

TESIS

**APLIKASI PANEL FOTOVOLTAIK TERINTEGRASI
STRATEGI DESAIN PASIF UNTUK MEMINIMALKAN
SELISIH ANTARA INTENSITAS KONSUMSI ENERGI
DAN PRODUKSI LISTRIK**

(Studi kasus Desain Rumah Tipe 55 Di Yogyakarta)



ENJELLINA

215418872

**PROGRAM STUDI MAGISTER ARSITEKTUR
FAKULTAS TEKNIK DEPARTEMEN ARSITEKTUR
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA**

2023



FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
PROGRAM STUDI MAGISTER ARSITEKTUR

PERSETUJUAN TESIS

Nama : ENJELLINA
Nomor Mahasiswa : 215418872
Konsentrasi : Arsitektur Digital
Judul Tesis : Aplikasi Panel Fotovoltaik Terintegrasi Strategi Desain Pasif Untuk Meminimalkan Selisih antara Intensitas Konsumsi Energi dan Produksi Listrik
(Studi Kasus Desain Rumah Tipe 55 Di Yogyakarta)

Nama Pembimbing

Tanggal

Tanda Tangan

Prof. Ir. Prasasto Satwiko, M.Build.Sc., Ph.D.

4/12/2023



FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
PROGRAM STUDI MAGISTER ARSITEKTUR

PENGESAHAN TESIS

Nama : ENJELLINA
Nomor Mahasiswa : 215418872
Konsentrasi : Arsitektur Digital
Judul Tesis : Aplikasi Panel Fotovoltaik Terintegrasi Strategi Desain Pasif Untuk Meminimalkan Selisih Antara Intensitas Konsumsi Energi dan Produksi Listrik (Studi Kasus Desain Rumah Tipe 55 Di Yogyakarta)

Dosen Penguji	Tanggal	Tanda Tangan
1. Prof. Ir. Prasasto Satwiko, M.Build.Sc., Ph.D. (Ketua/Penguji/Pembimbing I)	4/12/2023	
2. Dr. Floriberta Binarti, S.T., Dipl.NDS.Arch. (Anggota/Penguji I)	06/12/23	
3. Sushardjanti Felasari, S.T., M.Sc.CAED., Ph.D. (Anggota/Penguji II)	04/12/23	

Mengetahui,
Ketua Program Studi Magister Arsitektur



Khaerunnisa, S.T., M.Eng. Ph.D.

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Enjellina

Nomor Mahasiswa : 215418872

Program Studi : Magister Arsitektur

Menyatakan bahwa tesis berjudul:

**“APLIKASI PANEL FOTOVOLTAIK TERINTEGRASI STRATEGI
DESAIN PASIF UNTUK MEMINIMALKAN SELISIH ANTARA
INTENSITAS KONSUMSI ENERGI DAN PRODUKSI LISTRIK
(Studi Kasus Desain Rumah Tipe 55 Di Yogyakarta)”**

Sesungguhnya merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan hasil plagiasi. Pernyataan, kutipan (langsung dan tidak langsung), informasi visual ataupun ide orang lain yang saya gunakan dalam penelitian ini telah saya cantumkan sumbernya pada bagian Daftar Pustaka. Apabila dikemudian hari, tesis ini terbukti melakukan pengutipan yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku pada saat pembuatan surat ini, maka saya bersedia menanggung sanksi yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya.

Yogyakarta, 5 Desember 2023

Yang membuat pernyataan,


Enjellina

INTISARI

Sektor bangunan rumah tinggal terindikasi menjadi konsumen tertinggi selama tiga tahun terakhir (2019-2020). Dengan demikian, aspek efisiensi energi menjadi semakin penting untuk sesegera mungkin diimplementasikan. Salah satunya yaitu melalui aplikasi panel fotovoltaik (PV) pada elemen bangunan. Namun, kontribusi panel PV terbatas karena kondisi cuaca, efisiensi panel dan adanya regulasi kapasitas pemasangan sehingga menjadi sumber sekunder untuk pasokan listrik.

Melalui literatur, strategi desain pasif dinilai dapat meningkatkan optimalisasi desain bangunan hemat energi. Dengan demikian, aplikasi panel PV pada rumah yang diawali dengan strategi desain pasif diperlukan agar presentase kontribusi listrik dari panel PV juga turut maksimal. Studi kasus penelitian menggunakan sampel desain rumah standar tipe 55 dari perumahan Green Kuantan Residence, Yogyakarta (milik PT Merapi Arsita Graha) dengan daya listrik tersambung sebesar 1300VA.

Tujuan penelitian ini untuk “*meminimalkan selisih*” yang merupakan upaya untuk mengurangi Intensitas konsumsi energi konvensional di siang hari dan meningkatkan produksi panel PV sehingga diperoleh nilai selisih yang semakin kecil. Penelitian dilakukan dengan metode simulasi Autodesk Revit (Insight 360) dan PVsyst.

Hasil produksi panel PV rumah *baseline* 51 kWh/m²/tahun dan pada rumah *improvement* 53 kWh/m²/tahun. Dengan data demikian, maka selisih antara IKE dan produksi listrik panel PV pada rumah *baseline* + panel PV yaitu 212 kWh/m²/tahun dan pada rumah *improvement* + panel PV yaitu 52 kWh/m²/tahun. Lima faktor yang berpengaruh signifikan terhadap penurunan Intensitas Konsumsi Energi (IKE) yaitu mulai dari jadwal pengoperasian, peneduh jendela, jenis kaca, rasio jendela-dinding dan panel PV.

Kata Kunci: Rumah Tinggal, strategi Desain Pasif, Produksi Panel Fotovoltaik (PV), Meminimalkan Selisih IKE

ABSTRACT

The residential building sector is indicated to be the highest consumer for the last three years (2019-2020). Thus, aspects of energy efficiency become increasingly important to be implemented as soon as possible. One of them is through the application of photovoltaic (PV) panels on building elements. However, the contribution of PV panels is limited due to weather conditions, panel efficiency, and the regulation of installation capacity, so it becomes a secondary source of electricity supply.

Through literature, passive design strategies are considered to improve the optimization of energy-efficient building designs. Thus, the application of PV panels in homes that begin with passive design strategies is needed so that the percentage of electricity contribution from PV panels is also maximized. The research case study used a sample of standard house design type 55 from Green Kuantan Residence, Yogyakarta (owned by PT Merapi Arsita Graha), with electricity connected to 1300VA.

The purpose of this study is to "minimize the difference," which is an effort to reduce the intensity of conventional energy consumption during the day and increase the production of PV panels so that the value of the difference gets smaller. The research was conducted using Autodesk Revit (Insight 360) and PVsyst simulation methods.

The baseline house PV panel production is 51 kWh/m²/year, and at improvements house is 53 kWh/m²/year. With such data, the difference between IKE and PV panel electricity production in baseline house + PV panels is 212 kWh / m² / year, and in improvement house + PV panels, it is 52 kWh /m²/year. Five factors that have a significant effect on reducing Energy Consumption Intensity (IKE) are the operating schedule, window shading, type of glass, window-wall ratio and PV panels.

Keywords: Residential house, Passive Design strategy, Photovoltaic (PV) production, Minimizing IKE

KATA HANTAR

Dengan berkat dan izin Tuhan Yang Maha Esa, tesis berjudul “**APLIKASI PANEL FOTOVOLTAIK TERINTEGRASI STRATEGI DESAIN PASIF UNTUK MEMINIMALKAN SELISIH ANTARA INTENSITAS KONSUMSI ENERGI DAN PRODUKSI LISTRIK (Studi Kasus Desain Rumah Tipe 55 Di Yogyakarta)**” dapat diselesaikan dengan baik. Penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak yang turut membantu selama proses penelitian yaitu:

1. Prof. Ir. Prasasto Satwiko, M.Build.Sc., Ph.D., selaku dosen pembimbing yang telah bersedia untuk membimbing dari awal hingga selesainya penyusunan tesis ini.
2. Ibu Dr. Floriberta Binarti, S.T., Dipl.NDS.Arch. dan Ibu Sushardjanti Felasari, S.T., M.Sc.CAED., Ph.D., sebagai dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan dalam penyempurnaan penelitian.
3. Ibu Khaerunnisa, S.T., M.Eng. Ph.D., Selaku Ketua Program Studi Magister Arsitektur Universitas Atma Jaya Yogyakarta
4. Orang tua yang selalu mendukung penuh dan mendoakan kelancaran masa studi.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tesis ini masih belum sempurna dan sangat terbuka terhadap kritik maupun masukan yang dapat meningkatkan kualitas penelitian. Harapannya, tesis ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak terkait khususnya dalam hal mengembangkan aspek-aspek arsitektur untuk mengaplikasikan penggunaan energi hijau.

Yogyakarta, 5 Desember 2023

Penulis,



Enjellina

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
PERSETUJUAN TESIS.....	i
PENGESAHAN TESIS	ii
SURAT PERNYATAAN.....	iii
INTISARI.....	iv
ABSTRACT.....	v
KATA HANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
ARTI SINGKATAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Lingkup Penelitian.....	5
1.4 Tujuan Penelitian.....	7
1.5 Manfaat Penelitian.....	7
1.6 Keaslian Penelitian	8
1.7 Waktu Penelitian	15
BAB II LANDASAN TEORI	16
2.1 Strategi Desain pasif.....	16
2.2 Panel PV	23
2.3 Rentang Waktu Konversi Energi Surya	29
2.4 Tahap perhitungan kebutuhan panel PV.....	30
2.5 Intensitas Konsumsi Energi (IKE).....	31
2.6 Pemilihan Program Simulasi	32
BAB III METODE PENELITIAN	38

3.1 Jenis Penelitian	38
3.2 Variabel Penelitian	38
3.3 Teknik Pengumpulan Data	39
3.4 Metode analisis data	40
3.5 Keperluan Data Untuk Simulasi	40
3.6 Persiapan <i>setting</i> simulasi dan analisis energi	43
3.7 Kerangka dan Alur Simulasi Penelitian	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	46
4.1 IKE Rumah <i>Baseline</i>	46
4.2 IKE Rumah <i>Improvement</i>	47
4.3 Analisis Pra Pemasangan Panel PV	57
4.4 Hasil Produksi Listrik Panel PV Rumah <i>Baseline</i>	66
4.5 Hasil Produksi Listrik Panel PV Rumah <i>Improvement</i>	70
4.6 Evaluasi Penyerapan Energi Surya di Berbagai Kemiringan Atap Dan Koordinat Geografis	73
4.7 Spesifikasi Rumah <i>Baseline</i> Dan Rumah <i>Improvement</i>	76
4.8 IKE Setelah Pemasangan Panel PV	77
4.9 Selisih Antara IKE Dan Produksi Panel PV	79
BAB V PENUTUP	81
5.1 Kesimpulan	81
5.2 Saran	82
DAFTAR PUSTAKA	83
LAMPIRAN	90

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Ilustrasi maksud “meminimalkan selisih” pada penelitian ini.....	6
Gambar 2.1 Grafik suhu udara rata-rata tahunan.....	18
Gambar 2.2 Pengaruh Kemiringan Atap Terhadap Tekanan Angin	22
Gambar 2.3 Mekanisme Panel PV Sistem On Grid	24
Gambar 2.4 Tiga jenis sel panel PV	26
Gambar 2.5 Perhitungan tagihan listrik pelanggan panel PV sistem <i>On grid</i>	28
Gambar 2.6 Pemetaan potensi daya fotovoltaik Negara Indonesia.....	29
Gambar 2.7 Pemetaan Potensi daya fotovoltaik Kota Yogyakarta	29
Gambar 2.8 Analysis tab (Insight 360) pada <i>software</i> Autodesk Revit	35
Gambar 2.9 Antarmuka PVsyst.....	36
Gambar 3.1 Lokasi Bangunan	40
Gambar 3.2 Denah dan tampak bangunan.....	41
Gambar 3.3 Alur kerja untuk simulasi dan analisis energi	43
Gambar 3.4 Kerangka dan alur simulasi penelitian	45
Gambar 4.1 Model rumah <i>Baseline</i> dan <i>energy setting</i> untuk analisis	46
Gambar 4.2 IKE rumah <i>baseline</i>	47
Gambar 4.3 Perubahan IKE dari berbagai variasi konstruksi dinding dan atap.....	48
Gambar 4.4 Grafik perubahan IKE dari berbagai variasi efisiensi pencahayaan	50
Gambar 4.5 Perubahan IKE Dari Berbagai Rasio Jendela-Dinding	51
Gambar 4.6 Perubahan IKE dari berbagai variasi material kaca	52
Gambar 4.7 Perubahan IKE dari variasi ukuran peneduh.....	53
Gambar 4.8 AC (<i>Air Conditioning</i>).....	54
Gambar 4.9 Perubahan IKE dari variasi jadwal pengoperasian	55
Gambar 4.10 Perubahan IKE dari variasi <i>daylighting & occupancy controls</i>	55
Gambar 4.11 Model rumah <i>Improvement</i> dan <i>energy setting</i> untuk analisis	56
Gambar 4.12 Intensitas konsumsi energi rumah <i>improvement</i>	56
Gambar 4.13 Hasil analisis <i>solar study</i>	58
Gambar 4.14 Analisis bayangan pukul 07.00	59
Gambar 4.15 Rute Kedudukan Matahari Dalam Satu Tahun	60
Gambar 4.16 Pola Distribusi jam Pemakaian peralatan per hari.....	61
Gambar 4.17 Perubahan IKE dari variasi efisiensi panel	63

Gambar 4.18 Perubahan IKE dari variasi cakupan permukaan dan <i>payback limit</i>	63
Gambar 4.19 Grafik konfigurasi sudut kemiringan panel dan azimuth	64
Gambar 4.20 FTransposition dan kerugian dari berbagai sudut kemiringan PV	64
Gambar 4.21 Rekomendasi sudut kemiringan dan azimuth optimal Panel PV	65
Gambar 4.22 Hasil produksi panel PV pada berbagai sudut kemiringan PV	65
Gambar 4.23 Grafik Produksi listrik panel PV rumah <i>baseline</i> [35°]	66
Gambar 4.24 Diagram kerugian panel PV rumah <i>baseline</i> [35°]	68
Gambar 4.25 Grafik Produksi listrik panel PV rumah <i>improvement</i> [15°]	70
Gambar 4.26 Diagram kerugian panel PV rumah <i>improvement</i> [15°]	72
Gambar 4.27 Rute matahari di berbagai kemiringan atap dan koordinat geografis	73
Gambar 4.28 Grafik hasil jam produksi panel PV [35°]	75
Gambar 4.29 Grafik hasil jam produksi panel PV [15°]	75
Gambar 4.30 IKE rumah <i>baseline</i> + panel PV	77
Gambar 4.31 IKE rumah <i>improvement</i> + panel PV	78
Gambar 4.32 Peringkat strategi desain pasif terhadap penurunan IKE	78
Gambar 4.33 Grafik Perbandingan IKE dan produksi panel PV	79

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Data Laporan Distribusi Listrik di Indonesia Tahun 2019-2021	2
Tabel 1.2 Penelitian Tentang Panel Photovoltaik	8
Tabel 1.3 Penelitian tentang strategi desain pasif di bangunan iklim tropis	11
Tabel 1.4 Penelitian Dengan Metode simulasi Autodesk Revit dan Insight 360	12
Tabel 1.5 Penelitian Dengan PVsyst	14
Tabel 1.6 Jadwal Pengerjaan Penelitian Tesis	15
Tabel 2.1 Standar Tingkat Pencahayaan (Kementrian ESDM RI, 2012).....	17
Tabel 2.2 Standar kenyamanan suhu untuk daerah tropis.....	18
Tabel 2.3 Nilai (α) untuk dinding luar dan atap tidak transparan	19
Tabel 2.4 Nilai (α) untuk cat permukaan dinding luar.....	20
Tabel 2.5 Nilai (k) bahan bangunan	21
Tabel 2.6 Perbedaan instalasi panel PV sistem <i>Off-grid</i> dan <i>On-Grid</i>	23
Tabel 2.7 Hasil eksperimen kinerja panel <i>Monocrystalline</i> dan <i>Polycrystalline</i>	27
Tabel 2.8 Kriteria nilai IKE.....	32
Tabel 3.1 Daftar kebutuhan data penelitian	39
Tabel 3.2 Data spesifikasi dan material bangunan.....	42
Tabel 3.3 Spesifikasi panel PV	43
Tabel 4.1 Parameter <i>Insight</i> untuk konstruksi dinding dan atap (satuan metrik)	48
Tabel 4.2 Parameter <i>Insight 360</i> untuk jenis kaca (satuan metrik)	52
Tabel 4.3 Hasil analisis <i>Geographical Site Analysis</i>	57
Tabel 4.4 Estimasi kebutuhan daya listrik di siang hari (12 jam/hari)	61
Tabel 4.5 Data potensi dan produksi listrik panel PV rumah <i>baseline</i> (35°)	67
Tabel 4.6 Hasil produksi listrik panel PV rumah <i>improvement</i> (15°).....	71
Tabel 4.7 Spesifikasi bangunan rumah <i>baseline</i> dan <i>improvement</i> untuk simulasi	76

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Parameter Insight 360 Dan Referensi Gambar.....	90
Lampiran 2. Hasil Analisis Bayangan Rumah <i>Baseline</i>	95
Lampiran 3. Hasil Analisis Bayangan Rumah <i>Improvement</i>	99
Lampiran 4. Hasil Produksi Panel PV Dari Berbagai Sudut Kemiringan.....	104
Lampiran 5. Hasil Jam Produksi Panel PV 35° Dan 15°	105

ARTI SINGKATAN

ARCH 2030	: Architecture 2030, sebuah misi atau target global untuk merancang lingkungan binaan yang rendah emisi karbon dan beroperasi pada energi terbarukan
ASHRAE	: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineer
EUI	: Energy Use Intensity
Ftransposition	: Framed Transposition
AC	: Air-Conditioning
IKE	: Intensitas konsumsi Energy
IAM	: Incidence Angle Modifier
Impp	: Keluaran daya maksimum (Ampere)
kWh	: Kilo watt hour
Lc	: Array Collection Loss
Ls	: System Loss
MPP	: Maximum power point
PV	: Photovoltaic
R Value	: Thermal Resistance
SHGC	: Solar Heat Gain Coefficient
STC	: Standard Test Conditions
U Value	: Thermal Transmittance, kemampuan perpindahan panas material
Umpp	: Maximum power Voltage, tegangan daya maksimum ketika beroperasi
Unit Nominal Power	: Estimasi daya puncak yang dapat dicapai panel PV
VLT	: Visible Light Transmittance
Wh	: Watt Hour
Yf	: System final yield