 Daya Keluaran menuju Beban Motor-Pompa (P_{out}) pada Kondisi Iradiasi 1000 W/m ²	50
Gambar 4. 8 Sinyal Duty Cycle Hasil Optimasi PSOGSA pada Kondisi Iradiasi 1000 W/m ²	51
Gambar 4. 9 Tegangan Panel PV (V_{pv}) Saat Iradiasi Berubah dari 600 ke 1000 W/m ²	52
Gambar 4. 10 Arus Panel PV (I_{pv}) Saat Iradiasi Berubah dari 600 ke 1000 W/m ²	52
Gambar 4. 11 Arus Keluaran Menuju Beban Motor-Pompa (I_{out}) Saat Iradiasi Berubah dari 600 ke 1000 W/m ²	53
Gambar 4. 12 Daya Masukan dari Panel PV (P_{in}) Saat Iradiasi Berubah dari 600 ke 1000 W/m ²	53
Gambar 4. 13 Daya Keluaran Menuju Beban Motor-Pompa (P_{out}) Saat Iradiasi Berubah dari 600 ke 1000 W/m ²	54
Gambar 4. 14 Sinyal Duty Cycle Hasil Optimasi PSOGSA Saat Iradiasi Berubah dari 600 ke 1000 W/m ²	54
Gambar 4. 15 Tegangan Panel PV (V_{pv}) Saat Iradiasi Turun dari 1000 ke 550 W/m ²	56
Gambar 4. 16 Arus Panel PV (I_{pv}) Saat Iradiasi Turun dari 1000 ke 550 W/m ²	56
Gambar 4. 17 Daya Masukan dari Panel PV (P_{in}) Saat Iradiasi Turun dari 1000 ke 550 W/m ²	57
Gambar 4. 18 Daya Keluaran Menuju Beban Motor-Pompa (P_{out}) Saat Iradiasi Turun dari 1000 ke 550 W/m ²	57
Gambar 4. 19 Sinyal Duty Cycle Hasil Optimasi PSOGSA Saat Iradiasi Turun dari 1000 ke 550 W/m ²	58
Gambar 4. 20 Arus Keluaran Menuju Beban Motor-Pompa (I_{out}) Saat Iradiasi Turun dari 1000 ke 550 W/m ²	58
Gambar 4. 21 Tegangan Keluaran (V_{out}) Saat Iradiasi Turun dari 1000 ke 550 W/m ²	59
Gambar 4. 22 Respons Tegangan Panel PV, Arus Panel PV (I_{pv}), dan Daya Sistem Saat Iradiasi Diturunkan dari 1000 ke 300 W/m ² dan Dipulihkan Kembali ke 1000 W/m ²	60
Gambar 4. 23 Grafik Lonjakan Arus Awal	62
Gambar 4. 24 Daya Keluaran Menuju Beban Motor-Pompa (P_{out}) pada Kondisi Bayangan Sebagian (Partial Shading Condition)	63
Gambar 4. 25 Grafik Profil Hasil Iradiasi Harian	65



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Parameter Desain Sistem.....	32
Tabel 3. 2 Parameter Model Panel PV.....	39
Tabel 3. 3 Parameter Model Synchronous Buck Converter.....	39
Tabel 3. 4 Parameter Estimasi Model Motor-Pompa DC.....	40
Tabel 3. 5 Parameter Komputasi Algoritma PSO GSA.....	40
Tabel 3. 6 Matriks Skenario Pengujian Simulasi.....	41
Tabel 3. 7 Kondisi Batas Operasi dan Aksi Proteksi.....	44
Tabel 4. 1 Rekapitulasi Riak Tegangan dan Arus Keluaran (Skenario S1).....	48
Tabel 4. 2 Tabel Profil Hasil Iradiasi Harian.....	65

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dunia saat ini tengah berada pada fase krusial transisi energi, di mana kebutuhan akan akses pengairan irigasi dan suplai air bersih yang berkelanjutan semakin meningkat. Sistem pompa air tenaga surya (*Solar Water Pumping System*) muncul sebagai solusi strategis, tidak hanya untuk wilayah yang belum terjangkau jaringan listrik (*off-grid*), tetapi juga sebagai langkah proaktif menuju kemandirian energi bagi sektor pertanian modern. Namun, tantangan utama pada banyak instalasi pompa surya komersial saat ini adalah ketergantungan pada baterai sebagai media penyimpanan energi, yang mendongkrak biaya investasi awal dan perawatan secara signifikan, serta membawa dampak lingkungan dari limbah kimia di akhir masa pakainya. Sebagai alternatif yang lebih ekonomis dan tangguh, sistem *direct-coupling* (tanpa baterai) mengeliminasi elemen penyimpanan energi tersebut dengan menyalurkan energi listrik dari panel fotovoltaiik (PV) secara langsung menuju beban motor-pompa melalui satu tahap konversi daya elektronik (Maddalena et al., 2019).

Konsekuensi teknis dari arsitektur *direct-coupling* ini adalah sistem dipaksa bergantung sepenuhnya pada profil daya instan panel PV, yang sifatnya non-linier dan sangat berfluktuasi terhadap perubahan iradiasi matahari serta suhu lingkungan secara *real-time*. Tanpa mekanisme penyelarasan yang presisi, ketidaksesuaian titik kerja antara impedansi panel surya dan karakteristik beban motor-pompa akan memicu kehilangan potensi daya secara masif, dan dapat mengakibatkan kegagalan *start-up* saat intensitas cahaya rendah. Untuk menjembatani perbedaan karakteristik tersebut, diperlukan sebuah konverter DC-DC yang bertindak sebagai transformator impedansi adaptif. Topologi *Synchronous Buck Converter*



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

merupakan rancangan yang ideal untuk kebutuhan ini, karena pemanfaatan sakelar aktif MOSFET di sisi bawah (*low-side*) mampu menggantikan fungsi dioda *freewheeling* pasif, sehingga meminimalkan disipasi daya akibat tegangan jatuh maju dan mengubah karakteristik rugi daya menjadi rugi resistif murni yang jauh lebih kecil (Erickson & Maksimović, 2020).

Meskipun efisiensi konversi daya telah dioptimalkan dari sisi perangkat keras, keberhasilan sistem *direct-coupling* pada akhirnya tetap ditentukan oleh ketepatan algoritma dalam melacak titik daya maksimum panel PV secara kontinu. Di sinilah letak celah permasalahan utama penelitian ini. Metode *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) konvensional berbasis gradien, seperti *Perturb and Observe* (P&O) (Li et al., 2019) dan *Incremental Conductance* (InC), menurut berbagai penelitian terdahulu terbukti rentan terjebak pada titik puncak daya lokal (*Local Maximum Power Point/LMPP*) ketika sistem mengalami kondisi bayangan sebagian (*Partial Shading Condition/PSC*) yang mengubah kurva daya-tegangan (P-V) menjadi multimodal, yaitu memiliki lebih dari satu titik puncak (Chtita et al., 2022). Pada sistem tanpa baterai, kegagalan melacak puncak global (*Global Maximum Power Point/GMPP*) ini berdampak instan pada anjloknya daya yang disuplai, yang berpotensi memicu terhentinya operasi pompa secara prematur yaitu kondisi berhentinya motor pompa akibat daya yang diterima berada di bawah ambang batas operasinya—meskipun secara akumulasi energi matahari sesungguhnya masih tersedia pada bagian modul yang tidak ternaungi.

Berdasarkan rumusan permasalahan tersebut, penelitian ini mengusulkan penerapan algoritma hibrid *Particle Swarm Optimization–Gravitational Search Algorithm* (PSOGSA) untuk mengontrol *Synchronous Buck Converter*. Algoritma hibrid ini mengintegrasikan keunggulan akselerasi sosial berbasis memori dari PSO dengan kemampuan eksploitasi ruang pencarian lokal dari GSA (Priyadarshi et al., 2020), sehingga secara teoritis berpotensi menemukan titik GMPP secara lebih akurat pada kondisi PSC serta meminimalkan osilasi pada keadaan tunak dibandingkan metode



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

berbasis gradien. Penelitian ini difokuskan sepenuhnya pada perancangan dan analisis kinerja algoritma PSOGSA itu sendiri sebagai pengendali *Synchronous Buck Converter*, tanpa melakukan pengujian komparatif langsung terhadap metode MPPT lain. Seluruh proses perancangan, pemodelan, dan pengujian dilakukan secara penuh dalam lingkungan simulasi MATLAB/Simulink, guna memvalidasi kemampuan algoritma yang diusulkan dalam menjaga kestabilan penyaluran daya menuju motor penggerak pompa pada sistem tanpa baterai.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang permasalahan yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana rancangan model *Synchronous Buck Converter* yang sesuai untuk sistem pompa air tenaga surya tanpa baterai dalam lingkungan simulasi MATLAB/Simulink?
2. Bagaimana algoritma hibrid PSOGSA dapat diterapkan sebagai metode kontrol *Maximum Power Point Tracking* pada *Synchronous Buck Converter* tersebut?
3. Bagaimana kinerja algoritma PSOGSA dalam melacak titik daya maksimum panel PV dan menjaga kestabilan suplai daya menuju beban motor-pompa berdasarkan hasil simulasi?
4. Bagaimana konsistensi kinerja algoritma PSOGSA-MPPT ketika diuji menggunakan profil iradiasi aktual harian dari lokasi geografis tertentu?

1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan lebih terarah dan sesuai dengan lingkup penelitian, maka batasan masalah dalam penelitian ini ditetapkan sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan sepenuhnya dalam bentuk pemodelan dan simulasi menggunakan perangkat lunak MATLAB/Simulink, tanpa melibatkan implementasi perangkat keras.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2. Algoritma kontrol yang dirancang, diuji, dan dianalisis dalam penelitian ini hanya algoritma hibrid PSOGSA. Metode MPPT lain (seperti P&O atau InC) tidak diimplementasikan maupun diuji secara komparatif, dan hanya dijadikan referensi dalam pembahasan celah penelitian di latar belakang.
3. Konverter DC-DC yang digunakan sebagai *plant* dalam simulasi adalah topologi *Synchronous Buck Converter*. Sistem yang disimulasikan merupakan sistem *direct-coupling* tanpa baterai, dengan beban berupa motor-pompa yang dimodelkan sesuai karakteristik yang telah ditentukan dalam simulasi.
4. Parameter lingkungan (iradiasi matahari dan suhu) yang digunakan dalam simulasi mengacu pada skenario/profil yang telah ditentukan pada tahap perancangan model, bukan data pengukuran lapangan secara *real-time*.
5. Non-idealitas komponen fisik (seperti toleransi komponen, rugi-rugi parasitik di luar model yang disertakan, efek termal aktual, dan derau sensor pada implementasi nyata) tidak menjadi bagian dari analisis, karena seluruh evaluasi kinerja sistem didasarkan pada hasil keluaran model MATLAB/Simulink.
6. Pengujian profil iradiasi harian aktual bersumber dari basis data satelit PVGIS-ERA5, bukan melalui pengukuran perangkat keras langsung di lokasi, dengan menggunakan parameter $G(n)$.

1.4 Pertanyaan Penelitian

Untuk memperjelas arah penelitian, disusun pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Apakah rancangan *Synchronous Buck Converter* yang disimulasikan mampu menjaga riak tegangan keluaran berada di bawah batas toleransi desain ($< 1\%$) saat menyuplai beban motor-pompa?
2. Apakah algoritma hibrid PSOGSA mampu melacak dan mengunci titik daya maksimum mutlak (GMPP) secara akurat tanpa terjebak pada



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

puncak lokal (LMPP) saat diuji pada kondisi bayangan sebagian (*Partial Shading Condition*)?

3. Pada tingkat ambang batas iradiasi berapakah (G_{min}) motor-pompa mengalami kondisi terhenti, dan bagaimana respon proteksi kontroler dalam menghentikan sistem saat kondisi kritis tersebut terjadi tanpa adanya penyangga baterai?
4. Apakah sistem kontroler dengan konfigurasi *synchronous buck converter* mampu mempertahankan penyaluran daya secara stabil dan akurat mengikuti fluktuasi data iradiasi matahari aktual harian?

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari pelaksanaan penelitian ini adalah:

1. Merancang model sistem pompa air tenaga surya tanpa baterai berbasis *Synchronous Buck Converter* dalam lingkungan simulasi MATLAB/Simulink.
2. Merancang dan mengimplementasikan algoritma hibrid PSO-GSA sebagai metode kontrol *Maximum Power Point Tracking* pada model *Synchronous Buck Converter* yang telah dibuat.
3. Menganalisis kinerja algoritma PSO-GSA dalam melacak titik daya maksimum dan menjaga kestabilan penyaluran daya ke beban motor-pompa berdasarkan hasil simulasi yang diperoleh.
4. Memvalidasi kinerja algoritma pada profil iradiasi harian aktual sebagai representasi kondisi operasional nyata di lapangan.

1.6 Manfaat Penulisan Skripsi

1. Manfaat Teoritis

- a. Memberikan kontribusi referensi mengenai penerapan algoritma hibrid PSO-GSA sebagai metode MPPT pada sistem konversi daya berbasis *Synchronous Buck Converter*, khususnya dalam konteks sistem pompa air surya tanpa baterai.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- b. Menjadi bahan rujukan akademik bagi penelitian selanjutnya yang ingin mengembangkan metode MPPT berbasis algoritma metaheuristik pada sistem serupa, khususnya dalam kerangka studi berbasis simulasi.

2. Manfaat Praktis

- a. Model dan hasil simulasi yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan evaluasi awal terhadap potensi kinerja algoritma PSOGSA, sebelum dipertimbangkan untuk dikaji lebih lanjut pada tahap pengujian yang melibatkan kondisi non-ideal atau perangkat keras.
- b. Model simulasi yang dibangun dapat menjadi basis pengembangan lebih lanjut, misalnya untuk pengujian pada skenario lingkungan yang lebih bervariasi dalam lingkup simulasi komputasional.

1.7 Sistematika Penulisan Skripsi

BAB I PENDAHULUAN

Berisi latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, pertanyaan penelitian, tujuan penelitian, manfaat penulisan skripsi, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Membahas dasar teori yang mendukung penelitian, meliputi konsep sistem pompa air tenaga surya, karakteristik panel fotovoltaik, prinsip kerja Synchronous Buck Converter, konsep Maximum Power Point Tracking, serta teori algoritma Particle Swarm Optimization (PSO), Gravitational Search Algorithm (GSA), dan penggabungan keduanya menjadi PSOGSA.

BAB III METODE PENELITIAN

Menjelaskan tahapan penelitian secara rinci, meliputi perancangan model panel PV, perancangan model Synchronous Buck Converter, perancangan model beban motor-pompa, perancangan algoritma kontrol PSOGSA, serta skenario dan parameter simulasi yang digunakan dalam MATLAB/Simulink.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Menyajikan hasil simulasi yang telah dilakukan, meliputi analisis kinerja algoritma PSOGSA dalam melacak titik daya maksimum, respons sistem terhadap perubahan parameter simulasi, serta pembahasan terhadap capaian kinerja sistem secara keseluruhan.

BAB V PENUTUP

Berisi kesimpulan yang menjawab setiap pertanyaan penelitian pada BAB I, serta saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan pembahasan yang telah diuraikan pada BAB IV, dapat disusun kesimpulan sebagai berikut, yang disusun untuk menjawab masing-masing pertanyaan penelitian yang telah dirumuskan pada Subbab 1.3.

1. Rancangan Synchronous Buck Converter yang disimulasikan terbukti mampu menjaga riak tegangan keluaran jauh di bawah batas toleransi desain yang ditetapkan. Pada Skenario S1 (iradiasi 1000 W/m^2 , STC), riak tegangan keluaran (V_{out}) tercatat sebesar $0,05558 \text{ Volt}$ atau setara $0,46\%$ dari tegangan nominal 12 Volt , dan riak arus keluaran (I_{out}) tercatat sebesar $0,0344 \text{ Ampere}$. Mekanisme dead-time pada gate driver juga terverifikasi bekerja dengan baik sehingga kondisi shoot-through pada kedua MOSFET dapat dihindari. Dengan demikian, pertanyaan penelitian pertama mengenai kemampuan konverter menjaga riak tegangan keluaran di bawah 1% telah terjawab dan terkonfirmasi oleh hasil simulasi.
2. Algoritma hibrid PSO-GSA yang diimplementasikan sebagai metode MPPT terbukti mampu melacak dan mengunci titik kerja daya maksimum panel PV secara konsisten, baik pada kondisi iradiasi seragam (efisiensi konversi $\sim 93,7\%$) maupun perubahan iradiasi dinamis (efisiensi $\sim 93,2\%$). Pada pengujian kondisi bayangan sebagian (Partial Shading Condition), algoritma PSO-GSA berhasil mengeksplorasi profil kurva multimodal dan menemukan titik kerja daya tertinggi tanpa terjebak pada puncak daya lokal (LMPP).
3. Berdasarkan pengujian Skenario S5, sistem direct-coupling tanpa baterai mampu mempertahankan operasi motor-pompa secara stabil hingga batas iradiasi minimum (G_{min}) sebesar 550 W/m^2 . Logika proteksi digital pada sistem terbukti mampu mendeteksi kondisi iradiasi kritis di bawah



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ambang batas tersebut (300 W/m^2) dan langsung mengamankan sistem, serta mampu kembali melakukan pelacakan normal saat iradiasi kembali optimal.

4. Pengujian generalisasi lokasi menggunakan profil iradiasi satelit harian ($G(n)$) membuktikan bahwa sistem berbasis algoritma PSOGSA dan synchronous buck converter dapat mereplikasi performa secara andal di kondisi geografis nyata. Sistem mampu menyesuaikan fluktuasi cuaca secara kontinu dengan mempertahankan pelacakan, serta menyalurkan daya maksimum secara presisi pada jam puncak (10:30) tanpa indikasi osilasi daya yang merugikan.

5.2 Saran

Berdasarkan keterbatasan pengujian yang telah diuraikan pada kesimpulan di atas, berikut disampaikan beberapa saran bagi pengembangan penelitian selanjutnya.

1. Melakukan studi komparatif antara algoritma hibrid PSOGSA dengan metode MPPT konvensional lain seperti Perturb and Observe (P&O) atau Incremental Conductance (InC), untuk memperkuat klaim keunggulan performa algoritma PSOGSA yang telah dijadikan celah penelitian pada Subbab 1.1.
2. Mengembangkan penelitian ini ke tahap pengujian Hardware-in-the-Loop (HIL) atau implementasi purwarupa fisik, mengingat penelitian ini masih dibatasi sepenuhnya pada lingkup pemodelan dan simulasi perangkat lunak sebagaimana ditetapkan pada Batasan Masalah Subbab 1.2.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- Chtita, S., Motahhir, S., El Hammoumi, A., Chouder, A., Benyoucef, A. S., El Ghzizal, A., Derouich, A., Abouhawwash, M., & Askar, S. S. (2022). A novel hybrid GWO–PSO-based maximum power point tracking for photovoltaic systems operating under partial shading conditions. *Scientific Reports*, 12, 10637. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14733-6>
- Çalışkan, E., & Ustun, O. (2022). Smart efficiency tracking for novel switch—LLC converter for battery charging applications. *Energies*, 15(5), 1861. <https://doi.org/10.3390/en15051861>
- Erickson, R. W., & Maksimović, D. (2020). *Fundamentals of Power Electronics* (3rd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-43881-4>
- Gnetchejo, P. J., Ndjakomo Essiane, S., Dadjé, A., Ele, P., & Chen, F. (2021). Parameters extraction of single diode model for degraded photovoltaic modules. *Renewable Energy*, 164, 674–686. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.035>
- Hilali, A., El marghichi, M., Makhad, M., Loulijat, A., el Ouanjli, N., Mossa, M. A., Almalki, M. M., & Alghamdi, T. A. H. (2024). Optimization of solar water pumping systems through a combined approach based on MPPT-Bat and DTC. *PLOS ONE*, 19(12), e0309330. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0309330>
- Idoko, S. J., Abdulkarim, A., & Olarinoye, G. A. (2023). Maximum power point tracking of a partially shaded solar photovoltaic system using a modified firefly algorithm-based controller. *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, 10(48), 1–15.
- Li, H., Yang, D., Su, W., Lü, J., & Yu, X. (2019). An overall distribution particle swarm optimization MPPT algorithm for photovoltaic system under partial shading. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 66(1), 265–275.
- Lu, J., Tong, X., Shen, M., Yin, J., & Yuan, Y. (2021). The phase shifting soft startup of L-LLC resonant bidirectional DC-DC converter based on



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

current-limiting curve. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021, 6632743. <https://doi.org/10.1155/2021/6632743>

Maddalena, E. T., da Silva Moraes, C. G., Bragança, G., Junior, L. G., Godoy, R. B., & Pinto, J. O. P. (2019). A battery-less photovoltaic water-pumping system with low decoupling capacitance. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 55(3), 2263–2271. <https://doi.org/10.1109/TIA.2019.2900412>

Palmiro, F., Godoy, R. B., Mateus, T. H. d. A., & de Andrade, N. D. (2023). A 600 W photovoltaic groundwater pumping system based on LLC converter and constant voltage MPPT. *Energies*, 16(13), 4926. <https://doi.org/10.3390/en16134926>

Park, C. W., & Han, S. K. (2021). Analysis and design of an integrated magnetics planar transformer for high power density LLC resonant converter. *IEEE Access*, 9, 157499–157511. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3125262>

Priyadarshi, N., Bhaskar, M. S., Padmanaban, S., Blaabjerg, F., & Azam, F. (2020). New Cuk–SEPIC converter based photovoltaic power system with hybrid GSA–PSO algorithm employing MPPT for water pumping applications. *IET Power Electronics*, 13(13), 2824–2830. <https://doi.org/10.1049/iet-pel.2019.1231>

Sousa, S. M., Gusman, L. S., Lopes, T. A. S., Pereira, H. A., & Callegari, J. M. S. (2022). MPPT algorithm in single loop current-mode control applied to DC–DC converters with input current source characteristics. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 138, 107909. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2021.107909>

Suman, C. K., Pradeepa, S., Gupta, P., & M S, S. (2022). Design optimization of synchronous buck converter (SBC). *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10(10), 349–353. <https://doi.org/10.22214/IJRASET.2022.46562>

Tripathi, P. R., Thakura, P., Laxmi, V., & Keshri, R. K. (2021). Stand-alone PV water pumping system based on high-gain resonant inverter fed induction



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

motor serving two-head for permanent water supply. *International Journal of Circuit Theory and Applications*, 49(9), 2494–2514. <https://doi.org/10.1002/cta.2983>

Wei, Y., Luo, Q., & Mantooth, A. (2019). Comprehensive analysis and design of LLC resonant converter with magnetic control. *CPSS Transactions on Power Electronics and Applications*, 4(4), 265–275. <https://doi.org/10.24295/CPSSSTPEA.2019.00025>

Worku, M. Y., Hassan, M. A., Maraaba, L. S., Shafiullah, M., Elkadeem, M. R., Hossain, M. I., & Abido, M. A. (2023). A comprehensive review of recent maximum power point tracking techniques for photovoltaic systems under partial shading. *Sustainability*, 15(14), 11132. <https://doi.org/10.3390/su151411132>

Yoon, D., Lee, S., & Cho, Y. (2020). Design considerations of series-connected devices based LLC converter. *Energies*, 13(1), 264. <https://doi.org/10.3390/en13010264>

Zaghba, L., Borni, A., Benbitour, M. K., Fezzani, A., Alwabli, A., Bajaj, M., Dost Mohammadi, S. A., & Ghoneim, S. S. M. (2024). Enhancing grid-connected photovoltaic system performance with novel hybrid MPPT technique in variable atmospheric conditions. *Scientific Reports*, 14, 8205. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59024-4>

Zhuang, Y., Liu, F., Zhang, X., Diao, X., Jiang, J., & Sun, J. (2019). Direct frequency control based MPPT algorithm of LLC resonant converter for photovoltaic system. In *Proceedings of the IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE 2019)*, Baltimore, MD, USA, 3402–3406.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Data Historis Irradiasi Matahari (PVGIS-ERA5)

Waktu	G(n) (W/m ²)
0:30	0
1:30	0
2:30	0
3:30	0
4:30	0
5:30	0
6:30	271.81
7:30	487.76
8:30	679.15
9:30	791.62
10:30	814.96
11:30	805.33
12:30	778.48
13:30	719.36
14:30	629.38
15:30	503.51
16:30	347.22
17:30	66.37
18:30	0
19:30	0
20:30	0
21:30	0
22:30	0
23:30	0

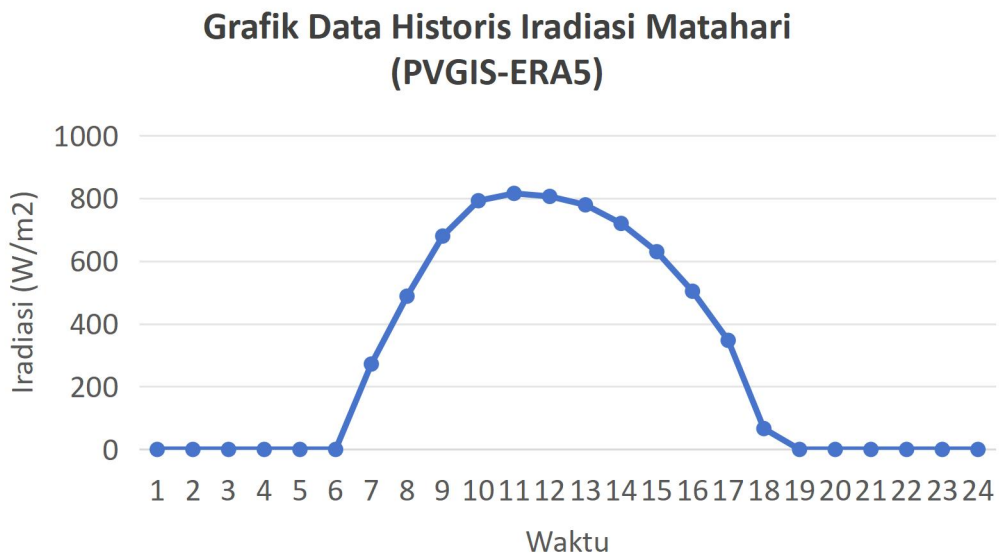


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

LAMPIRAN 2 Grafik Data Historis Iradiasi Matahari (PVGIS-ERA5)

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**