

**KONSEP PERENCANAAN STASIUN PENGISIAN LISTRIK
BERBASIS ENERGI TERBARUKAN PADA JALAN TOL
DENGAN FOTOVOLTAIK DAN TURBIN ANGIN SUMBU
VERTIKAL**

TESIS

**Karya tulis sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Magister Teknik dari
Universitas Darma Persada**

Oleh

NOVAN MURDIYANSYAH

NIM: 2022910020

(Program Studi Magister Teknik Energi Terbarukan)



**SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS DARMA PERSADA
JAKARTA**

2024

PERNYATAAN KEASLIAN

"Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis ini merupakan hasil karya sendiri dan sepanjang pengetahuan dan keyakinan saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan-bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagian bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijasah pada Universitas Darma Persada atau Perguruan Tinggi lainnya"

Jakarta, 10 Agustus 2024



Novan Murdiyansyah

NIM: 2022-91-0020

ABSTRAK

Konsep Perencanaan Stasiun Pengisian Listrik Berbasis Energi Terbarukan Pada Jalan Tol dengan Fotovoltaik dan Turbin Angin Sumbu Vertikal.

Energi listrik memiliki peranan vital dalam kehidupan manusia. Seiring dengan pertumbuhan penduduk dan perkembangan zaman, kebutuhan energi terus meningkat, menyebabkan berkurangnya cadangan energi fosil. Selain itu, pencemaran lingkungan serta kenaikan harga bahan bakar fosil menjadi tantangan besar. Oleh karena itu, penting untuk mengeksplorasi bahan bakar alternatif yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Listrik dianggap sebagai sumber energi yang paling sesuai untuk transportasi masa depan karena lebih aman, rendah emisi, efisien, dan tersedia. Kekhawatiran terhadap polusi udara turut mendorong pengembangan kendaraan listrik (EV) dan kendaraan listrik hibrida (HEV) sebagai solusi yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Untuk mendukung pengembangan EV, dibutuhkan infrastruktur pengisian daya yang memadai.

Penelitian ini menawarkan konsep stasiun pengisian kendaraan listrik berbasis energi terbarukan, yaitu fotovoltaik dan turbin angin sumbu vertikal di jalan tol Indonesia. Konsep ini bertujuan untuk mendukung peralihan dari energi fosil ke energi terbarukan melalui perencanaan yang efektif. Proses perencanaan meliputi pemilihan lokasi, tipe pembangkit energi, simulasi antrian kendaraan, perhitungan beban on-grid, dan simulasi biaya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa panel surya mampu menyediakan 35% kebutuhan listrik dengan kapasitas 57,92 kW, sementara turbin angin menyumbang 10% dengan kapasitas 50,4 kW. Penggunaan energi terbarukan menurunkan ketergantungan pada jaringan listrik hingga 8,86%. Penghematan biaya operasional mencapai Rp19,6 juta per tahun, dari sebelumnya Rp87,5 juta, dengan waktu pengembalian investasi 9,98 tahun dan IRR 7,78%. Diharapkan konsep ini mempercepat transisi ke energi terbarukan di sektor transportasi dan meningkatkan ketahanan energi nasional.

Kata kunci: Hybrid Sistem, PV Solar, Turbin Angin VAWT, Homer Pro, SPKLU.

ABSTRACT

Concept Design of Renewable Energy-Based Electric Charging Stations (REECS)
for Toll Roads with Vertical Axis Wind Turbine and Photovoltaic.

Energy plays a crucial role in human life, especially electrical energy. As population growth and energy demands increase, fossil fuel resources deplete, raising concerns about environmental pollution and rising fuel prices. Transitioning to sustainable and eco-friendly energy sources is essential. Electricity is the best alternative for future transportation due to its efficiency, availability, and reduced emissions. The growing awareness of air pollution is driving the adoption of electric vehicles (EV) and hybrid electric vehicles (HEV), necessitating the development of efficient charging infrastructure.

This research proposes a renewable energy-based electric vehicle charging station for Indonesian toll roads, utilizing photovoltaic systems and vertical axis wind turbines. The goal is to support shifting from fossil fuels to renewable energy with efficient and well-planned infrastructure. Key aspects include choosing energy generators, simulating vehicle queues, calculating on-grid energy demand, and assessing costs. Findings reveal that solar panels meet 35% of energy needs with a capacity of 57.92 kW, and wind turbines contribute 10% with 50.4 kW. Dependence on the grid is reduced to 8.86%, while operational costs drop from IDR 87.5 million to IDR 19.6 million annually. The return on investment is projected at 9.98 years with an IRR of 7.78%. This approach can accelerate the transition to renewable energy in transportation and enhance national energy security.

Keywords: Hybrid System, Solar PV, VAWT Wind Turbine, Homer Pro, SPKLU

LEMBAR PERSETUJUAN TESIS

Judul Tesis : Konsep Perencanaan Stasiun Pengisian Listrik
Berbasis Energi Terbarukan Pada Jalan Tol dengan
Fotovoltaik dan Turbin Angin Sumbu Vertikal.
Nama : Novan Murdiyansyah
NIM : 2022910020

Telah disetujui oleh komisi pembimbing dan penguji

Dr.Eng Aep Saepul Uyun, S.Tp., M.Eng
(Ketua Komisi Pembimbing/Penguji)

Dr. Ir. As Natio Lasman
(Anggota Pembimbing/Penguji)

Dr. Andy Tirta, M.Sc
(Anggota/Penguji)

Ir. Erkata Yandri, M.Sc.rer.nat
(Penguji)

Mengetahui

Ketua Program Studi

Direktur Pascasarjana

(Dr.Eng Aep Saepul Uyun, S.Tp., M.Eng)

(Dr. Ir. As Natio Lasman)

Tanggal Ujian : 27 Juli 2024
Tanggal Yudisium : 27 Juli 2024

KATA PENGANTAR

Puji syukur yang sedalam-dalamnya penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan limpahan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal penelitian tesis dengan judul ***“Konsep Perencanaan Stasiun Pengisian Listrik Berbasis Energi Terbarukan Pada Jalan Tol dengan Fotovoltaik dan Turbin Angin Sumbu Vertikal”***.

Tujuan dari penulisan tesis ini adalah untuk memenuhi syarat dalam mencapai derajat Magister Teknik pada Program Studi Pasca Sarjana Universitas Darma Persada.

Penulis berharap tesis ini dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan stasiun pengisian listrik berbasis energi terbarukan di Indonesia. Penulis juga berharap agar penelitian ini dapat menjadi referensi bagi pihak-pihak terkait dalam upaya peningkatan teknologi dalam energi terbarukan di stasiun pengisian listrik dan juga memberikan pengetahuan terhadap peneliti kedepannya.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu saran beserta kritikan yang membangun sangat diharapkan. Semoga karya ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Jakarta, 10 Agustus 2024



Novan Murdiyansyah

NIM : 2022-91-0020

RIWAYAT HIDUP

Novan Murdiyansyah adalah sosok nama penulis Tesis ini. Penulis lahir dari pasangan Bapak Ngatimin dan Ibu Murniati sebagai anak ketiga dari tiga bersaudara. Sosok penulis lahir di Jakarta pada tanggal 25 November 1989. Penulis menempuh pendidikan formal dari SD Negeri 1 Pekayon Jaya (lulus tahun 2001), melanjutkan ke SMP Negeri 12 Bekasi (lulus 2004), melanjutkan ke SMK Teratai Putih 1 Bekasi (lulus 2007), kemudian melanjutkan ke Sekolah Tinggi Teknik PLN (STT PLN) yang sekarang berganti nama menjadi Institut Teknologi PLN (IT PLN) Jakarta (lulus 2012), hingga akhirnya bisa melanjutkan kuliah di Pascasarjana Universitas Darma Persada Jakarta Program Studi Energi Terbarukan.

Penulis saat bekerja sebagai manager komisioning disalah satu Perusahaan swasta di Jakarta dengan tanggung jawab sebagai konsultan komisioning pada proyek pusat data (Data Center Project), Semangat yang tinggi walau cobaan silih berganti terus dihadapi demi keuletan yang tinggi dalam mencari ilmu, dijadikan motivasi dirinya, ketekunan dalam belajarnya untuk terus belajar dan berusaha hingga akhirnya penulispun bisa menyelesaikan pengerjaan tugas akhirnya berupa Tesis. Semoga tesis ini bisa memberikan kontribusi yang positif pada dunia Pendidikan.

Akhir kata penulis mengucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya atas penyelesaian Tesis yang berjudul “Konsep Perencanaan Stasiun Pengisian Listrik Berbasis Energi Terbarukan Pada Jalan Tol dengan Fotovoltaik dan Turbin Angin Sumbu Vertikal”.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada yang terhormat:

1. Bapak Dr. Aep Saepul Uyun, M. Eng., Dr. Ir. As Natio Lasman, dan Ir. Erkata Yandri, M.Sc.rer.nat, sebagai pembimbing dalam pembuatan tesis ini. Terima kasih atas bimbingan, masukan, kesabaran dan semangatnya selama proses kuliah dan pembuatan tesis ini.
2. Bapak Dr. Ir. As Natio Lasman, Direktur Sekolah Pasca Sarjana Universitas Darma Persada.
3. Bapak Dr. Aep Saepul Uyun, M. Eng, Ketua Program Studi Magister Teknik Energi Terbarukan.
4. Bapak dan Ibu Dosen Sekolah Pasca Sarjana Universitas Darma Persada: Bapak Prof. Kamarudin Abdullah, Bapak Dr. Ir. Jatmiko Priyo Atmojo M.Eng, Ibu Ir. Ratna Ariyati M.Eng, Bapak Dr. Ir. Muhammad Syukri Nur, Msi, Bapak Dr. Muswar Muslim, S.T., M.Sc, Bapak Dr Andy Tirta, S.T., M.Eng, dan bapak bapak dosen lainnya. Terimakasih untuk pengajarannya dan didikannya selama proses kuliah.
5. Staff Sekolah Pasca Sarjana Universitas Darma Persada: Ibu Rita dan Bapak Bangun.
6. Rekan rekan mahasiswa program studi teknik energi terbarukan angkatan 2022.
7. Keluarga dan Istri Dwi Setianingsih, A.Md.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna dan tidak akan terwujud tanpa partisipasi dan kontribusi dari berbagai pihak. Maka pada kesempatan kali ini perkenankan penulis dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya atas semua perhatian dan dukungan dalam penelitian ini dan semua yang terlibat maupun sekedar memberikan semangat kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tesis ini.

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	I
ABSTRAK	II
ABSTRACT	III
LEMBAR PERSETUJUAN TESIS.....	IV
KATA PENGANTAR.....	V
RIWAYAT HIDUP	VI
DAFTAR ISI.....	VIII
DAFTAR GAMBAR.....	XI
DAFTAR TABEL	XIV
BAB 1 Pendahuluan	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 PERUMUSAN MASALAH	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	4
1.4 RUANG LINGKUP PENELITIAN.....	5
1.5 KERANGKA PENULISAN	5
BAB 2 Tinjauan Pustaka	7
2.1 ENERGI SURYA: KARAKTERISTIK DAN IMPLEMENTASI TEKNOLOGI.....	7
2.1.1 Kualitatif Pancaran Radiasi Matahari	8
2.1.2 Sudut Azimut Matahari	8
2.1.3 Jenis Jenis Panel Surya	10
2.1.4 PLTS Off-grid	12
2.1.5 PLTS On-grid.....	13

2.2	ENERGI ANGIN: KARAKTERISTIK DAN TEKNOLOGI TURBIN ANGIN	15
2.2.1	Karakteristik Angin.....	15
2.2.2	Pemanfaatan energi Angin	16
2.2.3	Definisi Turbin Angin.....	17
2.2.4	Jenis-Jenis Turbin Angin	18
2.2.5	Prinsip konversi energi angin.....	22
2.3	APLIKASI HOMER PRO	22
2.4	STASIUN PENGISIAN KENDARAAN LISTRIK UMUM (SPKLU)	23
2.4.1	Jenis jenis Steker pengisian daya pada SPKLU.....	23
2.4.2	Infrastruktur pengisian daya.....	37
2.4.3	Mode Pengisian Daya	38
2.4.4	Arsitektur Pengisian Daya AC dan DC.....	41
2.4.5	Arsitektur Pengisian Daya Ultra Cepat	43
2.4.6	Standar Pengisian Daya untuk Kendaraan Listrik di Eropa.....	46
2.4.7	Standar Pengisian Daya untuk Kendaraan Listrik di Amerika	49
BAB 3	Metodologi Penelitian	53
3.1	IDENTIFIKASI DAN PERUMUSAN MASALAH	53
3.2	STUDI LITERATUR.....	55
3.3	TAHAPAN DESAIN	55
3.3.1	Penentuan lokasi.....	55
3.3.2	Seleksi Tipe Pembangkit Energi Terbarukan.....	58
3.3.3	Perencanaan Simulasi Mobil Antrian.....	59
3.3.4	Perhitungan beban <i>on-grid</i>	63

3.3.5	Simulasi perencanaan biaya menggunakan Homer Pro	66
BAB 4	Hasil dan Pembahasan	68
4.1	INFORMASI MENGENAI KEBUTUHAN ENERGI LISTRIK SEHARI-HARI.....	68
4.2	ANALISIS PERHITUNGAN PEMBANGKIT LISTRIK HYBRID SISTEM.....	68
4.2.1	Analisis Beban Panel Surya dan Konfigurasi	68
4.2.2	Analisis Beban Turbin Angin VAWT dan Konfigurasi.....	73
4.2.3	Analisis Beban Jaringan (<i>Grid</i>) PLN dan Konfigurasinya	74
4.3	ANALISIS PERHITUNGAN BIAYA EKONOMI HYBRID SISTEM	74
4.4	PERENCANAAN PEMBANGKIT HYBRID SISTEM DENGAN HOMER PRO.....	84
4.4.1	Perencanaan Pembangkit Hybrid Sistem	85
4.4.2	Hasil Simulasi Homer Pro.....	90
4.4.3	Perbandingan Hasil Perhitungan Numerik dan Homer Pro	94
4.4.4	Prediksi kapasitas baterai dan lama pengisian	98
4.5	TATA LETAK PEMBANGKIT HYBRID SISTEM PADA STASIUN LISTRIK.....	101
BAB 5	Kesimpulan dan Saran	102
5.1	KESIMPULAN	102
5.2	SARAN	103
	DAFTAR PUSTAKA.....	105
	LAMPIRAN.....	109

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Radiasi Sinar Matahari di Indonesia	7
Gambar 2.2 Solar Konstanta dan jarak antara Matahari dan Bumi.....	8
Gambar 2.3 Sudut Azimut Matahari	9
Gambar 2.4 Posisi Matahari di Ilustrasikan dengan Sudut Matahari.....	9
Gambar 2.5 Panel Fotovoltaik Jenis Monocrystalline	10
Gambar 2.6 Panel Fotovoltaik Jenis Polycrystalline.....	11
Gambar 2.7 Panel Fotovoltaik Jenis Perovskite.....	11
Gambar 2.8 Panel Fotovoltaik Fleksibel Jenis Monocrystalline.....	12
Gambar 2.9 Sistem PLTS Mandiri (Off-grid).....	13
Gambar 2.10 Diagram Prinsip PLTS Terhubung Jaringan	14
Gambar 2.11 Sistem PLTS Grid-Connected dengan Penyimpanan (storage)	15
Gambar 2.12 Jenis turbin angin berdasarkan jumlah sudu	18
Gambar 2.13 Jenis-jenis turbin angin sumbu vertikal darrieus.....	20
Gambar 2.14 Gaya-gaya pada setiap sudu	20
Gambar 2.15 Prinsip rotor savonius.....	22
Gambar 2.16 Aplikasi tampilan Homer Pro.....	23
Gambar 2.17 Rangkaian urutan pengisian daya CHAdeMO [14]	24
Gambar 2.18 Konektor protokol CHAdeMO [14].....	25
Gambar 2.19 Dimensi konektor protokol CHAdeMO.....	26
Gambar 2.20 Konektor jari untuk protokol CHAdeMO [15]	26
Gambar 2.21 Tata letak umum pengisi daya cepat DC [14]	27
Gambar 2.22 Interrupter gangguan tanah untuk melindungi operator [14]	28
Gambar 2.23 Isolasi antara converter [15].....	29

Gambar 2.24 Konektor Tipe SAE J1772 dan Konfigurasi Pin SAE J1772 [16] ..	31
Gambar 2.25 Konektor DC gabungan TIPE 2	34
Gambar 2.26 Pengisi Daya AC/DC Gabungan untuk Tipe 2.....	35
Gambar 2.27 Jarak tempuh mil	36
Gambar 2.28 Pengisi daya rumah tangga di area perumahan	37
Gambar 2.29 Pengisi daya di area komersial dan perkantoran	37
Gambar 2.30 Pengisi daya cepat di lokasi strategis	38
Gambar 2.31 Arsitektur Pengisian Daya EV dengan Bus AC	42
Gambar 2.32 Arsitektur Pengisian Daya EV dengan Bus DC	43
Gambar 2.33 Arsitektur Pengisian Daya Mobil Listrik dengan Penyimpanan.....	45
Gambar 2.34 Fluks daya utama dalam arsitektur penyimpanan	45
Gambar 2.35 Konektor CHAdeMO	48
Gambar 2.36 Konektor CHAdeMO Tipe 2.....	49
Gambar 2.37 Konektor IEC 62196-2 "Tipe 1" dengan Pinout	51
Gambar 2.38 Konektor IEC 62196-2 "Tipe 1" dengan Pinout	51
Gambar 3.1 Alur Rancangan Konsep Perencanaan Stasiun Pengisian Listrik Berbasis Energi Terbarukan Pada Jalan Tol Indonesia.....	54
Gambar 3.2 Lokasi Penelitian dan Pengambilan Data.....	56
Gambar 3.3 Desain skematik pembangkit hybrid sistem.....	67
Gambar 4.1 Konfigurasi Panel Surya	71
Gambar 4.2 Total Konfigurasi Panel Surya	72
Gambar 4.3 Menu Utama Homer Pro	85
Gambar 4.4 Beban Listrik Per Jam Selama Satu Hari	86
Gambar 4.5 Menu Input Panel Surya.....	87

Gambar 4.6 Menu Input Inverter	88
Gambar 4.7 Menu Input Turbin Angin	88
Gambar 4.8 Menu Input Baterai	89
Gambar 4.9 Menu Input Grid.....	90
Gambar 4.10 Konfigurasi Sistem Pembangkit Listrik Hybrid pada Homer Pro...	90
Gambar 4.11 Hasil Simulasi	91
Gambar 4.12 Hasil Simulasi	92
Gambar 4.13 Detail Simulasi dan Optimasi HOMER PRO	93
Gambar 4.14 Grafik Software Homer Pro	93
Gambar 4.15 Hasil Simulasi Compare Economic.....	94
Gambar 4.16 Grafik perbandingan perhitungan numerik dan Homer Pro,.....	96
Gambar 4.17 Perbandingan nilai emisi	96
Gambar 4.18 Grafik kelayakan nilai investasi tahunan SPKLU.....	97
Gambar 4.19 Grafik prediksi kapasitas baterai dan lama pengisian AC	100
Gambar 4.20 Grafik prediksi kapasitas baterai dan lama pengisian DC	100
Gambar 4.21 Tata Letak Desain Perencanaan Stasiun Pengisian Listrik Berbasis Energi Terbarukan.....	101

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pin konektor SAE J1772	31
Tabel 2.2 Technical Data of Combined AC/DC connector	35
Tabel 2.3 Mode Pengisian Daya IEC 61851-1.....	41
Tabel 2.4 Peringkat Kelistrikan dari Berbagai Metode Pengisian Daya Mobil Listrik di Eropa	47
Tabel 2.5 Peringkat Kelistrikan Metode Pengisian Daya yang Berbeda di Amerika Utara.....	50
Tabel 3.1 Rata-rata radiasi matahari per bulan selama 1 tahun	57
Tabel 3.2 Rata-rata kecepatan angin per bulan selama 1 tahun	57
Tabel 3.3 Turbin angin Aeolos-V Series.....	58
Tabel 3.4 PV Solar CS6U-340M	59
Tabel 3.5 Survey penggunaan mobil listrik EPA (U.S. Environmental Protection Agency).....	60
Tabel 3.6 Data Jenis Pengisian Listrik.....	60
Tabel 3.7 Energi pada mobil listrik.....	61
Tabel 3.8 Durasi pengisian daya untuk mobil listrik (Hyundai Ioniq 5)	62
Tabel 3.9 Simulasi Antrian Mobil.....	63
Tabel 3.10 Sumber pasokan daya <i>on-grid</i>	64
Tabel 4.1 Posisi penempatan panel surya	71
Tabel 4.2 Energi yang dihasilkan Turbin Angin VAWT.....	74
Tabel 4.3 Biaya investasi untuk sistem pembangkit hybrid.....	75
Tabel 4.4 Biaya Penggantian Komponen Selama Masa Proyek	76

Tabel 4.5 Perhitungan arus kas bersih, faktor diskonto (DF), dan nilai arus kas bersih kumulatif (PVNCF) dengan $i = 6,00\%$	79
Tabel 4.6 Perhitungan arus kas bersih, faktor diskonto DF dan PV_r , dengan $i = 5.00\%$	82
Tabel 4.7 Perhitungan arus kas bersih, faktor diskonto DF dan PV_r , dengan $i = 7.00\%$	83
Tabel 4.8 Perbandingan Hasil Perhitungan Numerik dan HOMER PRO.....	95
Tabel 4.9 Tarif simulasi listrik SPKLU tahun 2020 sampai dengan 2024	97
Tabel 4.10 Kecepatan pengisian mobil listrik tahunan dengan sumber daya AC.	99
Tabel 4.11 Kecepatan pengisian mobil listrik tahunan dengan sumber daya AC.	99

