

## DAFTAR ISI

|                                                         |        |
|---------------------------------------------------------|--------|
| HALAMAN PENGESAHAN .....                                | ii     |
| ABSTRAK .....                                           | iv     |
| <i>ABSTRACT</i> .....                                   | v      |
| KATA PENGANTAR .....                                    | vi     |
| DAFTAR ISI .....                                        | viii   |
| DAFTAR GAMBAR .....                                     | xi     |
| DAFTAR TABEL .....                                      | xiv    |
| <br>BAB I    PENDAHULUAN .....                          | <br>1  |
| 1.1    Latar Belakang Masalah .....                     | 1      |
| 1.2    Penelitian Terdahulu .....                       | 3      |
| 1.3    Rumusan Masalah .....                            | 6      |
| 1.4    Tujuan .....                                     | 6      |
| 1.5    Manfaat .....                                    | 7      |
| 1.6    Batasan Masalah .....                            | 7      |
| 1.7    Kerangka Berpikir .....                          | 9      |
| 1.8    Sistematika Penulisan .....                      | 10     |
| <br>BAB II    TEORI DASAR .....                         | <br>12 |
| 2.1 <i>Electric Vehicle</i> .....                       | 12     |
| 2.2    Konsep Motor Listrik BLDC .....                  | 14     |
| 2.3    Karakteristik Elektrik dan Mekanik BLDC .....    | 16     |
| 2.3.1    Hubungan Torsi, Kecepatan dan Daya Motor ..... | 17     |
| 2.3.2    Arus dan Tegangan .....                        | 18     |
| 2.3.3    Efisiensi .....                                | 18     |
| 2.3.4    Respons Dinamis .....                          | 18     |
| 2.4 <i>Micro Electric Vehicle</i> (MEVi) .....          | 19     |
| 2.5    Hukum Ohm .....                                  | 21     |
| 2.6    Hukum Kirchhoff's .....                          | 23     |
| 2.7    Rugi Rugi Daya .....                             | 24     |
| 2.7.1    Rugi Rugi Elektrik .....                       | 24     |
| 2.7.2    Rugi Rugi Mekanik .....                        | 25     |
| 2.8    Dinamika kendaraan .....                         | 26     |

|         |                                                                       |    |
|---------|-----------------------------------------------------------------------|----|
| 2.8.1   | Gaya Gravitasi .....                                                  | 27 |
| 2.8.2   | Gaya Dorong .....                                                     | 27 |
| 2.9     | Sistem Kendali .....                                                  | 28 |
| 2.9.1   | Sistem Kendali <i>loop</i> Terbuka .....                              | 28 |
| 2.9.2   | Sistem Kendali <i>loop</i> Tertutup .....                             | 29 |
| 2.9.3   | Kontroller PID .....                                                  | 30 |
| 2.9.4   | Tuning Parameter PID dengan Metode Ziegler-Nichols .....              | 31 |
| 2.10    | Respons <i>Transien</i> dan <i>Steady State</i> .....                 | 32 |
| 2.11    | Motor <i>Brushless Direct Current</i> (BLDC) .....                    | 35 |
| 2.12    | Driver BLDC .....                                                     | 39 |
| 2.13    | Baterai .....                                                         | 40 |
| 2.13.1  | Hubungan Densitas Energi dengan Jarak Tempuh ...                      | 41 |
| 2.13.2  | Konsumsi Energi Spesifik (Wh/km) .....                                | 42 |
| 2.13.3  | <i>State of Charge</i> (SOC) dan Kapasitas yang Dapat Digunakan ..... | 43 |
| 2.13.4  | <i>Power-to-Energy Ratio</i> .....                                    | 44 |
| 2.14    | <i>Analysis of Variance</i> .....                                     | 45 |
| 2.14.1  | Fungsi Uji ANOVA .....                                                | 45 |
| 2.14.2  | Perhitungan matematis .....                                           | 46 |
| 2.15    | Instrumentasi Pengukuran .....                                        | 47 |
| 2.15.1  | HIOKI LR8513 <i>Wireless Clamp Logger</i> .....                       | 47 |
| 2.15.2  | HIOKI CM7290 <i>Display Unit</i> .....                                | 48 |
| 2.15.3  | <i>Logger Utility</i> .....                                           | 48 |
| 2.16    | <i>Software Wireless Logger</i> .....                                 | 49 |
| 2.17    | <i>Software Smart BMS</i> .....                                       | 49 |
| 2.18    | Teensy 4.1 .....                                                      | 50 |
| 2.19    | Rotary Encoder .....                                                  | 51 |
| BAB III | METODE PENELITIAN .....                                               | 52 |
| 3.1     | Studi Literatur .....                                                 | 53 |
| 3.2     | Perumusan Masalah .....                                               | 53 |
| 3.3     | Analisis Kebutuhan Bahan dan Eksperimen .....                         | 53 |
| 3.3.1   | Kebutuhan <i>Hardware</i> dan <i>Software</i> .....                   | 53 |
| 3.3.2   | Kebutuhan fungsional sistem pada MEVi .....                           | 54 |

|        |                                                                                        |     |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.3.3  | Kebutuhan non-fungsional sistem pada MEVi.....                                         | 55  |
| 3.4    | Pengambilan Data .....                                                                 | 56  |
| 3.5    | Pengolahan Data .....                                                                  | 56  |
| 3.6    | Analisis Data .....                                                                    | 57  |
| 3.7    | Interpretasi Hasil .....                                                               | 57  |
| BAB IV | PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI .....                                                     | 58  |
| 4.1    | Perancangan .....                                                                      | 58  |
| 4.1.1  | Perancangan <i>Hardware</i> .....                                                      | 59  |
| 4.1.2  | Perancangan Sistem Kendali .....                                                       | 60  |
| 4.1.3  | Perancangan <i>Software</i> .....                                                      | 65  |
| 4.2    | Implementasi .....                                                                     | 67  |
| 4.2.1  | Implementasi <i>Hardware</i> .....                                                     | 67  |
| 4.2.2  | Implementasi <i>Software</i> .....                                                     | 69  |
| BAB V  | PENGUJIAN DAN ANALISIS .....                                                           | 71  |
| 5.1    | Pengujian Kontrol PID pada Kondisi Pengujian .....                                     | 71  |
| 5.2    | Pengujian Kinerja Motor BLDC .....                                                     | 72  |
| 5.2.1  | Pengujian Kondisi Statis .....                                                         | 75  |
| 5.2.2  | Pengujian Kondisi Lintasan Datar .....                                                 | 77  |
| 5.2.3  | Pengujian Kondisi Lintasan Menanjak .....                                              | 83  |
| 5.2.4  | Pengujian Kondisi Lintasan Menurun .....                                               | 89  |
| 5.2.5  | Pengujian <i>Three-Way</i> ANOVA .....                                                 | 95  |
| 5.3    | Analisis .....                                                                         | 99  |
| 5.3.1  | Analisis Respons Kontrol PID Pada Kondisi Pengujian .....                              | 99  |
| 5.3.2  | Analisis Kinerja Motor BLDC Pada Kondisi Lintasan Dinamis .....                        | 101 |
| 5.3.3  | Analisis Pengaruh Kondisi Dinamis Lintasan Pada MEVi Terhadap Kinerja Motor BLDC ..... | 103 |
| 5.3.4  | Titik Operasi Optimal Kinerja Motor BLDC .....                                         | 104 |
| BAB VI | PENUTUP .....                                                                          | 108 |
| 6.1    | Kesimpulan .....                                                                       | 108 |
| 6.2    | Saran .....                                                                            | 109 |
|        | DAFTAR PUSTAKA .....                                                                   | 110 |