

**ANALISIS STRATEGI *NET ZERO ENERGY*
BUILDING DENGAN DESAIN AKTIF UNTUK
SISTEM PENCAHAYAAN, PENGONDISI UDARA
SERTA PENGGUNAAN *PHOTOVOLTAIC*
DI GEDUNG PERKANTORAN**

Tesis

Untuk memenuhi salah satu syarat mencapai derajat Pendidikan Strata Dua (S-2)
sebagai Magister Energi pada Program Studi Magister Energi



Disusun Oleh:
ZULRAMADHANIE
30000422410005

**PROGRAM STUDI MAGISTER ENERGI
SEKOLAH PASCASARJANA UNIVERSITAS
DIPONEGORO SEMARANG**

SEPTEMBER 2024

PERSETUJUAN UJIAN TESIS

Yang bertanda tangan dibawah ini Dosen Pembimbing dari:

Mahasiswa : Zulramadhanie
NIM : 30000422410005
Program Studi : Magister Energi
Judul Tesis : Analisis Strategi *Net Zero Energy Building* dengan
Desain Aktif untuk Sistem Pencahayaan,
Pengondisi Udara serta Penggunaan *Photovoltaic*
Di Gedung Perkantoran.

Menyatakan bahwa mahasiswa tersebut telah melaksanakan Ujian Proposal, Ujian
Kemajuan Tesis dan Ujian Seminar Tesis sehingga menyetujui dan layak untuk
melaksanakan Ujian Tesis.

Semarang, 20 September 2024

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Dr. Ir. Jaka Windarta, M.T., IPU, ASEAN Eng.
NIP. 196405261989031002



Dr. Ir. Cahyadi, M.Kom
NIP. 196909211994031002

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Semarang, 20 September 2024



Zulramadhanie
NIM. 30000422410005

**HALAMAN PENGESAHAN
TESIS**

**ANALISIS STRATEGI *NET ZERO ENERGY BUILDING* DENGAN DESAIN
AKTIF UNTUK SISTEM PENCAHAYAAN, PENGONDISI UDARA SERTA
PENGUNAAN *PHOTOVOLTAIC* DI GEDUNG PERKANTORAN
Disusun Oleh :**

**ZULRAMADHANIE
30000422410005**

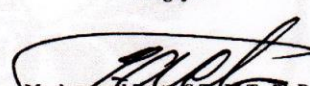
**Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji
Pada tanggal Agustus 2024**

Tim Penguji,

Pembimbing I


Dr. Ir. Jaka Windarta, M.T., IPU
NIP. 196405261989031002

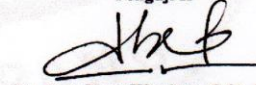
Penguji I


Mochammad Fatah, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197106161999031003

Pembimbing II

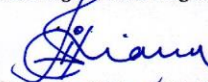

Dr. Ir. Cahyadi, M.kom
NIP. 196909211994031002

Penguji II


Dr. Asep Yoyo Wardaya, S.Si., M.Si.
NIP. 197110021997021001

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Magister Energi

Ketua Program Studi Magister Energi


Prof. Dr. Ing. Ir. Silviana, S.T., M.T., IPM
NIP. 197412162000122001

Dekan Sekolah Pascasarjana


Prof. Ir. M. Agung Wibowo, MM., M.Sc., Ph.D
NIP. 196702081994031005

**PERNYATAAN PERSETUJUAN
PUBLIKASI TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Zulramadhanie
NIM : 30000422410005
Program Studi : Magister Energi
Sekolah : Program Pascasarjana
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**ANALISIS STRATEGI *NET ZERO ENERGY BUILDING* DENGAN
DESAIN AKTIF UNTUK SISTEM PENCAHAYAAN, PENGONDISI
UDARA SERTA PENGGUNAAN *PHOTOVOLTAIC* DI GEDUNG
PERKANTORAN**

Beserta perangkat yang ada. Dengan Hak bebas Royalti Noneksklusif ini Program Studi Magister Energi Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/ formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database) merawat, dan mempublikasikan tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Dibuat di: Semarang
Pada tanggal: 20 September 2024
yang menyatakan,


Zulramadhanie

NIM. 30000422410005



KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan proposal tesis yang berjudul “Analisis Strategi *Net Zero Energy Building* dengan Desain Aktif untuk Sistem Pencahayaan, Pengondisi Udara serta Penggunaan *Photovoltaic* di Gedung Perkantoran”. Proposal tesis ini disusun

bertujuan untuk mendeskripsikan rencana penelitian yang akan dilaksanakan penulis serta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar magister energi pada Program Studi Magister Energi, Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membimbing, memberi bantuan, arahan dan saran dalam penyusunan naskah Tesis ini kepada :

1. Prof. Ir. M. Agung Wibowo, MM., M.Sc., P.hD, selaku Dekan Pascasarjana, Universitas Diponegoro Semarang;
2. Prof. Dr.Ing. Ir. Silviana, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng, selaku Ketua Program Studi Magister Energi Universitas Diponegoro;
3. Dr. Ir. Jaka Windarta, M.T., IPU., ASEAN Eng selaku Pembimbing Pertama atas waktu, tenaga, petunjuk dan keramah-tamahannya dalam membimbing penulis dalam penyusunan Tesis;
4. Dr. Ir. Cahyadi, M.kom. selaku Pembimbing Kedua atas waktu, tenaga, petunjuk dan keramah-tamahannya dalam membimbing penulis dalam penyusunan Tesis;
5. Bapak dan Ibu Dosen Magister Energi yang telah memberikan pengajaran yang luar biasa kepada penulis selama masa perkuliahan;
6. Serta Keluarga tercinta yang telah memberikan semangat dan motivasi yang luar biasa hingga terselesaikannya tesis ini.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan Tesis ini, oleh karena itu kritik dan saran dari pembaca sangat penulis harapkan. Semoga penulisan Tesis ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Semarang, 20 September 2024

Zulramadhanie

DAFTAR ISI

PERSETUJUAN UJIAN TESIS	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN ORISINALITAS	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN PERSETUJUAN	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	15
BAB I PENDAHULUAN.....	Error! Bookmark not defined.
1.1 Latar Belakang	Error! Bookmark not defined.
1.2 Perumusan Masalah.....	Error! Bookmark not defined.
1.3 Tujuan penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
1.4 Manfaat penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
1.5 Originalitas penelitian	Error! Bookmark not defined.
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	Error! Bookmark not defined.
2.1 <i>Net Zero Energy Building</i>	Error! Bookmark not defined.
2.1.1. Definisi <i>net zero energy building</i> (NZEB)	Error! Bookmark not defined.
2.1.2. Strategi <i>net zero energy building</i> (NZEB).....	Error! Bookmark not defined.
2.2 Lampu	Error! Bookmark not defined.
2.3 <i>Air Conditioner</i>	Error! Bookmark not defined.
2.4 Energi Surya.....	Error! Bookmark not defined.
2.4.1. Potensi energi surya.....	Error! Bookmark not defined.
2.4.2. Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS).....	Error! Bookmark not defined.
2.4.3. Komponen utama PLTS	Error! Bookmark not defined.
2.4.4. Bayangan (<i>shading</i>).....	Error! Bookmark not defined.
2.5 Perhitungan Teknis.....	Error! Bookmark not defined.
2.5.1. Perhitungan <i>net</i> keseimbangan energi ...	Error! Bookmark not defined.

2.5.2. <i>Cooling seasonal performance factor (CSPF)</i>	Error! Bookmark not defined.
2.5.3. Perhitungan penghematan energi.....	Error! Bookmark not defined.
2.5.4. Perhitungan intensitas konsumsi energi (IKE)	Error! Bookmark not defined.
2.5.5. Perhitungan daya output sistem PV	Error! Bookmark not defined.
2.5.6. Perhitungan daya maksimum charge discharge baterai.....	Error! Bookmark not defined.
2.6 Perhitungan Tekno-Ekonomi	Error! Bookmark not defined.
2.6.1. Tekno-ekonomi dari efisiensi energi	Error! Bookmark not defined.
2.6.2. Tekno-ekonomi dari sistem photovoltaic	Error! Bookmark not defined.
2.6.3. Biaya operasional dan pemeliharaan (O&M).....	Error! Bookmark not defined.
2.7 <i>Software</i> yang Digunakan	Error! Bookmark not defined.
2.7.1. <i>Helioscope</i>	Error! Bookmark not defined.
2.7.2. <i>Homerpro</i>	Error! Bookmark not defined.
2.7.3. <i>Dialux-evo</i>	Error! Bookmark not defined.
2.7.4. <i>RETScreen</i>	Error! Bookmark not defined.
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	Error! Bookmark not defined.
3.1 Tempat dan Jadwal Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
3.2 Jenis dan Sumber Data Penelitian	Error! Bookmark not defined.
3.3 Kerangka Pikir Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
3.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
3.5 Teknik Pengumpulan Data	Error! Bookmark not defined.
3.5.1. Jenis pengumpulan data.....	Error! Bookmark not defined.
3.6 Teknik Analisis dan Evaluasi	Error! Bookmark not defined.
3.6.1. Pola penggunaan energi listrik serta pengguna energinya.....	Error! Bookmark not defined.
3.6.2. Potensi penghematan energi	Error! Bookmark not defined.
3.6.3. Tekno ekonomi penghematan energi (<i>RETScreen</i>)...	Error! Bookmark not defined.

3.6.4. Potensi luasan, orientasi atap dan bayangan (<i>Helioscope</i>)	Error! Bookmark not defined.
3.6.5. Kapasitas dan tekno ekonomi sistem PV (<i>Homer</i>)	Error! Bookmark not defined.
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	Error! Bookmark not defined.
4.1 Audit Energi	Error! Bookmark not defined.
4.1.1 Konsumsi energi bulanan dan harian gedung	Error! Bookmark not defined.
4.1.2 Pengguna energi signifikan	Error! Bookmark not defined.
4.1.3 Lampu dan air conditioner	Error! Bookmark not defined.
4.1.4 Peneduh kaca	Error! Bookmark not defined.
4.2 Pengukuran dan Verifikasi	Error! Bookmark not defined.
4.2.1 Lampu	Error! Bookmark not defined.
4.2.2 Simulasi dialux	Error! Bookmark not defined.
4.2.3 Air conditioner	Error! Bookmark not defined.
4.3 Tekno-Ekonomi Efisiensi Energi	Error! Bookmark not defined.
4.3.1 Tekno-ekonomi lampu	Error! Bookmark not defined.
4.3.2 Tekno-Ekonomi AC	Error! Bookmark not defined.
4.4 Total Potensi Penghematan Energi	Error! Bookmark not defined.
4.5 Sistem PV	Error! Bookmark not defined.
4.5.1 Potensi area atap dan analisis bayangan (<i>Helioscope</i>)	Error! Bookmark not defined.
4.5.2 Skema sistem PV	Error! Bookmark not defined.
4.5.3 Data meteorologi	Error! Bookmark not defined.
4.5.4 Komponen sistem PV	Error! Bookmark not defined.
4.5.5 Simulasi <i>Homerpro</i>	Error! Bookmark not defined.
4.5.6 Net keseimbangan energi (<i>net energy balance</i>) ..	Error! Bookmark not defined.
4.5.7 Tekno-ekonomi sistem PV	Error! Bookmark not defined.
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	Error! Bookmark not defined.
5.1 Kesimpulan	Error! Bookmark not defined.
5.2 Saran	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR PUSTAKA	Error! Bookmark not defined.
LAMPIRAN.....	Error! Bookmark not defined.



DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Ringkasan penelitian terdahulu	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2.1 Definisi net zero energy building (NZEB).....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2.2 Opsi suplai energi terbarukan pada ZEB (Torcellini et al., 2006)	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2.3 Efikasi dan umur lampu berdasarkan jenis lampu	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2.4 Jenis-jenis modul surya kristalin.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2.5 Temperatur dan jam <i>bin</i>	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3.1 Jadwal pelaksanaan penelitian	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3.2 Peralatan yang digunakan	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3.3 Data sekunder yang digunakan	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.1 Ringkasan penggunaan energi di Gedung PRKKE	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.2 Jumlah lampu di gedung	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.3 Ringkasan hasil pengukuran lampu	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.4 Hasil pengujian laboratorium pada lampu	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.5 Jumlah <i>air conditioner</i> di gedung	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.6 Ringkasan AC 1 PK standar dan inverter ruang Sendiri.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.7 Ringkasan AC 1,5 PK standar dan inverter AC ruang sendiri.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.8 Ringkasan AC 1 PK standar dan inverter ruang bersama.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.9 Ringkasan AC 1,5 PK standar dan inverter ruang bersama.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.10 Spesifikasi sampel AC	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.11 Pengujian laboratorium AC standar dan inverter	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.12 Rangkuman analisis tekno-ekonomi lampu	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.13 Rangkuman analisis tekno-ekonomi AC.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.14 Tekno-ekonomi efisiensi energi.....	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.15 Ringkasan simulasi Helioscope	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.16 Radiasi harian dan clearness index	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.17 Financial input Homerpro	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.18 Ringkasan harga acuan komponen sistem PV ...	Error! Bookmark not defined.

Tabel 4.19 Ringkasan rincian biaya sistem PV**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.20 Tarif listrik sensitifitas penjualan kembali *Homer*....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.21 Perbandingan skema pinjaman dan tanpa pinjaman pada peraturan baru.....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 4.22 Ringkasan sebelum dan sesudah konsep NZEB **Error! Bookmark not defined.**



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Definisi net zero energi lokasi & pilihan suplai dilokasi	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.1 Konsep dan strategi net zero energy building (a) definisi dan (b) hubungan efisiensi energi	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.2 Panduan strategi desain untuk mencapai NZEB (Ohene et al., 2022)	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.3 Peta potensi energi surya di Indonesia	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.4 Ilustrasi PLTS jenis on grid (Powersurya, 2022)	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.5 Ilustrasi PLTS jenis <i>hybrid</i> (Powersurya, 2022)	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.6 Koneksi multi string inverter (Çorba et al., 2012) ..	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.7 Koneksi baterai inverter (Shukir, 2022)	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.8 Pengaruh suhu terhadap umur baterai OPzV (Ritarpower, 2021)	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.9 Simulasi bayangan menggunakan software helioscope	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.10 Simulasi sistem <i>hybrid</i> dan <i>ongrid</i> menggunakan <i>Homer</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.11 simulasi menggunakan Dialux (A) fluoresen (B) LED.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 2.12 Simulasi tekno-ekonomi menggunakan <i>RETScreen</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.1 (a) Gedung PRKKE, (b) peneduh kaca, (c dan e) tipikal ruang kerja, (d) koridor	Error! Bookmark not defined.
Gambar 3.2 Diagram alir penelitian.....	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.1 Konsumsi energi bulanan	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.2 Profil daya harian	Error! Bookmark not defined.

Gambar 4.3 Penguna energi signifikan di gedung .**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.4 Pengukuran lux di area ruang kerja dan ruang rapat..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.5 Pengukuran lux di fasilitas lainnya**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.6 Pengukuran temperatur ruangan.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.7 Jendela (a) dalam, (b)diluar.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.8 Hasil pengukuran termografi pada jendela ruangan..... **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.9 Simulasi dialux evo 12 pada lampu a) fluorezen, b) LED **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.10 Metode pengukuran lampu.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.11 Profil daya harian lampu fluorezen dan LED **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.12 Pengukuran lux lampu fluorezen (A) dan LED (B **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.13 *Integrating sphere***Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.14 Pengujian laboratorium pada lampu**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.15 Metode pengukuran AC**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.16 Profil harian AC standar dan inverter AC 1 PK ruang sendiri **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.17 Profil harian AC standar dan inverter AC 1,5 PK ruang sendiri
.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.18 Profil harian AC standar dan inverter AC 1 PK ruang bersama
.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.19 Profil harian AC standar dan inverter AC 1,5 PK ruang bersama
.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.20 *Air enthalpy calorimeter chamber* ...**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.21 Model energi *RETScreen* lampu**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.22 Analisis finansial lampu**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.23 Model energi *RETScreen* AC.....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.24 Analisis finansial AC**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.25 Arus kas kumulatif efisiensi energi.**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.26	Potensi PV di area atap	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.27	a) Simulasi bayangan, b) sudut barat daya	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.28	Skema sistem PV <i>on-grid</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.29	Skema sistem PV <i>hybrid</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.30	Persentase rincian biaya sistem PV ..	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.31	Beban listrik rekomendasi potensi penghematan <i>Homer</i>	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.32	Profil daya dan konsumsi energi harian sistem <i>on-grid</i> 132 kWp	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.33	Hasil simulasi sistem <i>on-grid</i> 132 kWp	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.34	Hasil simulasi a) rata-rata bulanan, b) selama setahun output PV sistem <i>on-grid</i> 132 kWp	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.35	Hasil simulasi a) rata-rata bulanan, b) selama setahun output inverter sistem <i>on-grid</i> 132 kWp	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.36	Hasil simulasi a) rata-rata bulanan, b) selama setahun pembelian energi sistem <i>on-grid</i> 132 kWp	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.37	Hasil simulasi a) rata-rata bulanan, b) selama setahun ekspor energi sistem <i>on-grid</i> 132 kWp	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.38	Profil daya dan konsumsi energi harian sistem <i>hybrid</i> 140,8 kWp	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.39	Hasil simulasi homer sistem sistem <i>hybrid</i> 140,8 kWp	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.40	Hasil simulasi a) rata-rata bulanan, b) selama setahun output PV sistem <i>hybrid</i> 140,8 kWp	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.41	Hasil simulasi a) rata-rata bulanan, b) selama setahun output inverter sistem <i>hybrid</i> 140,8 kWp	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.42	Hasil simulasi a) rata-rata bulanan, b) selama setahun pengisian daya baterai sistem <i>hybrid</i> 140,8 kWp	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4.43	Hasil simulasi a) rata-rata bulanan, b) selama setahun pelepasan daya baterai sistem <i>hybrid</i> 140,8 kWp	Error! Bookmark not defined.

Gambar 4.44 Hasil simulasi a) rata-rata bulanan,b) selama setahun *State of Charge* baterai sistem *hybrid* 140,8 kWp **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.45 Hasil simulasi a) rata-rata bulanan,b) selama setahun daya baterai sistem *hybrid* 140,8 kWp**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.46 Hasil simulasi a) rata-rata bulanan,b) selama setahun impor energi sistem *hybrid* 140,8 kWp**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.47 Hasil simulasi a) rata-rata bulanan, b) selama setahun ekspor energi sistem *hybrid* 140,8 kWp**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.48 *Net* keseimbangan energi *ZEB***Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.49 Biaya energi listrik**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.50 Energi PV dan gedung setahun**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.51 Total biaya bersih dari system PV (*NPC*) **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.52 Selisih *NPC* sistem PV dengan kasus dasar (*Present Worth*) . **Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.53 IRR, ROI, pengembalian modal dan selisih *NPC* setahun (*annual worth*).....**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.54 Arus kas nominal kumulatif dari sistem *on-grid*...**Error! Bookmark not defined.**

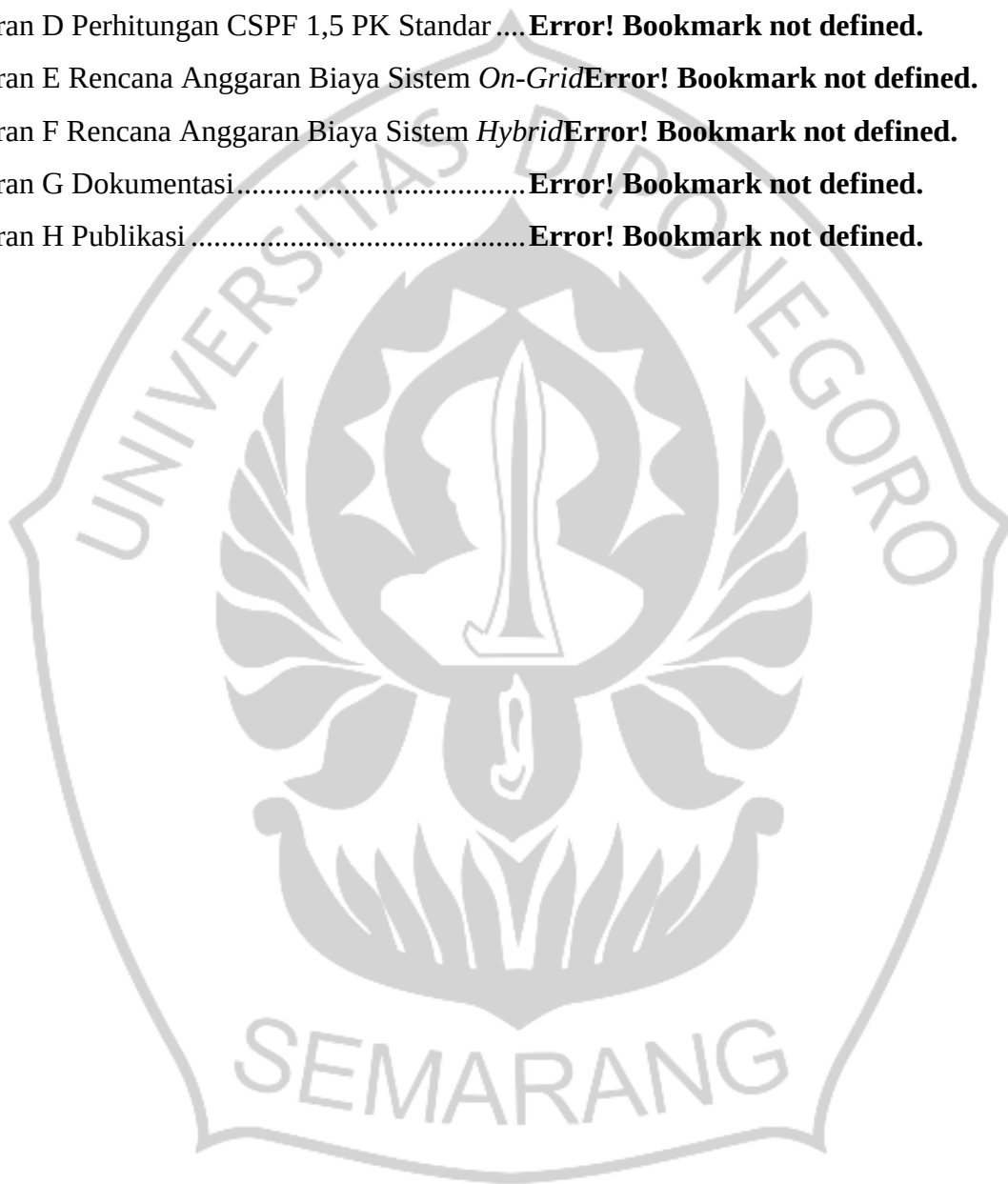
Gambar 4.55 Arus kas nominal kumulatif dari sistem *Hybrid* ...**Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.56 Selisih kumulatif arus kas nominal sistem *on-grid***Error! Bookmark not defined.**

Gambar 4.57 Selisih kumulatif arus kas nominal sistem *Hybrid* **Error! Bookmark not defined.**

DAFTAR LAMPIRAN

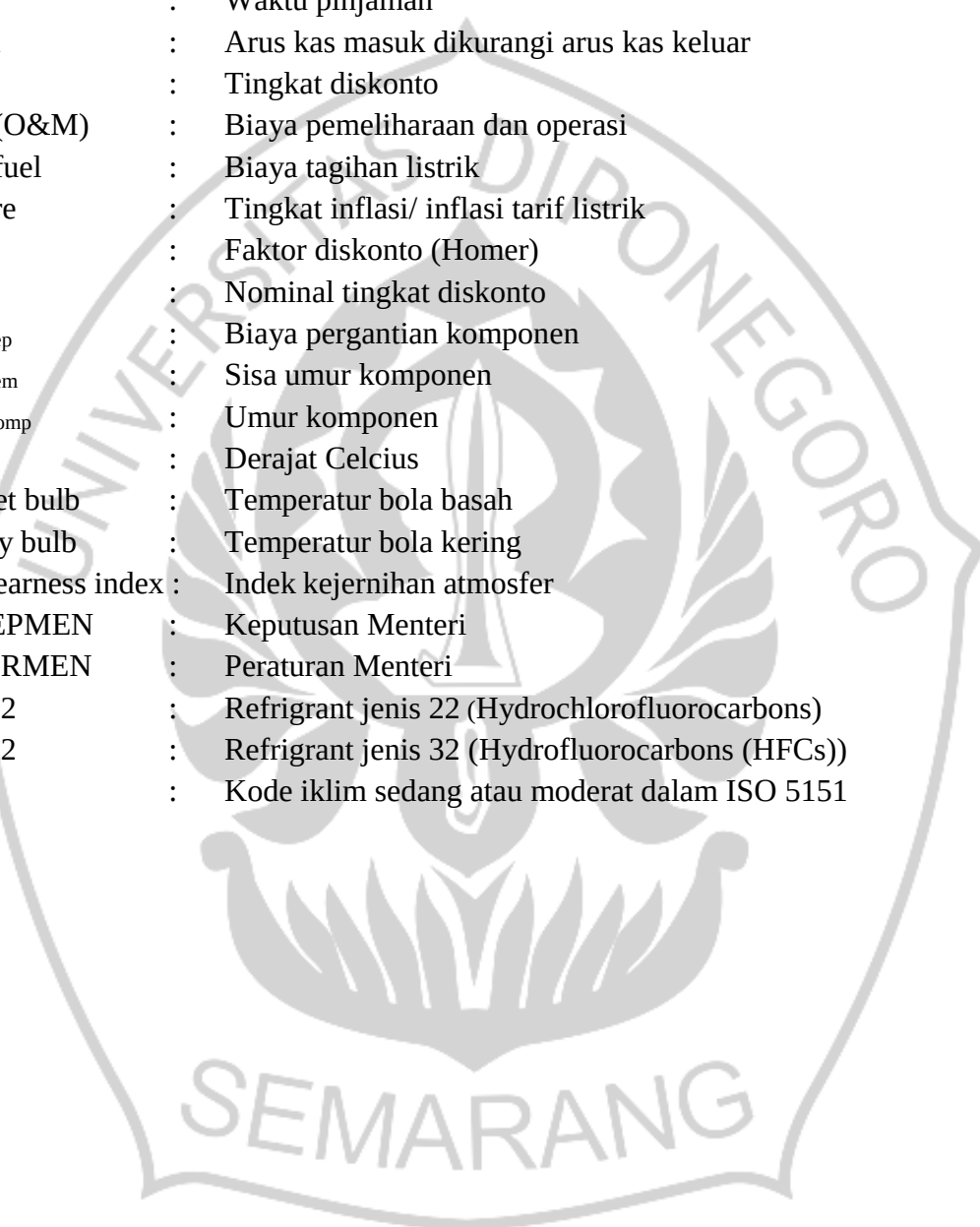
Lampiran A Perhitungan CSPF 1 PK Inverter.....	Error! Bookmark not defined.
Lampiran B Perhitungan CSPF 1,5 PK Inverter	Error! Bookmark not defined.
Lampiran C Perhitungan CSPF 1 PK Standar	Error! Bookmark not defined.
Lampiran D Perhitungan CSPF 1,5 PK Standar	Error! Bookmark not defined.
Lampiran E Rencana Anggaran Biaya Sistem <i>On-Grid</i>	Error! Bookmark not defined.
Lampiran F Rencana Anggaran Biaya Sistem <i>Hybrid</i>	Error! Bookmark not defined.
Lampiran G Dokumentasi.....	Error! Bookmark not defined.
Lampiran H Publikasi	Error! Bookmark not defined.



ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

1.	IKE	:	Intensitas Konsumsi Energi
2.	CSPF	:	Cooling Seasonal Performance Factor
3.	Volt	:	Tegangan (V)
4.	W	:	Watt
5.	Wp	:	WattPeak
6.	kW	:	KiloWatt
7.	kW/ m ²	:	KiloWatt per meter persegi
8.	kWh	:	Kilowatthour
9.	kWp	:	KiloWattPeak
10.	kVA	:	KiloVoltAmpere
11.	kVAR	:	KiloVoltAmpereReactive
12.	MW	:	Megawatt
13.	NZEB	:	Net Zero Energy Building
14.	nZEB	:	Nearly Zero Energy Building
15.	NZE	:	Net Zero Emission
16.	ZEB	:	Zero Energy Building
17.	CO ₂	:	Karbon dioksida
18.	AC	:	Air Conditioner
19.	TDL	:	Tarif Dasar Listrik
20.	SKEM	:	Standar Kinerja Energi Minimum
21.	LED	:	Light Emitting Diode
22.	NASA	:	National Aeronautics and Space Administration
23.	TL	:	Tube Lamp
24.	PBP	:	Pay Back Period
25.	EUI	:	Energy Use Intensity
26.	NPC	:	Net Present Cost
27.	LCoE	:	Levelized Cost of Energy
28.	VRV	:	Variable Refrigerant Volume
29.	VRF	:	Variable Refrigerant Flow
30.	PV	:	Photovoltaic
31.	IPP	:	Independent Power Producer
32.	OPzV	:	Ortsfest Panzerplatte Verschlussen
33.	BTU/h	:	British Thermal Unit per hour
34.	COP	:	Coefficient of Performance
35.	EER	:	Energy Efficiency Ratio
36.	NPV	:	Net Present Value
37.	IRR	:	Internal Rate of Return

38. O&M	:	Operation & Maintenance	
39. B-C R	:	Benefit-Cost Ratio	
40. CRF	:	Capital Recovery Factor	
41. ROI	:	Return on investment	
42. PLN	:	Perusahaan Listrik Negara	
43. PRKKE	:	Pusat Riset Konversi dan Konservasi Energi	
44. BRIN	:	Badan Riset dan Inovasi Nasional	
45. KESDM	:	Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral	
46. IEA	:	Internastional Energy Agency	
47. PUSPIPTEK	:	Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi	
48. SWH	:	Solar Water Heater	
49. HVAC	:	Heating, Ventilation, and Air Conditioning	
50. PLTS	:	Pembangkit Listrik Tenaga Surya	
51. Bin	:	Kelompok kecil dari jam atau temperatur CSPF	
52. kWh/ m ² /	:	Kilowatthour per meter persegi	
53. mm	:	milimeter	
54. Kaca low-e	:	Kaca dengan lapisan emisivitas rendah untuk meredam	panas
55. lm/W	:	lumen per Watt	
56. Efikasi	:	Efisiensi dari lampu / lumen dibagi Watt	
57. DC	:	Direct Current / arus searah	
58. AC	:	Alternating Current / arus bolak-balik	
59. SOC	:	State of Charge / Status energi baterai	
60. String PV	:	Kumpulan beberapa modul surya yang dihubung seri	dalam satu bingkai
61. Array PV	:	Kumpulan dari beberapa string PV	
62. LCST	:	Cooling Seasonal Total Load	
63. CCSE	:	Cooling Seasonal Energy Consumption	
64. t _j	:	Suhu luar untuk setiap temperature bin	
65. n _j	:	Jam bin	
66. L _c	:	Cooling load / Beban Pendinginan	
67. Φ_{ful}	:	Kapasitas pendinginan pada beban penuh	
68. Φ_{haf}	:	Kapasitas pendinginan pada beban setengah	
69. X (t _j)	:	Perbandingan beban dengan kapasitas pendinginan	
70. F _{PL}	:	Perbandingan kinerja ketika AC secara daur dan	dioperasikan
		terus menerus pada suhu dan kelembaban	yang sama
71. CD	:	Koefisien degradasi	
72. P _{ful}	:	Daya input pada beban penuh	
73. P _{haf}	:	Daya input pada beban setengah	
74. cMax	:	Daya maksimum pengisian daya baterai	
75. dMax	:	Daya maksimum pelepasan daya baterai	



76. α_P	:	Koefisien temperatur daya
77. D	:	Pembayaran pinjaman pertahun
78. C	:	Total biaya investasi (RETScreen)
79. F_d	:	Rasio peminjaman (RETScreen)
80. d	:	Tingkat suku bunga pinjaman (RETScreen)
81. n	:	Waktu pinjaman
82. C_n	:	Arus kas masuk dikurangi arus kas keluar
83. r	:	Tingkat diskonto
84. C (O&M)	:	Biaya pemeliharaan dan operasi
85. C fuel	:	Biaya tagihan listrik
86. r_i/r_e	:	Tingkat inflasi/ inflasi tarif listrik
87. f_d	:	Faktor diskonto (Homer)
88. i	:	Nominal tingkat diskonto
89. C_{rep}	:	Biaya pergantian komponen
90. R_{rem}	:	Sisa umur komponen
91. R_{comp}	:	Umur komponen
92. $^{\circ}C$	:	Derajat Celcius
93. Wet bulb	:	Temperatur bola basah
94. Dry bulb	:	Temperatur bola kering
95. Clearness index	:	Indek kejernihan atmosfer
96. KEPMEN	:	Keputusan Menteri
97. PERMEN	:	Peraturan Menteri
98. R22	:	Refrigrant jenis 22 (Hydrochlorofluorocarbons)
99. R32	:	Refrigrant jenis 32 (Hydrofluorocarbons (HFCs))
100. T1	:	Kode iklim sedang atau moderat dalam ISO 5151

INTISARI

Meningkatnya konsumsi energi dan emisi disektor bangunan, sehingga berdampak pada perubahan iklim dan pemanasan global. Strategi dari masalah tersebut yaitu *net zero energy building (NZE)* dengan parameter pentingnya yaitu efisiensi energi dan penggunaan energi terbarukan. Pemerintah Indonesia mengeluarkan PERMEN ESDM No.2 Tahun 2024. Dalam studi ini, peraturan tersebut difokuskan pada peraturan ekspor energi listrik ke jaringan (PLN), dimana pada PERMEN ESDM No. 26 Tahun 2021 ekspor energi dengan nilai jual kembali sebesar 65% dari tarif dasar listrik (TDL), sebaliknya pada peraturan terbaru ekspor energi listrik tidak diperhitungkan atau 0 Rupiah. Studi dilakukan di Gedung 620 dan 621 PRKKE-BRIN, untuk sistem pencahayaan didominasi lampu tabung (TL) jenis fluoresen sehingga kurang efisien, sedangkan untuk pengondisi udara (AC) menggunakan tipe split dengan kapasitas 1-2 PK, dimana berdasarkan pengamatan awal beberapa unit AC tidak berfungsi dengan baik. Rata-rata radiasi matahari harian di lokasi ini sebesar 4,76 (kWh/m²/hari). Oleh karena itu, diperlukan kajian sebagai *pilot project* konsep NZE dengan menganalisis strategi desain aktif untuk sistem pencahayaan dan pengondisi udara menggunakan pendekatan potensi penghematan energi dengan metode pengukuran dan verifikasi disalah satu ruangan yang akan diganti dengan peralatan yang lebih efisien yang melibatkan pengujian lampu dan AC yang dianalisis untuk memenuhi kriteria NZE serta tekno-ekonomi menggunakan *software RETScreen*. Strategi penggunaan energi terbarukan menggunakan sistem *photovoltaic (PV)* dengan menganalisis area efektif diarea gedung menggunakan *software Helioscope* untuk mengetahui kapasitas maksimal serta analisis bayangan. *Software Homer* mensimulasikan dua sistem PV yaitu sistem *on-grid* dengan kapasitas PV 132 kWp dan sistem *hybrid* dengan kapasitas PV140,8 kWp menggunakan baterai OPzV dengan kapasitas 282 kWh serta tekno-ekonomi menggunakan sensitifitas penjualan kembali peraturan saat ini sebesar 0% dan sebelumnya sebesar 65 % ditambahkan sensitifitas 15,25,35,45,55 %. Hasil analisis potensi penghematan energi pertahun dari penggantian lampu TL adalah sebesar 14.139 kWh dengan pengembalian biaya modal selama 1,9 tahun, didapatkan peningkatan efisiensi dari 41 lm/W menjadi 112 lm/W, sehingga memenuhi kriteria NZE pada sistem pencahayaan yaitu ≥ 80 lm/W. Potensi penghematan energi pertahun dari penggantian AC sebesar 27.900 kWh dengan pengembalian biaya modal 3,7 tahun, didapatkan peningkatan efisiensi dari 2,5 menjadi 5,3 Wh/Wh sehingga memenuhi kriteria NZE pada sistem AC yaitu COP minimum 4,2 Wh/Wh. Kedua penggantian tersebut layak dan memenuhi kriteria NZE dari desain aktif, selain itu strategi NZE menggunakan PV didapatkan kedua sistem PV menjadikan gedung mencapai NZE dengan energi positif pada analisis keseimbangan energi bersih sehingga memenuhi kriteria dari NZE ≥ 0 . hasil analisis tekno-ekonomi sistem PV sistem *on-grid* dengan sensitifitas penjualan kembali sebesar 45%-65% yang layak dan memenuhi kriteria tekno-ekonomi dengan skema pinjaman, sehingga untuk menerapkan NZE di Gedung PRKKE-BRIN dengan PERMEN ESDM No.2 tahun 2024, layak diterapkan dengan skema tanpa pinjaman.

Kata Kunci: Pengkondisian Udara, Pencahayaan, Faktor Kinerja Pendinginan Musiman, Efikasi, Sistem *Hybrid*, Sistem *On-grid*

ABSTRACT

The increasing energy consumption and emissions in the building sector result in climate change and global warming. The strategy of the problem is net zero energy building (NZEB) with the important parameters of energy efficiency and the use of renewable energy. The Indonesian government issued MEMR regulation No.2 of 2024. In this study, the regulation is focused on the regulation of exporting electric energy to the grid (PLN), where in MEMR regulation No. 26 of 2021, energy exports with a sell-back value of 65% of the basic electricity tariff (TDL), whereas in the latest regulation the export of electric energy is not calculated or 0 Rupiah. The study was conducted in Building 620-621 PRKKE-BRIN, for the lighting system is dominated by fluorescent tube lights (TL), so it is less efficient, while air conditioning (AC) using a split type with a capacity of 1-2 PK, where based on initial observations several AC units are not functioning properly. The average daily solar radiation at this location is 4.76 (kWh/m²/day). Therefore, a study is needed as a pilot project of the NZEB concept by analyzing active design strategies for lighting and air conditioning systems using an energy-saving potential approach with measurement and verification methods in one room that will be replaced with more efficient equipment involving testing of lamps and air conditioners analyzed to meet NZEB criteria and techno-economics using RETScreen software. Renewable energy strategies using photovoltaic (PV) systems by analyzing the effective area in the building area using Helioscope software to determine the maximum capacity and shadow analysis. Homer software simulates two PV systems, namely an on-grid system with a PV capacity of 132 kWp and a hybrid system with a PV capacity of 140.8 kWp using an OPzV battery with a capacity of 282 kWh and techno-economics using the current regulatory resale sensitivity of 0% and previously at 65% added sensitivity of 15, 25, 35, 45, 55%. The results of the analysis of the potential annual energy savings from replacing TL lamps is 14,139 kWh with a return on capital costs for 1.9 years, obtaining an increase in efficiency from 41 lm / W to 112 lm / W, thus meeting the NZEB criteria on the lighting system which is ≥ 80 lm / W. The potential annual energy savings from replacing the air conditioner amounted to 27,900 kWh with a payback of 3.7 years, an increase in efficiency from 2.5 to 5.3 Wh/Wh was obtained, thus meeting the NZEB criteria for air conditioning systems, namely a minimum COP of 4.2 Wh/Wh. Both replacements are feasible and meet the NZEB criteria of active design. Besides the NZEB strategy using PV, it is obtained that both PV systems make the building achieve NZEB with positive energy in the net energy

Keywords: Air Conditioner, Lighting, Cooling Seasonal Performance Factor, Efficacy, Hybrid System, On-grid System