UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Manajemen Daya Baterai Lithium-ion dan Konsumsi Energi melalui Variasi Duty Cycle pada Sistem Pemantau Gas Metana Berbasis PLTS
Ferdy Alrahman Cahyatama, Dr. Fitri Puspasari, S.Si., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN i

HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI ii

HALAMAN MOTTO iii

KATA PENGANTAR iv

DAFTAR ISI vi

DAFTAR GAMBAR ix

DAFTAR TABEL x

DAFTAR SINGKATAN xi

INTISARI xii

ABSTRACT xiii

BAB 1 PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang . . . 1
1.2 Rumusan Masalah . . . 3
1.3 Tujuan Penelitian . . . 3
1.4 Manfaat Penelitian . . . 4
1.5 Batasan Masalah . . . 4
1.6 Sistematika Penulisan . . . 5

BAB 2 Landasan Teori 6

2.1 Tinjauan Pustaka . . . 6
2.2 Dasar Teori . . . 11
2.2.1 Duty Cycle . . . 11
2.2.2 Kelistrikan Arus Searah (DC) dan Pengukuran Daya . . . 12
2.2.3 State of Charge (SoC) . . . 14
2.2.4 Depth of Discharge (DoD) . . . 14
2.2.5 Baterai Lithium-Ion . . . 16
2.2.6 Battery Management System (BMS) . . . 17

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Manajemen Daya Baterai Lithium-ion dan Konsumsi Energi melalui Variasi Duty Cycle pada Sistem Pemantau Gas Metana Berbasis PLTS
Ferdy Alrahman Cahyatama, Dr. Fitri Puspasari, S.Si., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.2.7 Absolute Percentage Error (APE) dan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) . . . 18
2.2.8 Sensor Gas MQ-4 . . . 19
2.2.9 Sensor INA219 . . . 20
2.2.10 Modul Voltage Divider . . . 21
2.2.11 TIP2N222 . . . 22
2.2.12 Mikrokontroler ESP32 . . . 22
2.3 Hipotesis . . . 23

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN 24
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian . . . 24
3.2 Diagram Alir Metode Penelitian . . . 24
3.3 Tahapan Penelitian . . . 25
3.4 Alat dan Bahan . . . 27
3.4.1 Alat . . . 28
3.4.2 Bahan . . . 28
3.5 Perancangan Sistem . . . 29
3.5.1 Diagram Blok Sistem . . . 29
3.5.2 Perancangan Perangkat Keras . . . 29
3.5.3 Perancangan Duty Cycle . . . 34
3.5.4 Perancangan Perangkat Lunak (Software) . . . 37
3.6 Skenario dan Prosedur Pengujian . . . 39
3.6.1 Pengujian Validasi Alat Monitoring . . . 39
3.6.2 Pengujian Karakteristik Konsumsi Arus Komponen Statis . . . 40
3.6.3 Pengujian Sistem Baterai Berdasarkan Siklus Energi 24 Jam . . . 40
3.7 Teknik Analisis Data . . . 41
3.7.1 Pengujian Validasi Perbandingan Sistem Monitoring Gas . . . 42
3.7.2 Analisis Konsumsi Daya Dengan 2 Mode Aktif Penuh dan Sebagian 42
3.7.3 Estimasi Kapasitas Baterai *(State of Charge dan Depth of Discharge)* . . . 42
3.7.4 Pengujian Karakteristik Kurva Gas terhadap Skenario Duty cycle 42
3.7.5 Evaluasi Kelayakan *Trade-off* . . . 43

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN 44
4.1 Pengujian Validasi Alat Ukur Sistem Monitoring Gas MQ-4 dengan Fnirsi GD-02 . . . 44
4.1.1 Validasi Sensor Gas MQ-4 (MAPE 15%) . . . 46
4.2 Pengujian Karakteristik Konsumsi Arus Komponen Statis . . . 46

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Manajemen Daya Baterai Lithium-ion dan Konsumsi Energi melalui Variasi Duty Cycle pada Sistem Pemantau Gas Metana Berbasis PLTS
Ferdy Alrahman Cahyatama, Dr. Fitri Puspasari, S.Si., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.2.1 Analisis Beban Konsumsi Daya Utama Sistem (Mode Aktif Penuh dengan Mode Off Sebagian) . . . 46
4.3 Pengujian Sistem Baterai Berdasarkan Siklus Energi 24 Jam . . . 47
4.3.1 Analisis Fase Pengosongan Baterai Malam Hari (18:00 - 06:00 WIB) . . . 48
4.3.2 Analisis Estimasi Kapasitas Baterai (SoC dan DoD) Lintas Skenario . . . 51
4.3.3 Validasi Kondisi *Depth of Discharge* . . . 55
4.3.4 Analisis Fase Pengisian Baterai Siang Hari (07:00 - 17:00 WIB) 55
4.4 Pengujian Karakteristik Kurva PPM Gas Terhadap Skenario *Duty Cycle* 57
4.4.1 Analisis Karakteristik Kurva Skenario *Duty Cycle 25%* . . . 57
4.4.2 Analisis Karakteristik Kurva Skenario *Duty Cycle 50%* . . . 58
4.4.3 Analisis Karakteristik Kurva Skenario *Duty Cycle 75%* . . . 59
4.4.4 Analisis Karakteristik Kurva Skenario *Duty Cycle 100%* . . . 60
4.5 Analisis Kompromi (Trade-Off) dan Penentuan Duty Cycle Optimal . . 60
4.5.1 Validasi Kondisi Trade-off . . . 62

BAB 5 PENUTUP **63**
5.1 Kesimpulan . . . 63
5.2 Saran . . . 64

DAFTAR PUSTAKA **65**

LAMPIRAN A **L - 1**
A Lembar Perbaikan Proyek Akhir . . . L - 1

LAMPIRAN B **L - 5**
B Data Sheet Sensor MQ-4 . . . L - 5
C Data Sheet Sensor INA219 . . . L - 12
D Data Sheet Baterai Lithium-Ion 3,7V 3500mAh . . . L - 17
E Data Sheet BMS . . . L - 18
F Data Pengujian Duty Cycle 25% . . . L - 22
G Data Pengujian Duty Cycle 50% . . . L - 23
H Data Pengujian Duty Cycle 75% . . . L - 24
I Data Pengujian Duty Cycle 75% . . . L - 25
J Program Keseluruhan . . . L - 26
K Dokumentasi Magang . . . L - 33
L Dokumentasi Magang . . . L - 34

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Manajemen Daya Baterai Lithium-ion dan Konsumsi Energi melalui Variasi Duty Cycle pada Sistem Pemantau Gas Metana Berbasis PLTS
Ferdy Alrahman Cahyatama, Dr. Fitri Puspasari, S.Si., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

2.1 Gelombang Duty Cycle (adaptasi [1]) 11
2.2 BMS (Dokumentasi pribadi) 17
2.3 Struktur Heater Sensor MQ4 (adaptasi [2]) 20
2.4 Sensor INA219 (Dokumentasi pribadi) 21
2.5 Voltage Divider (Dokumentasi pribadi) 22
3.1 Diagram Alir Metode Penelitian 25
3.2 Diagram Blok Sistem Monitoring Gas Metana Berbasis ESP32 dan PLTS 29
3.3 Box Data Logger (Dokumentasi pribadi) 30
3.4 Box Sensor (Dokumentasi pribadi) 31
3.5 Tiang Panel Surya (Dokumentasi pribadi) 31
3.6 Skematik Sistem Monitoring Gas (Dokumentasi pribadi) 32
3.7 Skematik Sistem Pengukuran Daya (Dokumentasi pribadi) 33
3.8 Skematik DutyCycle (Dokumentasi pribadi) 34
3.9 Diagram Alir Perangkat Lunak Sistem Monitoring Gas Metana Berbasis ESP32 38
3.10 Pengujian Sensor Gas MQ-4 dan GD-02 (Dokumentasi pribadi) 39
4.1 Perbandingan Rata-rata Arus Beban Tiap Skenario 44
4.2 Eror Pembacaan Sensor 45
4.3 Perbandingan Konsumsi Daya Mode Operasi 47
4.4 Perbandingan Rata-rata Arus Beban Tiap Skenario 50
4.5 Pengujian Sisa Kapasitas Baterai Skenario 25% 51
4.6 Pengujian Sisa Kapasitas Baterai Skenario 50% 52
4.7 Pengujian Sisa Kapasitas Baterai Skenario 75% 53
4.8 Pengujian Sisa Kapasitas Baterai Skenario 100% 53
4.9 Produksi Harian Panel Surya 56
4.10 Perbandingan Gas dan Waktu *Duty Cycle 25%* 58
4.11 Perbandingan Gas dan Waktu *Duty Cycle 50%* 59
4.12 Perbandingan Gas dan Waktu *Duty Cycle 75%* 59
4.13 Perbandingan Gas dan Waktu *Duty Cycle 100%* 60

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Manajemen Daya Baterai Lithium-ion dan Konsumsi Energi melalui Variasi Duty Cycle pada Sistem Pemantau Gas Metana Berbasis PLTS
Ferdy Alrahman Cahyatama, Dr. Fitri Puspasari, S.Si., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

2.1 Penelitian Terkait Sistem Monitoring Gas Metana 9
2.2 Karakteristik Tegangan Berdasarkan Zona SoC Baterai [3] 16
2.3 Kriteria Klasifikasi Kemampuan Akurasi Instrumen Berdasarkan Skala Lewis [4] 19

3.1 Daftar Alat yang Digunakan 28
3.2 Daftar Bahan yang Digunakan 28
3.3 Skenario Pembagian Waktu Variasi *Duty Cycle* (Basis Siklus 10 Menit) .. 35

4.1 Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus Berdasarkan Kondisi Operasional Sistem 46
4.2 Kondisi Baterai Berdasarkan Tegangan Maksimum dan Cut-Off 48
4.3 Data Rata-rata Pengujian Tegangan Baterai (V_{bat}) dan Arus Beban (I_{load}) Berdasarkan Duty Cycle 48
4.4 Matriks Kompromi (*Trade-Off*) Berdasarkan Konsumsi Energi Riil 61

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Manajemen Daya Baterai Lithium-ion dan Konsumsi Energi melalui Variasi Duty Cycle pada Sistem Pemantau Gas Metana Berbasis PLTS
Ferdy Alrahman Cahyatama, Dr. Fitri Puspasari, S.Si., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR SINGKATAN

Notasi	Arti
ADC	*Analog to Digital Converter*
APE	*Absolute Percentage Error*
BJT	*Bipolar Junction Transistor*
BMS	*Battery Management System*
DC	*Direct Current*
DoD	*Depth of Discharge*
IC	*Integrated Circuit*
IEA	*International Energy Agency*
IoT	*Internet of Things*
LCD	*Liquid Crystal Display*
Li-ion	*Lithium-ion*
MAPE	*Mean Absolute Percentage Error*
MQTT	*Message Queuing Telemetry Transport*
NMC	*Nickel Manganese Cobalt*
OCV	*Open-Circuit Voltage*
PLTS	Pembangkit Listrik Tenaga Surya
PPM	*Parts Per Million*
RH	*Relative Humidity*
SoC	*State of Charge*
SOE	*State Of Energy*
SOH	*State Of Health*
SOP	*State Of Power*
WIB	*Waktu Indonesia Barat*
Wp	*Watt-peak*