



**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING KUALITAS UDARA DALAM
RUANGAN BERBASIS ESP32 DENGAN PARAMETER CO₂, SUHU,
KELEMBAPAN, DAN PM2.5 DENGAN PENYIMPANAN DATA PADA
GOOGLE SPREADSHEET**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Disusun sebagai Syarat Menyelesaikan Pendidikan pada
Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri
Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro

Disusun oleh:
Keyla Khairunisa Irawan
40040622650047

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNIK LISTRIK INDUSTRI
DEPARTEMEN TEKNOLOGI INDUSTRI
SEKOLAH VOKASI
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2026**

HALAMAN PERSETUJUAN LAPORAN TUGAS AKHIR

**RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING KUALITAS UDARA DALAM
RUANGAN BERBASIS ESP32 DENGAN PARAMETER CO₂, SUHU,
KELEMBAPAN, DAN PM2.5 DENGAN PENYIMPANAN DATA PADA GOOGLE
SPREADSHEET**

Diajukan oleh : Keyla Khairunisa Irawan
NIM : 40040622650047

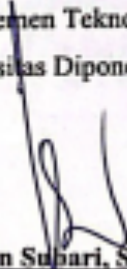
Dosen Pembimbing,



Dista Yoel Tadeus, S.T., M.T.
NIP. 197106151998021001

Tanggal 7 Agustus 2026

Mengetahui,
Ketua Program Studi Sarjana Terapan Teknik Listrik Industri
Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro



Arkhan Supari, S.T., M.Kom.
NIP. 197710012001121002

Tanggal 7 Agustus 2026

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING KUALITAS UDARA DALAM RUANGAN BERBASIS ESP32 DENGAN PARAMETER CO₂, SUHU, KELEMBAPAN, DAN PM2.5 DENGAN PENYIMPANAN DATA PADA GOOGLE SPREADSHEET

Diajukan oleh : Keyla Khairunisa Irawan

Telah dipertahankan di Dewan Penguji pada

Hari : Kamis

Tanggal : 23 Juli 2026

Penguji I



Fakhruddin Mangkusasmito,
S.T.,M.T.,

NIP. 198908202019031012

Penguji II



Yuniarto, S.T.,M.T.,

NIP. 197106151998021001

Penguji III



Dista Yoel Tadeus, S.T.,M.T.,

NIP. 198812882015041002

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Listrik Industri
Departemen Teknologi Industri Sekolah Vokasi
Universitas Diponegoro



Arkhan Subart, S.T.,M.Kom

NIP.19771001200112100

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

Saya bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Keyla Khairunisa Irawan
NIM : 40040622650047
Instansi : Universitas Diponegoro
Fakultas : Sekolah Vokasi
Departemen : Teknologi Industri
Program Studi : Teknik Listrik Industri
Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Udara
Dalam Ruangan Berbasis ESP32 Dengan Parameter
CO₂, Suhu, Kelembapan dan PM2.5 Dengan
Penyimpanan Data Pada Google Spreadsheet

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir ini belum pernah diajukan sebelumnya untuk memperoleh gelar keahlian di suatu perguruan tinggi, dan merupakan hasil karya saya yang disusun berdasarkan penelitian, pengembangan, serta inovasi yang saya lakukan. Dalam proses penyusunan, saya merujuk pada beberapa penelitian terdahulu sebagai referensi, seluruh sumber telah dicantumkan secara jelas dalam naskah dan daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti terdapat pelanggaran akademik atau unsur plagiarasi, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan Peraturan Mendiknas RI No. 17 Tahun 2010 serta Undang - Undang yang berlaku.

Semarang, 23 Juli 2026
Yang membuat pernyataan

Keyla Khairunisa Irawan
NIM. 40040622650047

HALAMAN PERSEMBAHAN

Penulis ucapkan puji dan syukur kepada sang pencipta Allah SWT atas segala nikmat kesehatan, kekuatan dan ketabahan dalam proses penyelesaian tugas akhir ini. Ada banyak hal baik dan bantuan di balik proses penyelesaian tugas akhir ini, maka atas karya yang sederhana ini penulis persembahkan sebagai bukti semangat usaha penulis, serta cinta dan kasih sayang kepada orang-orang yang bermakna dalam hidup penulis.

1. Mama, dengan taruhan nyawa mama aku terlahir, maka setiap napas ini adalah titipan bukan kebetulan dan setiap langkahku harus menjadi jawaban bukan kesia-siaan. Terima kasih karena sudah selalu percaya atas mimpi-mimpi kekey yang selalu kekey ceritakan dan selalu menjadi cahaya inspirasi ketika kekey sedang putus asa dan hilang makna. Maka biarlah kekey mengingat bahwa keberadaanku sudah dibayar mahal dengan cinta dan tugasku untuk menyelesaikan tugas akhir ini dengan tepat waktu.
2. Ayah, untuk setiap semangat yang pernah diberikan dan rasa sayang yang ayah curahkan membuat kekey merasa seperti seseorang seutuhnya, dan pada akhirnya kekey akan selalu membutuhkan ayah untuk itu terima kasih karena menjadi salah satu penguat dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Karla Salsabila Irawan dan Carissa Zahra Rahmadania, adik penulis yang menjadi motivasi penulis untuk segera menyelesaikan laporan tugas akhir ini agar menjadi contoh anak pertama dan kakak yang baik. Terima kasih untuk menjadi pengingat dan segala semangat untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Keluarga Penulis, terutama memeh dan tante Ita yang banyak berjasa dalam mendukung pendidikan dan selalu memotivasi untuk tumbuh jadi yang lebih baik, dan selalu percaya pada setiap proses yang kekey lalui.
5. Nathania Najwa Aureliya R, Ilyha Ramandhasari dan Lintang Herpi. Sahabat penulis terutama untuk Nathan dan Ilyha yang kehadirannya di Semarang membuat hidup lebih berwarna, terimakasih karena selalu memberikan senyuman, tawa dan kehangatan ketika penulis sedang jenuh atas dunia perkuliahan dan

menjadi salah satu penyemangat dalam proses penyelesaian laporan tugas akhir ini.

6. Siti Rahmah Khairunnisa, sahabat penulis yang juga selalu memberikan tawa dan kehangatan ketika hidup sedang kehilangan makna serta selalu menguatkan untuk terus melangkah dan maju.
7. Desty Niesmalasari, sahabat penulis dari ketika menduduki bangku SMP yang menjadi saksi hidup sekaligus mengetahui hal-hal penting dalam hidup penulis, terima kasih untuk selalu percaya atas setiap langkah penulis.
8. Anandya Subsepta Cahyani, sahabat penulis dari awal perkuliahan dimulai hingga akhir dalam penulisan laporan tugas akhir ini. Terima kasih untuk setiap bantuan, semangat, dan hal baik yang dilakukan kepada penulis selama perkuliahan semoga kita bisa selalu mendapatkan hal yang selama ini kita ceritakan selama perkuliahan untuk masa depan yang baik.
9. Kumpulan Ustadzah, grup yang berisikan Andien, CC, Hanun, Hanifah dan Amanda yang kehadirannya muncul ketika sudah mendekati semester akhir, namun penulis sangat beruntung karena bisa merasakan pertemanan dalam grup cewek yang baik, tidak lupa selalu mengingatkan untuk selalu berasa di jalan Allah, dan memberi warna pada masa perkuliahan ini.
10. Dan yang terakhir dan terpenting Naufal Dzaky Abiyyu seseorang yang banyak berjasa dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini, seseorang yang sedang menyelesaikan tugas akhir juga di Teknik Industri namun tetap memberikan rasa cinta, aman dan nyaman dalam membantu semua proses dan keberhasilan laporan tugas akhir ini. Penulis yakin atas segala hal yang besar dan baik di masa depan akan terjadi. Penulis juga selalu mendoakan atas segala hal-hal baik dalam kehidupan.

ABSTRAK

Kualitas udara dalam ruangan berpengaruh langsung terhadap kesehatan, kenyamanan, dan produktivitas penghuni, namun pemantauan manual tidak mampu merekam perubahan kondisi udara secara berkelanjutan. Penelitian ini merancang dan membangun sistem monitoring kualitas udara dalam ruangan berbasis mikrokontroler ESP32 dengan empat parameter, yaitu karbon dioksida (CO_2), suhu, kelembapan, dan partikulat $\text{PM}_{2.5}$. Sensor MH-Z16, DHT22 AM2302, dan ZH03B digunakan sebagai perangkat pembacaan; hasil pengukuran ditampilkan pada LCD I2C 20x4 dan dikirimkan secara berkala ke Google Spreadsheet melalui protokol HTTPS. Pengujian dilakukan pada empat ruangan di lingkungan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro dan menghasilkan 19.408 titik data selama 80,55 jam. Konsentrasi CO_2 terbukti dipengaruhi okupansi dan ventilasi ruang, dengan Perpustakaan mencatat 70,0% data pada kategori berbahaya. Rata-rata $\text{PM}_{2.5}$ seluruh lokasi melampaui pedoman WHO 2021 sebesar $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, dan dua lokasi melampaui baku mutu Permenkes Nomor 1077 Tahun 2011 sebesar $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Interval pengiriman aktual rata-rata 14,94 detik dengan hanya 0,79% interval melampaui 20 detik sehingga keandalan pengiriman tergolong tinggi. Seluruh indikator keberhasilan yang ditetapkan berhasil dipenuhi.

Kata Kunci : kualitas udara dalam ruangan, *ESP32*, *CO_2* , *$\text{PM}_{2.5}$* , *Google Spreadsheet*

ABSTRACT

Indoor air quality directly affects the health, comfort, and productivity of building occupants, yet manual inspection cannot capture continuous changes in air conditions. This study designed and built an ESP32-based indoor air quality monitoring system measuring four parameters: carbon dioxide (CO₂), temperature, humidity, and particulate matter PM_{2.5}. An MH-Z16 NDIR sensor, a DHT22 AM2302 sensor, and a ZH03B laser dust sensor were integrated with the microcontroller. Measurements were shown on a 20x4 I2C LCD and transmitted periodically to Google Spreadsheet over HTTPS through Google Apps Script. Testing was conducted in four rooms at the Vocational School of Universitas Diponegoro, yielding 19,408 data points across 80.55 hours of operation. The results show that CO₂ concentration is governed by the combination of occupancy and ventilation: the library, a closed air-conditioned room with high occupancy, recorded 70.0% of its readings in the hazardous category with a peak of 2,828 ppm, whereas naturally ventilated rooms remained within the safe category. This confirms that air conditioning does not substitute for fresh-air ventilation. PM_{2.5} proved to be the most critical finding, as the mean concentration at every location exceeded the WHO 2021 guideline of 15 µg/m³ and two locations exceeded the Permenkes No. 1077/2011 threshold of 35 µg/m³. Data transmission was reliable, with a mean actual interval of 14.94 seconds and only 0.79% of intervals exceeding 20 seconds. All predefined success indicators were satisfied.

Keywords: indoor air quality, ESP32, CO₂, PM_{2.5}, Google Spreadsheet

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan KuasaNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan sekaligus menyusun laporan Tugas Akhir dengan judul “Rancang Bangun Sitem Monitoring Kualitas Udara dalam Ruangan Berbasis ESP32 dengan Parameter CO₂, Suhu, Kelembapan, dan PM2.5 dengan Penyimpanan Data pada Google Spreadsheet” sebagai salah satu syarat bagi penulis dalam menyelesaikan program studi Sarjana Terapan di Teknik Listrik Industri Universitas Diponegoro. Laporan Tugas Akhir ini diharapkan dapat menambah kreativitas dan pengetahuan yang baik bagi penulis maupun pembaca laporan Tugas Akhir ini. Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak

1. Bapak Dista Yoel Tadeus, S.T.,M.T selaku Dosen Pembimbing yang telah membantu proses penyelesaian tugas akhir saya dan memudahkan semua proses bimbingan agar berjalan dengan tepat waktu.
2. Prof Dr. Ir. Budiyono, M.Si. selaku Dekan Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
3. Bapak Arkhan Subari, S.T., M.Kom. selaku Ketua Program Studi Teknik Listrik Industri Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro.
4. Rekan-rekan Teknik Listrik Industri 2022 yang selalu berjuang bersama dari awal masa perkuliahan hingga lulus.

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN LAPORAN TUGAS AKHIR **Error! Bookmark not defined.**

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR **Error! Bookmark not defined.**

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIANiii

HALAMAN PERSEMBAHANiv

ABSTRAK.....vi

ABSTRACTvii

KATA PENGANTAR.....viii

DAFTAR ISIix

DAFTAR GAMBAR.....xiii

DAFTAR TABEL xv

DAFTAR LAMPIRANxvii

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah..... 3

1.3 Batasan Masalah 4

1.4 Tujuan Tugas Akhir 5

1.5 Manfaat Tugas Akhir 5

1.5.1 Manfaat bagi Penulis 5

1.5.2 Manfaat bagi Mahasiswa dan Pembaca 6

1.6 Sistematika Tugas Akhir..... 6

BAB II LANDASAN TEORI.....	8
2.1 Tinjauan Pustaka.....	8
2.2 Dasar Teori	10
2.2.1 Karbon Dioksida (CO ₂).....	10
2.2.2 Partikulat PM2.5	10
2.2.3 Sensor CO ₂ Winsen MH-Z16	11
2.2.4 Sensor Debu Laser ZH03B	13
2.2.5 Sensor DHT22 AM2302.....	14
2.2.6 Mikrokontroler ESP32.....	16
2.2.7 LCD I2C 20x4	19
2.2.8 Catu Daya Adaptor 5V	21
2.2.9 Google Spreadsheet sebagai Media Penyimpanan Data.....	22
2.2.10 Sistem Monitoring dan Pencatatan Data Berkala	23
2.2.11 Pengujian Fungsional Sensor.....	24
2.2.12 Statistik Deskriptif.....	24
2.2.13 Kualitas Udara	26
BAB III METODE DAN PERANCANGAN ALAT.....	30
3.1 Metode Penyusunan.....	30
3.2 Alur Penyusunan.....	30
3.3 Gambaran Umum.....	31
3.4 Perancangan Sistem Perangkat Keras.....	31
3.4.1 Diagram Blok.....	31
3.4.2 Schematic Diagram.....	33
3.4.3 Wiring Diagram	34

3.5	Desain 3D Alat.....	41
3.6	Flowchart Sistem	42
3.7	Algoritma Kerja Sistem	46
3.8	Metode Pengolahan Data	46
3.9	Metode Pengujian Sistem	47
3.9.1	Lokasi dan Durasi Pengujian	47
3.9.2	Skenario Pengujian	47
3.10	Metode Evaluasi Pembacaan Sensor	49
3.11	Penentuan Kategori Kualitas Udara.....	50
3.12	Indikator Keberhasilan Sistem.....	51
3.13	Rencana Pengambilan Data	52
BAB IV PEMBUATAN ALAT		55
4.1	Pembuatan Perangkat Keras (Hardware).....	56
4.1.1	Alat dan Bahan.....	56
4.1.2	Pembuatan Perangkat Elektrik.....	57
4.1.3	Pembuatan Perangkat Mekanik	61
4.2	Pembuatan Program Pada Arduino IDE	65
4.2.1	Inisialisasi Pin dan Konfigurasi awal ESP32.....	66
4.2.2	Konfigurasi Sinkronisasi Waktu (NTP).....	67
4.2.3	Konfigurasi Google Spreadsheet	67
4.2.4	Konfigurasi Interval Pengiriman Data	68
4.2.5	Konfigurasi Status Pengiriman Data.....	68
4.2.6	Inisialisasi Objek Perangkat Keras	69
4.2.7	Fungsi Callback Mode Konfigurasi (configModeCallback)	70

4.2.8	Konfigurasi koneksi WiFi (setupWiFi)	72
4.2.9	Program Pembacaan Sensor.....	73
4.2.10	Program Tampilan LCD	74
4.2.11	Program Pengiriman Data ke Google Spreadsheet.....	75
4.2.12	Program Utama (loop)	76
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		100
5.1	Hasil Pengujian dan Analisis Sistem	100
5.1.1	Pengujian Kinerja Sistem.....	101
5.2	Hasil Pengujian Sensor CO ₂ (MH-Z16)	102
5.3	Hasil Pengujian Sensor Suhu dan Kelembapan (DHT22)	106
5.4	Hasil Pengujian Sensor PM2.5 (ZH03B).....	111
5.5	Rekapitulasi Hasil Pengukuran 4 Lokasi	114
5.6	Pengujian Pengiriman Data	115
BAB VI Kesimpulan dan Saran.....		118
6.1	Kesimpulan	118
6.2	Keterbatasan Sistem.....	119
6.3	Saran	119
DAFTAR PUSTAKA.....		121
LAMPIRAN		123

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sensor CO ₂ MH Z-16 Winsen	11
Gambar 2. 2 Partikulat PM2.5 ZH03B Winsen.....	13
Gambar 2. 3 Sensor DHT22	15
Gambar 2. 4 Mikrokontroler ESP32.....	16
Gambar 2. 5 Pin Out ESP32 WROOM 32D	18
Gambar 2. 6 Gambar dan Pinout LCD 12C.....	20
Gambar 3. 1 Diagram Blok.....	31
Gambar 3. 2 Schematic Diagram.....	33
Gambar 3. 3 Wiring Diagram	34
Gambar 3. 4 Wiring DHT	35
Gambar 3. 5 Wiring LCD 20x4	36
Gambar 3. 6 Wiring Catu Daya (Power Supply).....	37
Gambar 3. 7 Wiring Sensor CO ₂	38
Gambar 3. 8 Wiring Sensor Debu	39
Gambar 3. 9 Wiring Tombol Reset	40
Gambar 3. 10 Desain 3D Alat	41
Gambar 3. 11 Desain 3D Komponen Alat.....	41
Gambar 3. 12 Desain 3D Tutup Box	41
Gambar 3. 13 Flowchart	42
Gambar 3. 14 Algoritma Kerja Sistem	46
Gambar 4. 1 Diagram Prosedur Pembuatan Alat	55
Gambar 4. 2 Perancangan Skematik dan Layout PCB	57
Gambar 4. 3 Proses Penyolderan PCB	59
Gambar 4. 4 Pembuatan LCD.....	60
Gambar 4. 5 Integrasi Sistem	61
Gambar 4. 6 Rancangan Komponen.....	63
Gambar 4. 7 Dudukan PCB	63
Gambar 4. 8 Panel LCD 20x4 12C.....	63

Gambar 4. 9 Ventilasi Udara	64
Gambar 4. 10 Lubang Konektor Catu Daya	64
Gambar 4. 11 Tutup Box	64
Gambar 4. 12 Dudukan Sensor.....	65
Gambar 4. 13 Program Inisialisasi Pin dan Konfigurasi awal ESP32.....	67
Gambar 4. 14 Program Konfigurasi Sinkronisasi Waktu (NTP).....	67
Gambar 4. 15 Program Konfigurasi Google Spreadsheet	68
Gambar 4. 16 Program Konfigurasi Interval Pengiriman Data	68
Gambar 4. 17 Program Konfigurasi Status Pengiriman Data.....	68
Gambar 4. 18 Program Inisialisasi Objek Perangkat Keras	69
Gambar 4. 19 Program Fungsi Callback Mode Konfigurasi (configModeCallback).....	71
Gambar 4. 20 Program Konfigurasi koneksi WiFi (setupWiFi)	72
Gambar 4. 21 Program Pembacaan Sensor	73
Gambar 4. 22 Program Tampilan LCD	74
Gambar 4. 23 Program Pengiriman Data ke Google Spreadsheet.....	75
Gambar 4. 24 Program Utama (loop)	76
Gambar 5. 1 Grafik Konsentrasi CO ₂ pada Keempat Lokasi	103
Gambar 5. 2 Grafik Statistik Konsentrasi CO ₂ per Lokasi	104
Gambar 5. 3 Grafik Suhu pada Keempat Lokasi.....	107
Gambar 5. 4 Grafik Statistik Suhu per Lokasi.....	108
Gambar 5. 5 Grafik Kelembapan pada Keempat Lokasi.....	109
Gambar 5. 6 Grafik Statistik Kelembapan per Lokasi.....	110
Gambar 5. 7 Grafik Konsentrasi PM2.5 pada Keempat Lokasi	112
Gambar 5. 8 Grafik Statistik Konsentrasi PM2.5 per Lokasi.....	113

DAFTAR TABEL

Tabel 2- 1 Deskripsi Pin Sensor CO ₂	12
Tabel 2- 2 Spesifikasi Sensor CO ₂ MH-Z16	12
Tabel 2- 3 Deskripsi Pin Sensor PM2.5 ZH03B	13
Tabel 2- 4 Spesifikasi Sensor PM2.5 ZH03B.....	14
Tabel 2- 5 Spesifikasi DHT22	15
Tabel 2- 6 Fungsi Pin DHT22	16
Tabel 2- 7 Mode Operasi ESP32	17
Tabel 2- 8 Spesifikasi ESP32 WROOM 32D.....	17
Tabel 2- 9 Deskripsi Pin LCD I2C 20x4	20
Tabel 2- 10 Standar Kesehatan Konsentrasi PM2.5	28
Tabel 3- 1 Deskripsi Wiring Diagram	34
Tabel 3- 2 Konfigurasi Rangkaian DHT22 dan ESP32.....	35
Tabel 3- 3 Konfigurasi Rangkaian LCD I2C dan ESP32	36
Tabel 3- 4 Konfigurasi Rangkaian Power Supply dan ESP32	37
Tabel 3- 5 Konfigurasi Rangkaian Sensor CO ₂ MH-Z16 dan ESP32	38
Tabel 3- 6 Konfigurasi Rangkaian Sensor Debu ZH03B dan ESP32	39
Tabel 3- 7 Konfigurasi Rangkaian Tombol Reset dan ESP32	40
Tabel 3- 8 Kondisi Ruangan pada 4 tempat Pengujian	48
Tabel 3- 9 Pengujian Tiap Komponen.....	49
Tabel 3- 10 Kategori Kualitas Udara.....	50
Tabel 3- 11 Rencana Pengambilan Data.....	52
Tabel 4- 1 Bahan yang digunakan	56
Tabel 4- 2 Alat yang Digunakan.....	57
Tabel 5- 1 Dimensi Area Pengujian	100
Tabel 5- 2 Statistik Deskriptif Konsentrasi CO ₂ (ppm).....	102
Tabel 5- 3 Kondisi Lingkungan dan Okupansi Orang.....	104
Tabel 5- 4 Distribusi Kategori Konsentrasi CO ₂	104
Tabel 5- 5 Statistik Deskriptif Suhu (°C)	106

Tabel 5- 6 Statistik Deskriptif Kelembapan Relatif (%RH).....	108
Tabel 5- 7 Distribusi Kategori Kelembapan Relatif.....	110
Tabel 5- 8 Statistik Deskriptif PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	111
Tabel 5- 9 Distribusi Kategori PM2.5	113
Tabel 5- 10 Standar Kesehatan Konsentrasi PM2.5	113
Tabel 5- 11 Rekapitulasi Kategori Kualitas Udara Rata-rata di Empat Lokasi.....	115
Tabel 5- 12 Estimasi Ideal dan Keberhasilan Pengiriman Data	116
Tabel 5- 13 Rekapitulasi Kegagalan Pembacaan dan Pengiriman Data.....	117

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Program Rancang Bangun Alat di Arduino IDE	123
Lampiran 2. Proses Pembuatan Alat.....	132
Lampiran 3. Wiring Diagram	133
Lampiran 4. Datasheet DHT22.....	134
Lampiran 5. Datasheet Sensor ZH03B	135
Lampiran 6. Datasheet Sensor MH-Z16.....	137
Lampiran 7. Datasheet LCD I2C 20x4.....	138
Lampiran 8. Datasheet ESP32 Wroom.....	139