

**OPTIMASI TEKNO-EKONOMI
SISTEM HIBRIDA PV-BATERAI-DIESEL-PLN
UNTUK FASILITAS PENGGILINGAN PADI DI PEDESAAN**

GUSTI RADITYA WICAKSONO



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTANIAN DAN BIOSISTEM
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

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

Perpustakaan IPB University



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Optimasi Tekno-Ekonomi Sistem Hibrida PV-Baterai-Diesel-PLN untuk Fasilitas Penggilingan Padi di Pedesaan” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, 13 Agustus 2026

Gusti Raditya Wicaksono
F1401221079



ABSTRAK

GUSTI RADITYA WICAKSONO. Optimasi Tekno-Ekonomi Sistem Hibrida PV-Baterai-Diesel-PLN untuk Fasilitas Penggilingan Padi di Pedesaan. Dibimbing oleh LEOPOLD OSCAR NELWAN.

Pemanfaatan sistem fotovoltaik berpotensi besar menekan biaya operasional industri penggilingan padi, namun intermitensi radiasi matahari harian tinggi di Bogor menuntut sistem terbarukan yang andal. Penelitian berbasis simulasi ini bertujuan merancang konfigurasi hibrida berbasis fotovoltaik, baterai, generator diesel, dan jaringan listrik PLN yang paling ekonomis serta andal. Pemodelan dilakukan menggunakan HOMER Pro dan memanfaatkan data sekunder literatur untuk mengevaluasi karakteristik beban penggilingan padi berkapasitas 5 ton beras/hari (228 kWh/hari, 289 hari/tahun), mengoptimalkan sudut kemiringan dan orientasi panel surya, serta menganalisis keandalan sistem energi hibrida. Hasil penelitian menunjukkan panel surya dengan sudut kemiringan 25° dan orientasi ganda Timur-Barat menghasilkan produksi energi tahunan yang lebih andal. Dari 20 skenario simulasi, skenario hibrida interkoneksi jaringan listrik PLN dengan kapasitas fotovoltaik 71,02 kWp dan baterai 25 kWh menjadi konfigurasi paling optimum. Temuan baru penelitian ini membuktikan bahwa konfigurasi tersebut menghasilkan biaya energi produksi sangat ekonomis sebesar Rp41/kg beras. Seluruh skenario terbukti menjaga kontinuitas suplai daya di berbagai kondisi cuaca. Implikasi penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi fotovoltaik dengan baterai dan jaringan listrik PLN dapat meningkatkan efisiensi biaya operasional penggilingan padi pada wilayah dengan variabilitas cuaca tinggi.

Kata kunci: Biaya energi produksi, Intermitensi radiasi matahari, Pemodelan simulasi, Penggilingan padi, Sistem energi hibrida



ABSTRACT

GUSTI RADITYA WICAKSONO. Techno-Economic Optimization of a PV-Battery-Diesel-PLN Hybrid System for a Rural Rice Milling Facility. Supervised by LEOPOLD OSCAR NELWAN.

The application of photovoltaic systems offered significant potential to reduce operational costs in the rice milling industry; however, high daily solar radiation intermittency in Bogor demanded a reliable system. This simulation-based study aimed to design an economical and reliable hybrid configuration incorporating photovoltaics, batteries, a diesel generator, and the PLN grid. Modeling via HOMER Pro utilized secondary literature data to evaluate a 5-ton/day rice mill load (228 kWh/day, 289 days/year), optimize panel orientation, and evaluate the reliability of hybrid energy systems. Results indicated that a 25° tilt angle with dual East–West orientation yielded the most reliable annual energy output. Among 20 simulated scenarios, a grid-connected hybrid system with a 71.02 kWp photovoltaic capacity and a 25 kWh battery proved optimal. A key finding revealed that the configuration achieved an economical production energy cost of IDR 41/kg of processed rice. All scenarios ensured continuous power supply across varied weather conditions. The findings of this study suggested that integrating photovoltaic systems with batteries and the PLN grid could improve the operational cost efficiency of rice mills in regions with high weather variability.

Keywords: Hybrid energy systems, Intermittency of solar radiation, Production energy costs, Rice milling, Simulation modeling.

@Hak Cipta: IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

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



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

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

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

OPTIMASI TEKNO-EKONOMI SISTEM HIBRIDA PV-BATERAI-DIESEL-PLN UNTUK FASILITAS PENGGILINGAN PADI DI PEDESAAN

GUSTI RADITYA WICAKSONO

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem

**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTANIAN DAN BIOSISTEM
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

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

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

1. Dr. Ir. Dyah Wulandani, M.Si.
2. Dr. Nanik Purwanti S.T.P, M.Sc.



Judul Skripsi : Optimasi Tekno-Ekonomi Sistem Hibrida PV-Baterai-Diesel-PLN untuk Fasilitas Penggilingan Padi di Pedesaan

Nama : Gusti Raditya Wicaksono

NIM : F1401221079

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing:

Dr. Leopold Oscar Nelwan, S.T.P., M.Si.

NIP 197012081999031001

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Prof. Dr. Ir. Edy Hartulistiyoso, M.Sc.Agr.

NIP 196304251989031001

Tanggal Ujian:

24 Juli 2026

Tanggal Lulus:

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanaahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Januari sampai Juni 2026 memiliki judul karya tulis yaitu “Optimasi Tekno-Ekonomi Sistem Hibrida PV-Baterai-Diesel-PLN untuk Fasilitas Penggilingan Padi di Pedesaan”.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis banyak menerima bantuan dari berbagai pihak yang bersifat material, bimbingan, maupun semangat. Oleh karena itu, penulis mengucapkan rasa penghargaan dan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua serta saudari tercinta, atas doa yang tiada henti, kasih sayang, motivasi, serta dukungan moral dan material yang tak terhingga dalam setiap langkah penulis hingga dapat menyelesaikan studi ini.
2. Dr. Leopold Oscar Nelwan, S.T.P., M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta masukan berharga sehingga penulis dapat menyelesaikan karya tulis ilmiah skripsi ini.
3. Dr. Ir. Dyah Wulandani, M.Si. selaku dosen penguji pertama, Dr. Nanik Purwanti, S.T.P., M.Sc. selaku dosen penguji kedua, serta Dr. Lenny Saulia, S.T.P., M.Si. selaku dosen moderator atas saran dan evaluasi yang konstruktif untuk penyempurnaan skripsi ini
4. Seluruh dosen dan staf tata usaha Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem yang telah membekali ilmu pengetahuan serta membantu kelancaran administrasi penulis sejak awal perkuliahan hingga penyusunan skripsi ini.
5. Rekan-rekan Vermilion dan pascasarjana yang telah memberikan bantuan, semangat, serta kebersamaan selama proses penelitian dari awal hingga akhir.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, 13 Agustus 2026

Gusti Raditya Wicaksono



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	3
TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Teknologi Pengolahan Gabah	4
2.2 Energi Surya	6
2.3 Sistem Energi Hibrida	12
2.4 Sistem Penyimpanan Energi Termal untuk Pengeringan	13
METODE	14
3.1 Waktu dan Tempat	14
3.2 Alat dan Bahan	14
3.3 Tahapan Penelitian	14
HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Komponen Sistem	29
4.2 Kemiringan dan Orientasi Panel	31
4.3 Interaksi Energi Sistem Hibrida	33
4.4 Kajian Ekonomi	36
4.5 Keandalan Sistem terhadap Fluktuasi Radiasi	40
4.6 Evaluasi Distribusi dan Fluktuasi Energi Tahunan	47
SIMPULAN DAN SARAN	54
5.1 Simpulan	54
5.2 Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	59
RIWAYAT HIDUP	71

Hak cipta milik IPB University

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

DAFTAR TABEL

1	Skenario energi hibrida	22
2	Kapasitas sistem energi hibrida	34

DAFTAR GAMBAR

1	Struktur gabah (Hazra dan Das 2024)	4
2	<i>Modern (abrasive) rice milling system: 1-paddy elevator, 2-paddy cleaner, 3-clean paddy elevator, 4-de-stoner, 5-elevator, 6-rubber roller husker, 7-brown rice elevator, 8-husk separator, 9-brown rice elevator, 10-abrasive rice whitener, 11-milled rice elevator, 12-water polisher, 13-rice elevator, 14-milled rice cleaner</i> (Firouzi et al. 2021)	4
3	Ilustrasi husker (Philippine Center for Postharvest Development and Mechanization 2020)	5
4	RMU modern (Philippine Center for Postharvest Development and Mechanization 2020)	6
5	Gelombang elektromagnetik (National Aeronautics and Space Administration 2025)	6
6	Radiasi yang mencapai <i>sea level</i> (Fondriest Environmental 2014)	7
7	Ilustrasi cara kerja panel surya (Kalogirou 2014)	8
8	Ilustrasi radiasi matahari untuk PLTS	8
9	<i>Tilt angle</i> optimal dari penelitian terdahulu (Chala et al. 2025; Peter et al. 2025; Kivambe et al. 2024; Misquita dan Zilles 2022; Badamasi et al. 2021; Ullah et al. 2020; Sisodia dan Mathur 2019; Setiawan dan Setiawan 2017)	9
10	Klasifikasi kondisi langit berdasarkan DCI dan nDARR (Poddar et al. 2024)	10
11	Distribusi normal	11
12	Sistem energi hibrida (Das et al. 2023)	12
13	Skema alat pengering dengan kolektor surya dan penyimpan panas (Oktavionry 2026)	13
14	Diagram alir penelitian	15
15	Ilustrasi bangunan (A) tampak depan (B) tampak atas	19
16	Grafik radiasi berdasarkan kondisi langit (Poddar et al. 2024)	28
17	RMU 2 Phase	29
18	Konsumsi energi harian	29

19	Komponen sistem (A) modul panel, (B) generator diesel, (C) baterai, dan (D) inverter	30
20	Fasilitas RMU (A) tampak depan, (B) tampak atas (C) tampak samping	31
21	Denah layout fasilitas RMU	31
22	<i>Yield energy</i> masing-masing sudut dan orientasi	32
23	<i>Yield energy</i> setelah pengurangan	33
24	Skema simulasi HOMER Pro	34
25	<i>Electrical load served</i> setiap skenario	35
26	Biaya investasi awal setiap skenario	36
27	Biaya O&M setiap skenario	38
28	Biaya LCOE setiap skenario	39
29	Biaya energi untuk beras	40
30	Hasil klasifikasi kondisi langit menggunakan DCI dan nDARR	41
31	Radiasi pada 23 Mei 2025	42
32	Kondisi <i>High Intermittent</i> pada 23 Mei 2025	42
33	Radiasi pada 6 Juli 2025	43
34	Kondisi <i>Low Intermittent</i> pada 6 Juli 2025	44
35	Radiasi pada 2 Januari 2025	44
36	Kondisi <i>High Variability</i> pada 2 Januari 2025	45
37	Radiasi pada 18 November 2025	46
38	Kondisi <i>Overcast</i> 18 November 2025	46
39	Distribusi hari berdasarkan prinsip statistik	47
40	Kondisi radiasi “Sangat Tinggi” pada 9 Oktober 2025	48
41	Kondisi radiasi “Tinggi” pada 21 Maret 2025	49
42	Kondisi radiasi “Rendah” pada 4 Maret 2025	51
43	Kondisi radiasi “Sangat Rendah” pada 26 Mei 2025	52
44	Perbandingan pola radiasi kondisi <i>Overcast</i> , “Rendah” dan “Sangat Rendah”	53
45	Kondisi <i>State of Charge</i> (SoC) baterai kondisi <i>Overcast</i> , “Rendah” dan “Sangat Rendah”	53



DAFTAR LAMPIRAN

1	Neraca massa gabah	60
2	Kebutuhan daya listrik	63
3	Spesifikasi komponen	63
4	Perancangan bangunan	65
5	Kebutuhan sistem energi hibrida	66
6	Tampilan Homer Pro	68
7	Hasil klasifikasi kondisi langit tahunan	69
8	Hasil distribusi radiasi	70



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

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