

## DAFTAR ISI

|   |       |
|---|-------|
| HALAMAN PENGESAHAN.....   | iii   |
| PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....  | iv    |
| KATA PENGANTAR .....  | v     |
| DAFTAR ISI .....  | vii   |
| DAFTAR TABEL.....   | x     |
| DAFTAR GAMBAR .....   | xii   |
| DAFTAR LAMPIRAN.....  | xvii  |
| DAFTAR SIMBOL.....  | xviii |
| ABSTRAK .....   | xxii  |
| ABSTRACT .....  | xxiii |
| RINGKASAN .....   | xxiv  |
| SUMMARY .....   | xxix  |
| BAB I. PENDAHULUAN .....  | 1     |
| 1.1. Latar Belakang.....  | 1     |
| 1.2. Rumusan Permasalahan .....   | 8     |
| 1.3. Tujuan Permasalahan.....   | 9     |
| 1.4. Batasan Permasalahan .....   | 10    |
| 1.5. Manfaat Penelitian .....   | 12    |
| 1.6. Kebaruan Penelitian (Novelty) .....  | 12    |
| BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....   | 18    |
| 2.1. Kakao.....   | 18    |
| 2.2. Penanganan Pascapanen Biji Kakao.....  | 19    |
| 2.2.1. Pemeraman buah kakao.....  | 20    |
| 2.2.2. Fermentasi biji kakao .....  | 22    |
| 2.2.3. Perubahan Aerasi dan Suhu Udara selama Fermentasi<br>Biji Kakao.....                           | 30    |
| 2.3. Fermentor Sistem Autothermal dan Isothermal .....  | 33    |
| 2.4. <i>Oxygen Uptake Rate</i> (OUR) dan <i>Carbon Dioxide Evolution<br/>        Rate</i> (CER) ..... | 34    |
| 2.5. Karakteristik dan Standar Mutu Biji Kakao .....  | 35    |

|  |            |
|--|------------|
| 2.5.1. Karakteristik fisik biji kakao .....  | 35         |
| 2.5.2. Karakteristik kimia biji kakao .....  | 38         |
| 2.5.3. Standar Mutu Biji Kakao Sesuai SNI 01-2323-2008.....  | 42         |
| 2.6. <i>Response Surface Methodology (RSM)</i> .....   | 46         |
| 2.7. Landasan Teori.....   | 47         |
| 2.7.1. Fermentasi biji kakao menggunakan fermentor autothermal dan isothermal.....   | 48         |
| 2.7.2. Fermentasi biji kakao secara autothermal.....   | 48         |
| 2.7.3. Fermentasi biji kakao secara isothermal.....  | 49         |
| 2.7.4. Pengaruh pemeraman buah kakao .....   | 49         |
| 2.7.5. Pengaruh suhu udara fermentasi.....   | 50         |
| 2.7.6. Pengaruh udara aerasi fermentasi.....   | 53         |
| 2.8. Hipotesis .....   | 56         |
| <b>BAB III. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>  | <b>58</b>  |
| 3.1. Peralatan dan Bahan Penelitian.....   | 58         |
| 3.1.1. Peralatan penelitian.....   | 58         |
| 3.1.2. Bahan penelitian .....  | 65         |
| 3.2. Tempat dan Waktu Penelitian.....  | 67         |
| 3.3. Tahapan Pelaksanaan Penelitian .....  | 67         |
| 3.3.1. Pembuatan fermentor sistem autothermal dan isothermal .....   | 67         |
| 3.3.2. Penelitian pendahuluan .....  | 72         |
| 3.3.3. Penelitian utama .....  | 73         |
| 3.4. Prosedur Penelitian Utama .....   | 77         |
| 3.4.1. Tahap persiapan bahan baku .....  | 77         |
| 3.4.2. Tahap proses fermentasi biji kakao .....  | 78         |
| 3.4.3. Tahap pengujian kualitas biji kakao kering .....  | 79         |
| 3.5. Pengukuran dan Analisis Data Penelitian.....  | 82         |
| 3.5.1. Pengamatan, pengukuran dan analisis data pemeraman buah kakao.....  | 82         |
| 3.5.2. Pengukuran dan analisis data selama proses fermentasi.....  | 82         |
| 3.5.3. Pengukuran dan analisis data kualitas biji kakao kering.....  | 89         |
| 3.5.4. Rancangan Percobaan untuk analisis dan optimasi kondisi fermentasi biji kakao menggunakan <i>response surface methodology (RSM)</i> . ..... | 95         |
| <b>BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>  | <b>100</b> |

|   |            |
|---|------------|
| 4.1. Variasi Pemeraman Buah Kakao .....   | 100        |
| 4.2. Fermentasi Biji Kakao secara Autothermal dan Isothermal .....  | 103        |
| 4.2.1. Fermentasi Biji Kakao secara Autothermal .....   | 103        |
| 4.2.2. Fermentasi Biji Kakao secara Isothermal .....  | 118        |
| 4.3. Analisis Kualitas Biji kakao Kering Fermentasi .....   | 133        |
| 4.3.1. Analisis Kualitas Biji Kakao Kering Fermentasi Secara<br>Autothermal .....   | 133        |
| 4.3.2. Analisis kualitas biji kakao kering fermentasi secara<br>isothermal .....  | 152        |
| 4.4. Optimasi Kualitas Biji Kakao Kering Fermentasi .....   | 170        |
| 4.4.1. Optimasi Kualitas Biji Kakao Kering Fermentasi<br>Secara Autothermal .....   | 170        |
| 4.4.2. Optimasi Kualitas Biji Kakao Fermentasi<br>Secara Isothermal .....   | 173        |
| 4.5. Perbandingan Fermentasi Biji Kakao menggunakan Fermentor<br>Autothermal dan Isothermal .....   | 175        |
| 4.5.1. Perbandingan Proses Fermentasi Secara Autothermal dan<br>Isothermal .....  | 175        |
| 4.5.2. Perbandingan kualitas biji kakao fermentasi secara<br>autothermal dan isothermal terhadap standar mutu biji<br>kakao Indonesia (SNI 2323-2008) ..... | 177        |
| <b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>  | <b>181</b> |
| 5.1. Kesimpulan .....   | 181        |
| 5.2. Saran .....  | 183        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>   | <b>184</b> |

## DAFTAR TABEL

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| Tabel 1.1. | Penelitian pengaruh waktu pemeraman buah kakao, suhu fermentasi, laju aerasi, dan mode fermentasi.....                                      | 4   |
| Tabel 1.2. | Landasan ontologi, epistemologi, aksiologi dalam fermentasi biji kakao menggunakan fermentor secara autothermal dan isothermal.....         | 17  |
| Tabel 2.1. | Persyaratan Mutu Biji Kakao.....  | 42  |
| Tabel 2.2. | Persyaratan Mutu (Syarat Khusus) .....  | 43  |
| Tabel 2.3. | Komposisi Biji kakao.....   | 45  |
| Tabel 2.4. | Komposisi Kimia Biji Kakao yang Difermentasi .....  | 45  |
| Tabel 3.1. | Komponen fermentor Packed bed secara autothermal dan isothermal.....  | 76  |
| Tabel 3.2. | Batasan dan level variabel berubah/ variabel bebas untuk fermentasi biji kakao menggunakan fermentor secara autothermal .....               | 86  |
| Tabel 3.3. | Batasan dan level variabel berubah/ variabel bebas untuk fermentasi biji kakao menggunakan fermentor secara isothermal.....                 | 86  |
| Tabel 3.4. | Rancangan percobaan dengan sistem pengkodean untuk fermentasi autotherma.....   | 98  |
| Tabel 3.5. | Rancangan percobaan dengan sistem pengkodean untuk fermentasi biji kakao secara isothermal .....  | 99  |
| Tabel 4.1. | Kadar Air biji kakao setelah pemeraman (%).....   | 101 |
| Tabel 4.2. | Kadar Abu biji kakao setelah pemeraman (%) .....  | 103 |
| Tabel 4.3. | Suhu udara fermentasi dan jumlah kebutuhan udara selama fermentasi secara autothermal.....  | 107 |
| Tabel 4.4. | Koefisien regresi dan nilai $R^2$ model untuk $Y_{a1}$ , $Y_{a2}$ , $Y_{a3}$ , dan $Y_{a4}$ pada proses fermentasi secara autothermal ..... | 108 |
| Tabel 4.5. | Rata-rata suhu udara dan laju respirasi selama fermentasi biji kakao secara isothermal .....  | 121 |
| Tabel 4.6. | Koefisien regresi dan nilai $R^2$ model untuk setiap variabel respon selama proses fermentasi isothermal.....                               | 122 |
| Tabel 4.7. | Rata-rata kualitas biji kakao kering fermentasi secara autothermal .....  | 134 |
| Tabel 4.8. | Koefisien regresi dan nilai $R^2$ model untuk kualitas biji kakao kering fermentasi secara autothermal.....                                 | 135 |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| Tabel 4.9.  | Nilai rata-rata perubahan warna biji kakao kering fermentasi autothermal .....                                 | 151 |
| Tabel 4.10. | Rata-rata kualitas biji kakao kering hasil fermentasi secara isothermal.....                                   | 153 |
| Tabel 4.11. | Koefisien regresi dan nilai $R^2$ model untuk setiap variabel respon.....                                      | 155 |
| Tabel 4.12. | Nilai rata-rata perubahan warna biji kakao kering fermentasi isothermal.....                                   | 169 |
| Tabel 4.13. | Koordinat titik-titik optimum persentase biji kakao terfermentasi secara autothermal .....                     | 172 |
| Tabel 4.14. | Koordinat titik-titik optimum indeks fermentasi biji kakao autothermal.....                                    | 172 |
| Tabel 4.15. | Koordinat titik-titik optimum persentase biji terfermentasi dan indeks fermentasi biji kakao autothermal ..... | 173 |
| Tabel 4.16. | Koordinat titik-titik optimum persentase biji kakao terfermentasi secara isothermal .....                      | 174 |
| Tabel 4.17. | Koordinat titik-titik optimum indeks fermentasi biji kakao autothermal .....                                   | 174 |
| Tabel 4.18. | Koordinat titik optimum persentase biji terfermentasi dan indeks fermentasi biji kakao isothermal.....         | 175 |
| Tabel 4.19. | Spesifikasi Standar Kualitas biji kakao menurut SNI-1-23:2008/1 2010 dan hasil penelitian .....                | 178 |
| Tabel 4.20. | Spesifikasi parameter kualitas biji kakao hasil penelitian lainnya..   | 179 |

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar 1.1. Diagram Fishbone Pemikiran Penelitian Disertasi.....  | 14 |
| Gambar 1.2. Tahapan untuk mempelajari dan mengevaluasi kebaruan penelitian (Novelty) Disertasi .....  | 15 |
| Gambar 1.3. Keterkaitan antara hasil-hasil penelitian terdahulu dengan penelitian disertasi yang dilakukan dan rencana penelitian selanjutnya .....   | 16 |
| Gambar 2.1. Warna biji kakao berdasarkan jenisnya (Kadow, 2015) .....   | 26 |
| Gambar 2.2. Tekstur biji kakao kering (Kadow, 2015) .....   | 26 |
| Gambar 2.3. Tampilan tekstur biji kakao (Permentan No. 51 Tahun 2013).....  | 26 |
| Gambar 2.4. Alat Fermentasi Kakao yang dikembangkan di Indonesia (Puslitbang- Perkebunan, 2010; SCPP-Swisscontact, 2013).).....   | 29 |
| Gambar 2.5. Fermentasi kakao dalam tumpukan, keranjang dan karung plastik (SCPP-Swisscontact, 2013; Afoakwa, 2016)) .....   | 29 |
| Gambar 2.6. Perubahan suhu selama fermentasi dari empat perlakuan tanpa perbedaan yang signifikan ( $\alpha = 0,05$ ). F.T. ( <i>fermentation temperature</i> ) pada empat perlakuan. (Hernández- Hernández, <i>et al.</i> 2015)..... | 32 |
| Gambar 2.7. Perubahan suhu selama proses fermentasi menggunakan kotak kayu, media tumpukan, dan krat plastik (Rasadi, 2015).....  | 32 |
| Gambar 2.8. Suhu fermentasi kakao tradisional yang tidak seragam dan peningkatan suhu pada dua fermentasi tradisional (fermentasi 1 dan 2) (Kadow <i>et al.</i> , 2015). .....  | 32 |
| Gambar 2.9. Perubahan suhu udara selama fermentasi menggunakan kotak kayu pada waktu pemeraman buah kakao yang berbeda, PS0 = 0 hari, PS2 = 2 hari, PS4 = 4 hari, dan PS6 = 6 hari pemeraman (Bariah, <i>et al.</i> , 2017). .....    | 32 |
| Gambar 2.10. Skema suksesi mikroba dan puncak suhu udara selama fermentasi biji kakao (Schwan & Wheals, 2014) .....   | 51 |
| Gambar 2.11. Perubahan suhu selama fermentasi biji kakao (Kadow <i>et al.</i> , 2015) .....   | 52 |
| Gambar 2.12. Perkembangan mikroba, suhu udara fermentasi dan proses biokimia selama fermentasi kakao standar (Kadow, <i>et al.</i> , 2015). .....   | 52 |

|  |     |
|--|-----|
| Gambar 2.13. Kebutuhan udara selama proses fermentasi biji kakao (Vuyst <i>et al.</i> , 2010) .....  | 54  |
| Gambar 3.1. Tabung reaktor .....   | 59  |
| Gambar 3.2. <i>Microcontroller</i> dan LCD pada fermentor autothermal .....  | 60  |
| Gambar 3.3. <i>Microcontroller</i> dan LCD pada fermentor isothermal .....   | 60  |
| Gambar 3.4. Sensor suhu udara <i>water proof</i> DS1820.....   | 60  |
| Gambar 3.5. Pompa udara.....   | 61  |
| Gambar 3.6. <i>Airflow meter</i> .....   | 61  |
| Gambar 3.7. <i>O<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> analyzer</i> .....   | 62  |
| Gambar 3.8. Skema peralatan fermentor.....   | 63  |
| Gambar 3.9. Sampel buah kakao.....   | 66  |
| Gambar 3.10. Fermentor autothermal .....   | 69  |
| Gambar 3.11. Fermentor isothermal.....   | 70  |
| Gambar 3.12. Sampel biji kakao basah.....  | 78  |
| Gambar 3.13. Sampel biji kakao selama proses fermentasi.....   | 79  |
| Gambar 3.14. Diagram alir proses fermentasi biji kakao secara autothermal .....  | 80  |
| Gambar 3.15. Diagram alir proses fermentasi biji kakao secara isothermal.....  | 81  |
| Gambar 3.16. Sistem aerasi pada fermentasi biji kakao menggunakan fermentor .....  | 83  |
| Gambar 3.17. Gambaran <i>software color analysis</i> yang digunakan untuk memvisualkan nilai warna L, a*, b* dan RGB biji kakao kering hasil pengukuran .....  | 92  |
| Gambar 4.1. Sampel buah kakao.....   | 100 |
| Gambar 4.2. Penampakan biji kakao yang telah diperam .....   | 102 |
| Gambar 4.3. Pola perubahan suhu udara pada tumpukan biji kakao selama proses fermentasi secara autothermal.....  | 104 |
| Gambar 4.4. Biji kakao hasil fermentasi secara autothermal .....   | 105 |
| Gambar 4.5. Plot kontur dan surface hubungan suhu udara puncak (Ya <sub>1</sub> ) terhadap waktu pemeraman (X <sub>1</sub> ), laju aerasi (X <sub>2</sub> ), dan mode aerasi (X <sub>3</sub> ) ..... | 109 |
| Gambar 4.6. Plot kontur dan surface hubungan suhu udara akhir (Ya <sub>2</sub> ) terhadap waktu pemeraman (X <sub>1</sub> ), laju aerasi (X <sub>2</sub> ), dan mode aerasi (X <sub>3</sub> ) .....  | 110 |

|  |     |
|--|-----|
| Gambar 4.7. Pola perubahan <i>OUR</i> selama fermentasi biji kakao secara autothermal .....  | 112 |
| Gambar 4.8. Pola perubahan <i>CER</i> selama fermentasi biji kakao secara autothermal .....  | 113 |
| Gambar 4.9. Plot kontur dan surface hubungan <i>OUR</i> ( $Y_{a3}$ ) terhadap waktu pemeraman ( $X_1$ ), laju aerasi ( $X_2$ ), dan mode aerasi ( $X_3$ ) .....  | 114 |
| Gambar 4.10. Plot kontur dan surface hubungan <i>CER</i> ( $Y_{a4}$ ) terhadap waktu pemeraman ( $X_1$ ), laju aerasi ( $X_2$ ), dan mode aerasi ( $X_3$ ) .....   | 115 |
| Gambar 4.11. Pola perubahan suhu udara selama fermentasi biji kakao secara isothermal .....  | 119 |
| Gambar 4.12. Plot <i>Surface</i> hubungan suhu fermentasi puncak ( $Y_{i1}$ ) terhadap waktu pemeraman ( $X_1$ ), laju aerasi ( $X_2$ ) dan suhu udara fermentor ( $X_3$ ) .....   | 123 |
| Gambar 4.13. Plot <i>Surface</i> hubungan suhu fermentasi akhir ( $Y_{i2}$ ) terhadap waktu pemeraman ( $X_1$ ), laju aerasi ( $X_2$ ) dan suhu udara fermentor ( $X_3$ ) .....  | 124 |
| Gambar 4.14. Pola perubahan <i>oxygen uptake rate (OUR)</i> selama fermentasi biji kakao secara isothermal .....   | 126 |
| Gambar 4.15. Pola perubahan <i>carbon dioxide evolution rate (CER)</i> selama fermentasi biji kakao secara isothermal .....  | 127 |
| Gambar 4.16. Plot <i>Surface</i> hubungan <i>cumulative oxygen uptake</i> ( $Y_{i3}$ ) terhadap waktu pemeraman ( $X_1$ ), laju aerasi ( $X_2$ ) dan suhu udara fermentor ( $X_3$ ) .....                                  | 128 |
| Gambar 4.17. Plot kontur dan plot <i>Surface</i> hubungan <i>cumulative carbon dioxide evolution</i> ( $Y_{i4}$ ) terhadap waktu pemeraman ( $X_1$ ), laju aerasi ( $X_2$ ) dan suhu udara fermentor ( $X_3$ ) .....       | 129 |
| Gambar 4.18. Perubahan biji kakao yang difermentasi secara isothermal.....   | 132 |
| Gambar 4.19. Plot kontur dan plot <i>surface</i> hubungan kadar air biji kakao kering fermentasi secara autothermal ( $Y_{a5}$ ) terhadap waktu pemeraman ( $X_1$ ), laju aerasi ( $X_2$ ) dan mode aerasi ( $X_3$ ) ..... | 137 |
| Gambar 4.20. Plot kontur dan plot <i>surface</i> hubungan susut bobot biji kakao kering fermentasi secara autothermal ( $Y_{a6}$ ) terhadap waktu pemeraman ( $X_1$ ), laju aerasi ( $X_2$ ) dan mode aerasi ( $X_3$ )...  | 138 |

|  |     |
|--|-----|
| Gambar 4.21. Plot kontur dan plot <i>surface</i> hubungan rendemen biji kakao kering fermentasi secara autothermal ( $Y_{a7}$ ) terhadap waktu pemeraman ( $X_1$ ), laju aerasi ( $X_2$ ) dan mode aerasi ( $X_3$ ) .....          | 139 |
| Gambar 4.22. Plot kontur dan plot <i>surface</i> hubungan pH biji kakao kering fermentasi secara autothermal ( $Y_{a8}$ ) terhadap waktu pemeraman ( $X_1$ ), laju aerasi ( $X_2$ ) dan mode aerasi ( $X_3$ ) .....                | 140 |
| Gambar 4.23. Kriteria kualitas biji kakao hasil fermentasi berdasarkan uji belah .....   | 142 |
| Gambar 4.24. Plot kontur dan plot <i>surface</i> hubungan biji kakao kering terfermentasi secara autothermal ( $Y_{a9}$ ) terhadap waktu pemeraman ( $X_1$ ), laju aerasi ( $X_2$ ) dan mode aerasi ( $X_3$ ) .....                | 143 |
| Gambar 4.25. Plot kontur dan plot <i>surface</i> hubungan indeks fermentasi biji kakao kering fermentasi secara autothermal ( $Y_{a10}$ ) terhadap waktu pemeraman ( $X_1$ ), laju aerasi ( $X_2$ ) dan mode aerasi ( $X_3$ )..... | 145 |
| Gambar 4.26. Plot kontur dan plot <i>surface</i> hubungan warna chroma biji kakao kering fermentasi secara autothermal ( $Y_{a11}$ ) terhadap waktu pemeraman ( $X_1$ ), laju aerasi ( $X_2$ ) dan mode aerasi ( $X_3$ ).....      | 147 |
| Gambar 4.27. Plot kontur dan plot <i>surface</i> hubungan rendemen biji kakao kering fermentasi secara autothermal ( $Y_{a12}$ ) terhadap waktu pemeraman ( $X_1$ ), laju aerasi ( $X_2$ ) dan mode aerasi ( $X_3$ ) .....         | 148 |
| Gambar 4.28. Plot kontur dan plot <i>surface</i> hubungan kadar air biji kakao fermentasi secara isothermal ( $Y_{i5}$ ) terhadap waktu pemeraman ( $X_1$ ), laju aerasi ( $X_2$ ) dan suhu fermentor ( $X_3$ ) .....              | 156 |
| Gambar 4.29. Plot kontur dan plot <i>surface</i> hubungan susut bobot biji kakao fermentasi secara isothermal ( $Y_{i6}$ ) terhadap waktu pemeraman ( $X_1$ ), laju aerasi ( $X_2$ ) dan suhu fermentor ( $X_3$ ) .....            | 157 |
| Gambar 4.30. Plot kontur dan plot <i>surface</i> hubungan rendemen biji kakao kering fermentasi secara isothermal ( $Y_{i7}$ ) terhadap waktu pemeraman ( $X_1$ ), laju aerasi ( $X_2$ ) dan suhu fermentor ( $X_3$ ) .....        | 158 |
| Gambar 4.31. Plot kontur dan plot <i>surface</i> hubungan pH biji kakao kering fermentasi secara isothermal ( $Y_{i8}$ ) terhadap waktu pemeraman ( $X_1$ ), laju aerasi ( $X_2$ ) dan suhu fermentor ( $X_3$ ) .....              | 161 |
| Gambar 4.32. Plot kontur dan plot <i>surface</i> hubungan biji kakao kering terfermentasi secara isothermal ( $Y_{i9}$ ) terhadap waktu pemeraman ( $X_1$ ), laju aerasi ( $X_2$ ) dan suhu fermentor ( $X_3$ ) .....              | 162 |

- Gambar 4.33. Plot kontur dan plot *surface* hubungan indeks fermentasi biji kakao kering fermentasi secara isothermal ( $Y_{i_{10}}$ ) terhadap waktu pemeraman ( $X_1$ ), laju aerasi ( $X_2$ ) dan suhu udara fermentor ( $X_3$ ) .....163
- Gambar 4.34. Plot kontur dan plot *surface* hubungan warna chroma biji kakao fermentasi secara isothermal ( $Y_{i_{12}}$ ) terhadap waktu pemeraman ( $X_1$ ), laju aerasi ( $X_2$ ) dan suhu fermentor ( $X_3$ ) ..... 165
- Gambar 4.34. Plot kontur dan plot *surface* hubungan warna hue biji kakao fermentasi secara isothermal ( $Y_{i_{12}}$ ) terhadap waktu pemeraman ( $X_1$ ), laju aerasi ( $X_2$ ) dan suhu fermentor ( $X_3$ ) ..... 167

## DAFTAR LAMPIRAN

|              |  |     |
|--------------|--|-----|
| Lampiran 1.  | Hasil Penelitian pendahuluan .....   | 189 |
| Lampiran 2.  | Hasil analisis statistik variasi pemeraman buah kakao .....  | 202 |
| Lampiran 3.  | Perubahan suhu udara, OUR, dan CER selama fermentasi autothermal .....   | 203 |
| Lampiran 4.  | Perubahan suhu udara, OUR, dan CER selama fermentasi isothermal .....  | 207 |
| Lampiran 5.  | Rata-rata persentase derajat fermentasi biji kakao berdasarkan uji belah ( <i>cut test</i> ) pada fermentasi autothermal ..... | 211 |
| Lampiran 6.  | Rata-rata persentase derajat fermentasi biji kakao berdasarkan uji belah ( <i>cut test</i> ) pada fermentasi isothermal .....  | 212 |
| Lampiran 7.  | Rata-rata persentase jumlah Biji Kakao per 100 gram pada fermentasi autothermal .....  | 213 |
| Lampiran 8.  | Rata-rata persentase jumlah Biji Kakao per 100 gram pada fermentasi isotherma .....  | 214 |
| Lampiran 9.  | Hasil perhitungan dan visualisasi warna keping biji kakao kering tanpa fermentasi .....  | 215 |
| Lampiran 10. | Hasil analisis RSM proses fermentasi biji kakao secara autothermal .....   | 216 |
| Lampiran 11. | Hasil analisis RSM pada proses fermentasi biji kakao secara isothermal .....   | 221 |
| Lampiran 12. | Hasil analisis RSM kualitas biji kakao kering fermentasi secara autothermal .....  | 227 |
| Lampiran 13. | Hasil analisis RSM kualitas biji kakao kering fermentasi secara isothermal .....   | 238 |
| Lampiran 14. | Koordinat titik optimum biji kakao terfermentasi secara autothermal ( $Y_{a9}$ ) .....   | 246 |
| Lampiran 15. | Koordinat titik optimum indeks fermentasi biji kakao autothermal ( $Y_{a10}$ ) .....   | 247 |
| Lampiran 16. | Koordinat titik optimum persentase biji kakao terfermentasi secara isothermal ( $Y_{i9}$ ) .....                               | 248 |
| Lampiran 17. | Koordinat titik optimum indeks fermentasi biji kakao isothermal ( $Y_{i10}$ ) .....  | 249 |
| Lampiran 18. | Rekap data kualitas biji kakao fermentasi autothermal dan isothermal .....   | 250 |

## DAFTAR SIMBOL

|             |   |
|-------------|---|
| A           | Cawan kosong (g)  |
| B           | Cawan dan sampel (g)  |
| C           | Cawan dan abu (g)   |
| $c^*$       | Warna chroma  |
| $CO_2$      | Konsentrasi oksigen ( $g/m^3$ )   |
| $CO_{2vol}$ | konsentrasi oksigen dengan satuan persen volume (%)                         |
| $CO_{2vol}$ | Konsentrasi oksigen dengan satuan persen volume (%);                        |
| $CO_{2a}$   | Konsentrasi rata-rata oksigen lingkungan ( $279 g/m^3$ );                   |
| $CCO_2$     | Konsentrasi oksigen ( $g/m^3$ )   |
| $CCO_{2a}$  | Konsentrasi rata-rata oksigen lingkungan ( $279 m/g^3$ )                    |
| d           | Diameter tabung reaktor (cm)  |
| h           | Rentang wana hue  |
| Kg vs       | Kilogram <i>volatile solid</i>  |
| M           | Bobot kakao/sampel yang digunakan (kg)                                      |
| $MO_2$      | massa molekul oksigen (32 g/mol)  |
| $MCO_2$     | massa molekul karbon dioksida (44 g/mol)                                    |
| $M_0$       | Bobot cawan dan penutupnya (g)  |
| $M_1$       | Bobot cawan, tertutup sebelum pengeringan (g)                               |
| $M_2$       | Bobot cawan, tertutup sesudah pengeringan (g)                               |
| P           | Tekanan atmospher (101325 Pa)   |
| R           | Konstanta gas (8, 314472 J/mol/K)   |
| t           | Tinggi tabung reaktor (cm).   |
| $t_i$       | Waktu awal (detik)  |
| $t_f$       | Waktu akhir (detik)   |
| T           | Suhu udara inlet/ outlet ( $^{\circ}C$ )                                    |
| $T_1$       | Suhu udara di luar tabung reaktor ( $^{\circ}C$ )                           |
| $T_2$       | Suhu udara fermentasi pada bagian bawah tumpukan biji kakao ( $^{\circ}C$ ) |

|                |   |
|----------------|---|
| $T_3$          | Suhu udara fermentasi pada bagian tengah tumpukan biji kakao ( $^{\circ}\text{C}$ )   |
| $T_4$          | Suhu udara fermentasi di dalam biji kakao ( $^{\circ}\text{C}$ )  |
| $T_5$          | Suhu udara fermentasi pada bagian atas tumpukan biji kakao ( $^{\circ}\text{C}$ )   |
| M              | Bobot kakao/sampel yang digunakan (kg)  |
| OUR            | Oxygen uptake rate (konsumsi $\text{O}_2$ ) ( $\text{g O}_2/\text{jam/kg}$ )  |
| CER            | Carbon dioxide evolution rate (Pelepasan Karbon dioksida) ( $\text{g CO}_2/\text{jam/kg}$ )   |
| Q              | Laju alir udara ( $\text{m}^3/\text{jam}$ )   |
| r              | Jari-jari tabung reaktor (cm);  |
| $\text{RO}_2$  | Laju konsumsi oksigen ( $\text{m}^3/\text{kg/dt}$ );  |
| $\text{RCO}_2$ | Laju produksi $\text{CO}_2$ ( $\text{m}^3/\text{kg/dt}$ ),  |
| RQ             | Respiratory quotient, yaitu perbandingan antara $\text{CO}_2$ yang dilepaskan terhadap $\text{O}_2$ yang dikonsumsi selama fermentasi |
| V              | Free volume ( $\text{m}^3$ ), yaitu volume tabung bagian atas dan volume tabung bagian bawah saringan yang tidak terisi biji kakao    |
| $\text{VS}_0$  | Volatile solid biji kakao awal (kg).  |
| X              | Faktor perlakuan pada sistem fermentasi autothermal ( $X_a$ ) dan pada sistem isothermal ( $X_i$ )                                    |
| $X_{a1}$       | Waktu pemeraman buah kakao pada sistem autothermal (hari)   |
| $X_{a2}$       | Laju aerasi pada sistem autothermal (liter/menit.kg)  |
| $X_{a3}$       | Mode aerasi pada sistem autothermal   |
| $X_{i1}$       | Waktu pemeraman buah kakao pada sistem isothermal (hari)  |
| $X_{i2}$       | Laju aerasi pada sistem isothermal (liter/menit.kg)   |
| $X_{i3}$       | Suhu udara fermentor ( $^{\circ}\text{C}$ )   |
| Y              | Respon perlakuan biji kakao kering hasil fermentasi secara autothermal ( $Y_a$ ) dan isothermal ( $Y_i$ ).                            |
| $Y_{a1}$       | Suhu udara puncak fermentasi autothermal ( $^{\circ}\text{C}$ )   |
| $Y_{a2}$       | Suhu udara akhir fermentasi autothermal ( $^{\circ}\text{C}$ )  |

|                    |   |
|--------------------|---|
| $Y_{a_3}$          | <i>Cumulative oxygen uptake</i> selama 5 (lima) hari proses fermentasi autothermal ( $\text{gO}_2/\text{kg}_{\text{vs}}$ )              |
| $Y_{a_4}$          | <i>Cumulative carbon dioxide evolution</i> selama 5 (lima) hari proses fermentasi autothermal ( $\text{gCO}_2/\text{kg}_{\text{vs}}$ )  |
| $Y_{a_5}$          | Kadar air biji kakao autothermal (%)  |
| $Y_{a_6}$          | Susut bobot autothermal (%)   |
| $Y_{a_7}$          | Rendemen biji kakao autothermal (%)   |
| $Y_{a_8}$          | pH biji kakao autothermal   |
| $Y_{a_9}$          | Persentase biji kakao terfermentasi autothermal (%)   |
| $Y_{a_{10}}$       | Indeks fermentasi biji kakao autothermal  |
| $Y_{a_{11}}$       | Warna chroma biji kakao autothermal   |
| $Y_{a_{12}}$       | Warna hue biji kakao autothermal  |
| $Y_{i_1}$          | Suhu udara puncak fermentasi isothermal ( $^{\circ}\text{C}$ )  |
| $Y_{i_2}$          | Suhu udara akhir fermentasi isothermal ( $^{\circ}\text{C}$ )   |
| $Y_{i_3}$          | <i>Cumulative oxygen uptake</i> selama 5 (lima) hari proses fermentasi isothermal ( $\text{gr O}_2/\text{kg}_{\text{vs}}$ )             |
| $Y_{i_4}$          | <i>Cumulative carbon dioxide evolution</i> selama 5 (lima) hari proses fermentasi isothermal ( $\text{gr CO}_2/\text{kg}_{\text{vs}}$ ) |
| $Y_{i_5}$          | Kadar air biji kakao isothermal (%)   |
| $Y_{i_6}$          | Susut bobot isothermal (%)  |
| $Y_{i_7}$          | Rendemen biji kakao isothermal (%)  |
| $Y_{i_8}$          | pH biji kakao isothermal  |
| $Y_{i_9}$          | Persentase biji kakao terfermentasi isothermal (%)  |
| $Y_{i_{10}}$       | Indeks fermentasi biji kakao isothermal   |
| $Y_{i_{11}}$       | Warna chroma biji kakao isothermal  |
| $Y_{i_{12}}$       | Warna hue biji kakao isothermal   |
| $YO_2^{\text{ti}}$ | Konsentrasi volumetrik oksigen pada waktu t awal (% , v/v);   |
| $YO_2^{\text{tf}}$ | Konsentrasi volumetrik oksigen pada t akhir (% , v/v);  |
| $y^{\text{out}}$   | Konsentrasi volumetrik pada outlet (% , v/v),   |
| $y^{\text{in}}$    | Konsentrasi volumetrik pada inlet (% , v/v),  |



|                                      |                               |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| $\pi$                                | Nilai $\pi = 3.14$            |
| $\beta_0$                            | Intersep/ konstanta           |
| $\beta_1, \beta_2, \beta_3$          | Koefisien linier              |
| $\beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{33}$ | Koefisien kuadrat             |
| $\beta_{12}, \beta_{13}, \beta_{23}$ | Koefisien interaksi perlakuan |