

**DISAIN DAN IMPLEMENTASI SENSOR MONITORING JARAK
JAUH BERBASIS IOT TERHADAP KINERJA PANEL SURYA,
SERTA SIMULASI DETEKSI DEBU DAN EFEK BAYANGAN**



**Tesis ini ditulis untuk memenuhi sebagian persyaratan guna
memperoleh gelar Magister Teknik Elektro (MT)**

**SAHRY RAMADHAN ABDUH
NIM: 1805190005**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA JAKARTA
2022**



PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TESIS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sahry Ramadhan Abduh

NIM : 1805190005

Program Studi : Magister Teknik Elektro

Fakultas : Program Pascasarjana

Dengan ini menyatakan bahwa karya tulis tugas akhir yang berjudul “Disain Dan Implementasi Sensor Monitoring Jarak Jauh Berbasis Iot Terhadap Kinerja Panel Surya, Serta Simulasi Deteksi Debu Dan Efek Bayangan, adalah:

1. Dibuat dan diselesaikan sendiri dengan menggunakan hasil kuliah, tinjauan lapangan, buku-buku dan jurnal acuan yang tertera di dalam referensi pada karya tugas akhir Saya.
2. Bukan merupakan duplikasi karya tulis yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar Magister Teknik Elektro (M.T.) di universitas lain, kecuali pada bagian-bagian sumber informasi yang dicantumkan dengan cara referensi yang semestinya.
3. Bukan merupakan karya terjemahan dari kumpulan buku atau jurnal acuan yang tertera didalam referensi pada tugas.

Kalau terbukti Saya tidak memenuhi apa yang dinyatakan di atas, maka karya tugas akhir ini dianggap batal.

Jakarta, 05 Februari 2022



Sahry Ramadhan Abduh



“Disain Dan Implementasi Sensor Monitoring Jarak Jauh Berbasis Iot Terhadap Kinerja Panel Surya, Serta Simulasi Deteksi Debu Dan Efek Bayangan”

Oleh:

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sahry Ramadhan Abduh
NIM : 1805190005
Program Studi : Magister Teknik Elektro

telah diperiksa dan disetujui untuk diajukan dan dipertahankan dalam Sidang Tesis guna mencapai gelar Strata Dua / pada Program Studi Magister Teknik Elektro, Fakultas Pascasarjana, Universitas Kristen Indonesia.

Jakarta, 10 Mei 2022

Pembimbing I

Pembimbing II

(Drs. Leonard Lisapaly, M.Si, Ph.D)

(Dr. Togar Harapan Pangaribuan, MT)

Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro

Direktur Program Pascasarjana



(Drs. Leonard Lisapaly, M.Si, Ph.D)



(Dr. Bintang R. Simbolon Msi)



**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO**

PERSETUJUAN KOMISI PEMBIMBING

N A M A	TANGGAL	TANDA TANGAN
1. Drs. Leonard Lisapaly, M.Si., Ph.D Pembimbing 1	10/05/22	
2. Dr. Togar Harapan Pangaribuan, MT Pembimbing 2	10/05/2022	

PERSETUJUAN KOMISI PENGUJI

N A M A	TANGGAL	TANDA TANGAN
1. Drs. Leonard Lisapaly, M.Si., Ph.D	10/05/22	
2. Dr. Togar Harapan Pangaribuan, MT	10/05/2022	
3. Prof. Atmonobudi Soebagio, MSEE., Ph.D	10/05/2022	

Tanggal Lulus : 05/02/2022
Nomor Induk Mahasiswa : 1805190005



UNIVERSITAS KRISTEN INDONESIA
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS PROGRAM PASCASARJANA

PERNYATAAN DAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TESIS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sahry Ramadhan Abduh
NIM : 1805190005
Program Studi : Magister Teknik Elektro
Fakultas : Program Pascasarjana
Jenis Tugas Akhir : Tesis
Judul : Disain Dan Implementasi Sensor Monitoring Jarak Jauh
Berbasis Iot Terhadap Kinerja Panel Surya, Serta
Simulasi Deteksi Debu Dan Efek Bayangan

Menyatakan bahwa:

1. Tesis tersebut adalah benar karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan bukan merupakan duplikasi karya tulis yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar akademik di perguruan tinggi manapun.
2. Tesis tersebut bukan merupakan plagiat dari hasil karya pihak lain, dan apabila saya/kami mengutip dari karya orang lain maka akan dicantumkan sebagai referensi sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
3. Saya memberikan Hak Noneksklusif tanpa royalti kepada Universitas Kristen Indonesia yang berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai Penulis/Pencipta dan sebagai Pemilih Hak Cipta.

Apabila dikemudian hari ditemukan pelanggaran Hak Cipta dan Kekayaan Intelektual atau Peraturan Perundang-undangan Republik Indonesia lainnya dan integritas akademik dalam karya saya tersebut, maka saya bersedia menanggung secara pribadi segala bentuk tuntutan hukum dan sanksi akademis yang timbul serta membebaskan Universitas Kristen Indonesia dari segala tuntutan hukum yang berlaku.

Jakarta, 05 Februari 2022



Sahry Ramadhan Abduh

KATA PENGANTAR

Puji syukur yang sedalam-dalamnya penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala berkat dan limpahan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tulisan penelitian akhir tesis dengan judul “*Disain dan Implementasi Sensor Monitoring Jarak Jauh Berbasis IoT, terhadap Kinerja Panel Surya serta Simulasi Deteksi Debu dan Efek Bayangan*”.

Tujuan dari penulisan tesis ini adalah untuk memenuhi syarat dalam mencapai derajat Magister Teknik Elektro pada Program Studi Pasca Sarjana Universitas Kristen Indonesia, Jakarta.

Di dalam proses penulisan tesis ini, penulis banyak mendapatkan bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak sehingga penulisan tesis ini dapat terselesaikan pada waktunya. Oleh karena itu, ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya dan penghargaan setinggi-tingginya penulis sampaikan kepada :

1. Bapak Drs. Leonard Lisapaly, MSi, Ph.D. selaku Dosen Pembimbing 1.
2. Bapak Dr. Togar Harapan Pangaribuan, MT. , selaku Dosen Pembimbing 2.
3. Bapak Prof. Atmobudi S, MSEE. ,PhD., selaku Dosen Senior Program Studi Magister Teknik Elektro, Program Pasca Sarjana Universitas Kristen Indonesia, Jakarta.
4. Bapak Drs. Leonard Lisapaly, MSi, Ph.D., selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro, Program Pasca Sarjana Universitas Kristen Indonesia, Jakarta.
5. Ibu Dr. Bintang R. Simbolon, MSi. Selaku Direktur Program Pasca Sarjana, Universitas Kristen Indonesia, Jakarta.
6. Bapak. Dr. Dhaniswara K. Harjono, SH.,M.H., MBA., selaku Rektor Universitas Kristen Indonesia, Jakarta.

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, Februari 2022

Penyusun

Ir. Sahry Ramadhan Abduh

ramadhan.sahry@gmail.com

Daftar Isi

Daftar Isi.....	6
Daftar Tabel.....	9
Daftar Gambar.....	10
ABSTRAK.....	12
ABSTRACT.....	13
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	14
1.2 Identifikasi Masalah.....	15
1.3 Perumusan Masalah.....	16
1.4 Batasan Masalah.....	16
1.5 Tujuan Penelitian.....	18
1.6 Manfaat Penelitian.....	18
1.7 Sistematika Penulisan.....	18
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1 Umum tentang Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	20
2.1.1 PLTS jenis Solar Home System (SHS) vs Solar System Rooftop.....	20
2.1.2 Floating Solar Photovoltaic (FPV).....	21
2.2 Modul dan Karakteristik Panel Surya (Solar PV).....	22
2.2.1 Material Sel Surya (Solar Photovoltaic).....	22
2.2.2 Karakteristik Listrik Kurva I-V Panel Surya.....	24
2.2.3 Pengaruh Lingkungan pada Panel Surya.....	25
2.3 Aplikasi SHS (off-grid) dan Solar PV Rooftop (On-grid).....	25
2.3.1 Sinkronisasi Grid pada Solar PV Rooftop.....	27
2.4 Konfigurasi Panel Surya.....	28

2.5	SCC dan MPPT	30
2.6	Battery	34
2.7	Inverter	34
2.8	Beban.....	37
2.9	Pemantauan Kinerja Panel Surya.....	38
2.10	Konsep Pemantauan Kinerja Panel Surya	40
2.10.1	Pemantauan Kinerja Panel Surya Saat <i>Normal vs Abnormal</i>	42
2.10.2	Parameter Deteksi Kondisi Failure	44
2.11	Penurunan Kinerja Karena Pengaruh Lingkungan	44
2.11.1	Pengaruh Temperature dan Kelembaban relatif	45
2.12	Deteksi Pengaruh Tumpukan Debu.....	45
2.12.1	Deteksi Pengaruh Efek Bayangan.....	46
2.13	Sistem Sensor Pemantauan Kinerja Panel Surya dan Aplikasi Cloud Dashboard	47
2.14	Sistem Pemantauan Pemeliharaan.....	48
2.14.1	Strategi Pemeliharaan.....	48
2.14.2	Pemeliharaan Preventif dan Predictive.....	49
2.15	IoT Teknologi Fleksibel bagi Pemantauan Jarak Jauh Pemeliharaan	49
2.15.1	Sensor Lokal dan Datalogger Mengukur Kinerja Panel Surya	50
2.15.2	Review Arsitektur Sistem Jarak Jauh Pemantauan Kinerja Panel Surya	51
2.15.3	IoT Hardware dan Software sebagai Sistem Akuisisi Data	53
2.15.4	Hardware IoT (Populer dan Luas Penggunaannya).....	54
2.15.5	Software IoT.....	54
2.15.6	Jaringan data komunikasi IoT	55
2.15.7	Sistem Keamanan Jaringan IoT	56

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Metodologi.....	57
3.2	Lokasi Uji Coba Penelitian.....	58
3.3	Waktu dan Jadwal Pelaksanaan Uji Coba dan Penelitian.....	59
3.4	Disain Sistem Sensor-sensor.....	59
3.5	Disain Sistem Akusisi Data (<i>Datalogger</i>).....	60
3.6	Disain Sistem Pengiriman Data IoT.....	61
3.7	Indikasi Kinerja Deteksi Normal, Anomali, dan Fault.....	62
3.8	Metode Analisa Data.....	62

BAB IV ANALISIS

4.1	Hasil Penelitian.....	64
4.2	Pengukuran Performansi Ratio (PR) Panel Surya.....	64
4.3	Pengukuran Kinerja dengan Sistem Akusisi Data Sensor dan <i>Datalogger</i>	68
4.4	Pemantauan Kinerja Online dengan IoT Data dan Aplikasi Cloud.....	70
4.5	Analisa Data.....	72
4.5.1	Analisis Uji Sensor Pyranometer dan Trending Data Irradiation.....	73
4.6	Analisis Uji Sensor AM3201 dan Trending Data Temperature dan Humidity....	75
4.7	Pembahasan Pengaruh Irradiasi atas Daya Panel Surya yang dihasilkan.....	77
4.8	Analisis Uji Sensitifitas Sensor Debu GP2Y1014AU dengan Simulasi Tumpukan Debu	78
4.9	Analisis Simulasi Efek Pengaruh Bayangan.....	80
4.10	Analisis Uji Pengiriman Periodik Paket IoT.....	81

BAB V PENUTUP

5.1	Kesimpulan.....	83
5.2	Saran.....	83
	Daftar Pustaka.....	85

Daftar Tabel

Tabel 1	Klasifikasi beberapa parameter kelistrikan dan lingkungan	14
Tabel 2	Contoh check list Preventive Maintenance Inverter	34
Tabel 3	Contoh Statistik Dasar Dataset per 10 menit.....	44
Tabel 4	Variasi rate media transmisi	53
Tabel 5	Realisasi Jadwal Implementasi Sistem Prototipe dan Pengambilan Data	59
Tabel 6	Spesifikasi teknis produk sebuah Panel Surya 50 wp jenis poly.....	65
Tabel 7	Spesifikasi teknis produk sebuah Panel Surya 50 wp jenis poly	66



Daftar Gambar

Gambar 1 Panel Surya dan sel semikonduktor.....	23
Gambar 2 Sistem Panel Surya Single Grid-off	23
Gambar 3 Kurva I-V Current dan Voltage Panel Surya.....	24
Gambar 4 Diagram Aplikasi PLTS jenis Solar Home System (SHS) sederhana.....	26
Gambar 5 Diagram Koneksi Sistem Solar PV Rooftop.....	27
Gambar 6 Sinkronisasi otomatis grid (PLN) dengan Sistem PLTS.....	28
Gambar 7 Panel surya disambungkan secara seri.....	28
Gambar 8 Konfigurasi panel surya paralel.....	29
Gambar 9 Solar Charge Controller jenis PWM kapasitas 10A / 12 Volt DC	31
Gambar 10 Solar Charge Controller dengan fungsi MPPT	32
Gambar 11 Display Software Pengukuran Kurva I-V.....	33
Gambar 12 Voltage dari MPP dan ketergantungan dengan iradiasi	36
Gambar 13 Kurva Efisiensi Inverter 12 kW, jenis inverter tiga-phase komersial.....	36
Gambar 14 Tipikal variasi harian status pengisian battery pada PLTS	37
Gambar 15 Info grafik scatter (tahun 1994, 1997, dan 2010), dengan Irradiasi Sinar Matahari Annual (kwh m-2 year-1)	42
Gambar 16 Kurva Daya dan Tegangan P-V, variasi intensitas radiasi matahari	43
Gambar 17 Pengaruh sel yang diberikan naungan bayangan (kiri) dalam panel surya, tidak saja mempengaruhi peningkatan panas pada sel yang bersangkutan namun juga memanaskan sel yang berbeda (kanan).....	46
Gambar 18 Daya yang hilang efek bayangan pada Sel Panel Surya	47
Gambar 19 Layer-layer dalam Pengembangan Sistem Pamantauan Jarak Jauh Kinerja Panel Surya.....	52
Gambar 20 Arsitektur Solusi IoT.....	54
Gambar 21 Lokasi uji coba di Kantor Jl. Jati Padang I No. 1, Pasar Minggu Jakarta Selatan	58
Gambar 22 Metodologi Analisa dengan Automated Data Analysis	63
Gambar 23 Metodologi Akuisisi hingga Visualisasi Data Kinerja Panel Surya dengan IoT	63
Gambar 24 Data Pengujian Pabrik kondisi STC Panel Surya50 wp jenis poly	65

Gambar 25 Data Pengujian Pabrik kondisi STC Panel Surya jenis poly	66
Gambar 26 Kurva I dan V dari Hasil Pengukuran Panel Surya 50 wp.....	68
Gambar 27 Blok diagram logik Sistem Mikrocontroller Akusisi data lingkungan dan Kelistrikan Panel Surya.....	69
Gambar 28 Enclosure sensor-sensor dan Panel Surya (kiri) Visual Grafik IoT Parameter Panel Surya (kanan)	70
Gambar 29 Daftar Komponen Sistem Prototipe IoT Remote Sensor PV Performance	70
Gambar 30 Sistem Arsitektur Panel Surya (blok kiri) dan via IoT Cloud (blok kanan)	71
Gambar 31 Dashboard IoT Cloud Performance Panel Surya Monocrystalline 50 wp.....	71
Gambar 32 Blok diagram Alur Proses Gathering sampai Visual Data	72
Gambar 33 Grafik Status Intensitas Irradiation (w/m ²) Matahari 1/12 s/d 6/12 2021	74
Gambar 34 Grafik 6 Hari, Output Tegangan DC Panel Surya vs Intensitas Radiasi Matahari	75
Gambar 35 Perubahan Temperature (°C) lingkungan vs Humidity (%) Periode 1 – 6 Desember 2021.....	76
Gambar 36 Sample Nilai Parameter Pengukuran di bulan Juli 2021.....	77
Gambar 37 Intensitas Radiasi (Irr) vs Output Tegangan DC Panel (V _{max}).....	78
Gambar 38 Tumpukan debu, dengan simulasi tepung menutup ¼ permukaan panel surya	79
Gambar 39 Tumpukan debu, dengan simulasi tepung menutup ½ permukaan panel surya	79
Gambar 40 Tumpukan debu, dengan simulasi tepung menutup ¾ permukaan panel surya	79
Gambar 41 Tumpukan debu, dengan simulasi tepung menutup penuh permukaan panel surya.....	79
Gambar 42 Grafik menunjukkan sensor Infrared mendeteksi debu.....	80
Gambar 43 Sniffing 1 (satu) paket IoT	81

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mendisain dan mengimplementasikan aplikasi secara end-to-end suatu perangkat jarak jauh sistem pemantauan real-time memanfaatkan Teknologi IoT, untuk mengukur kinerja panel surya saat operasional, serta membuat simulasi kondisi lingkungan tidak normal karena pengaruh tumpukan debu atau efek tertutup oleh bayangan pada permukaan panel surya. Dari sampel hasil penelitian akuisisi data sensor-sensor yang terhubung ke mikrokontroler, telah direkam sebagai data di Datalogger (data lokal di SD Card). Secara simultan, juga dilakukan pengiriman data ke Online Internet Aplikasi Cloud. Penelitian telah berhasil mengukur parameter karakteristik panel surya, yaitu parameter kelistrikan kurva I-V dan posisi saat maksimum produksi daya (P) tercapai. Adapun variasi trend datanya dapat dipilih dan ditampilkan berdasarkan seri waktu (menit, jam, harian, minggu dan bulan). Dan penelitian berhasil pula mengamati parameter perubahan lingkungan seperti intensitas radiasi matahari, temperatur, serta kelembaban udara. Sistem monitoring berbasis IoT yang didisain dan diimplementasikan ini, juga mampu melihat pengaruh kecepatan, pay-load paket data, jenis media dan kestabilan jaringan komunikasi IoT yang dipakai koneksi ke Internet. Seri trend time data-data ini memberikan gambaran kinerja panel surya saat dioperasionalkan. Semua hasil-hasil data olahan penelitian yang banyak dan lama, telah memperlihatkan masing-masing korelasinya menggunakan open software analisa data python. Dengan software yang sama, juga dapat diperoleh visualisasi data analisa prakiraan cuaca lingkungan kedepan. Visualisasi infografik ini dapat menunjukkan prediksi dalam sistem pemeliharaan efektif.

Keywords: *Internet of Things (IoT), performansi panel surya, efek debu, efek bayangan, datalogger, prediksi pemeliharaan*

ABSTRACT

This study aims to design and implement an end-to-end application a remote real-time monitoring system using IoT technology, to measure the performance of solar panels during operation, as well as simulating abnormal environmental conditions due to the influence of dust piles or the effect of being covered by shadows on the surface of the solar panels. From the sample data acquisition research results of sensors connected to the microcontroller, it has been recorded as data in the Datalogger (local data on the SD Card). Simultaneously, data is also sent to the online Internet Cloud Application. The research has succeeded in measuring the characteristic parameters of solar panels, namely the electrical parameters of the I-V curve and the position when the maximum power production (P) is reached. The data trend variations can be selected and displayed based on the time series (minutes, hours, days, weeks and months). And the research has also succeeded in observing the parameters of environmental changes such as the intensity of solar radiation, temperature, and air humidity that affect the production of solar panel electricity. This IoT-based monitoring system that is designed and implemented is also able to see the effect of speed, data packet pay-load, media type and stability of the IoT communication network used to connect to the Internet. The trend time series of these data provides an overview of the performance of solar panels when operational. All the results of many and old research processed data, have shown their respective correlations using the open python data analysis software. With the same software, data visualization can also be obtained for future environmental weather forecast analysis. This infographic visualization can show predictions in effective maintenance systems.

Keywords: *Internet of Things (IoT), Solar panel performance, dust effect, shadow effect, datalogger, predictive maintenance.*