UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Pengembangan Alat Pemantau CO2 dan O2 Untuk Estimasi Laju Respirasi Tomat Ceri (Lycopersicon esculentum var. cerasiforme) Selama Penyimpanan
Chusnul Khotimah, Dr. Agung Putra Pamungkas, S.T.P., M.Agr.; Dr. Muhammad Prasetya Kurniawan, S.T.P., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
LEMBAR PENGESAHAN ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISI vi
DAFTAR TABEL ix
DAFTAR GAMBAR x
DAFTAR NOTASI xii
DAFTAR PERSAMAAN xiii
DAFTAR LAMPIRAN xiv
INTISARI xv
ABSTRACT xvi
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 6
1.3 Tujuan Penelitian 7
1.4 Manfaat Penelitian 7
1.5 Batasan Penelitian 8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 11
2.1 Tomat 11
2.1.1 Asal-usul dan persebaran tomat 11
2.1.2 Taksonomi tomat 11
2.1.3 Tomat ceri 12
2.1.4 Budidaya tomat 12
2.1.5 Panen dan pascapanen tomat 13
2.1.6 Karakteristik mutu fisik tomat 16
2.2 Respirasi 19
2.2.1 Definisi respirasi 19
2.2.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi respirasi 21
2.2.3 Pengaruh respirasi terhadap mutu komoditas 24
2.2.4 Metode pengukuran laju respirasi 26
2.2.5 Perhitungan laju respirasi 28

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Pengembangan Alat Pemantau CO2 dan O2 Untuk Estimasi Laju Respirasi Tomat Ceri (Lycopersicon esculentum var. cerasiforme) Selama Penyimpanan
Chusnul Khotimah, Dr. Agung Putra Pamungkas, S.T.P., M.Agr.; Dr. Muhammad Prasetya Kurniawan, S.T.P., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

2.2.6 Pemodelan laju respirasi 29
2.3 Pengujian Statistik 31
2.4.1 Desain faktorial 31
2.4.2 *Linear Mixed Models* (LMM) 32
2.4.3 Tukey's *Test* 33
2.4 Penelitian Terdahulu 35
BAB III BAHAN DAN METODE PENELITIAN 37
3.1 Objek Penelitian 37
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian 37
3.3 Alat dan Bahan 37
3.4 Data yang Diperlukan 40
3.5 Metode Pengumpulan Data 41
3.6 Rancangan Percobaan 41
3.7 Skema Alat Pengukuran Laju Respirasi 42
3.8 Tahapan Penelitian 44
3.8.1 Observasi lapangan 44
3.8.2 Identifikasi dan perumusan masalah 44
3.8.3 Studi pustaka 45
3.8.4 Penetapan tujuan penelitian 45
3.8.5 Perancangan alat 46
3.8.6 Pengujian alat 46
3.8.7 Persiapan penyimpanan 46
3.8.8 Pengukuran laju respirasi 47
3.8.9 Pengukuran karakteristik mutu fisik tomat ceri 52
3.8.10 Pengujian statistik 55
3.8.11 Pemodelan laju respirasi 56
3.8.12 Pembahasan dan penarikan kesimpulan 56
3.9 Diagram Alir Penelitian 57
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 58
4.1 Hasil Perancangan Alat Pengukuran Laju Respirasi 58
4.1.1 Hasil perancangan perangkat keras (*hardware*) 58
4.1.2 Hasil perancangan perangkat lunak (*software*) 60
4.1.3 Prosedur penggunaan alat 65

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Pengembangan Alat Pemantau CO2 dan O2 Untuk Estimasi Laju Respirasi Tomat Ceri (Lycopersicon esculentum var. cerasiforme) Selama Penyimpanan
Chusnul Khotimah, Dr. Agung Putra Pamungkas, S.T.P., M.Agr.; Dr. Muhammad Prasetya Kurniawan, S.T.P., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

4.2 Hasil Pengujian Alat Pengukuran Laju Respirasi 66
4.2.1 Fluktuasi suhu dan RH selama penyimpanan 68
4.2.2 Estimasi data CO_2 69
4.2.3 Estimasi data O_2 71
4.2.4 Produksi CO_2 dan konsumsi O_2 73
4.3 Pengukuran Laju Respirasi dengan *Gas Analyzer* 74
4.3.1 Pengukuran gas CO_2 dan O_2 74
4.3.2 Produksi CO_2 dan konsumsi O_2 75
4.4 Perbandingan Hasil Alat dan *Gas Analyzer* 80
4.5 Pemodelan Laju Respirasi 82
4.5.1 Pemodelan polinomial dan eksponensial 82
4.5.2 Persamaan Arrhenius 88
4.6 Pengukuran Mutu Fisik 91
4.6.1 Susut bobot 91
4.6.2 Perubahan tekstur 93
4.6.3 Perubahan warna 97
4.7 Perubahan Laju Respirasi dan Mutu Fisik Tomat Ceri 112
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 114
5.1 Kesimpulan 114
5.2 Saran 116
DAFTAR PUSTAKA 117
LAMPIRAN 127

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Pengembangan Alat Pemantau CO2 dan O2 Untuk Estimasi Laju Respirasi Tomat Ceri (Lycopersicon esculentum var. cerasiforme) Selama Penyimpanan
Chusnul Khotimah, Dr. Agung Putra Pamungkas, S.T.P., M.Agr.; Dr. Muhammad Prasetya Kurniawan, S.T.P., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tingkat kematangan/fase panen tomat..... 14
Tabel 2.2 Spesifikasi persyaratan mutu tomat (BSN, 1992)..... 15
Tabel 2.3. Penelitian terdahulu 35
Tabel 3.1 Tabel rancangan percobaan..... 42
Tabel 4.1 Perbandingan hasil laju respirasi dengan literatur 78
Tabel 4.2 Uji beda kelompok hasil alat dengan gas analyzer 82

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Pengembangan Alat Pemantau CO2 dan O2 Untuk Estimasi Laju Respirasi Tomat Ceri (Lycopersicon esculentum var. cerasiforme) Selama Penyimpanan
Chusnul Khotimah, Dr. Agung Putra Pamungkas, S.T.P., M.Agr.; Dr. Muhammad Prasetya Kurniawan, S.T.P., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Produksi tomat di Indonesia 1

Gambar 1.2 Konsumsi tomat di sektor rumah tangga 2

Gambar 2.1 Tingkat kematangan tomat ceri 15

Gambar 2.2 Grafik hubungan konsentrasi O_2 terhadap laju respirasi aerobik dan anaerobik pada buah dan sayuran (Kader & Saltveit, 2003) 23

Gambar 3.1 Diagram blok alat pengukuran laju respirasi 43

Gambar 3.2 Skema alat pengukuran laju respirasi 43

Gambar 3.3 Diagram alir penelitian 57

Gambar 4.1 Diagram rangkaian keseluruhan 59

Gambar 4.2 Rancangan wadah respirasi tampak (a) atas dan (b) samping 60

Gambar 4.3 Hasil percobaan pengukuran (a) CO_2 dan (b) O_2 68

Gambar 4.4 Grafik volume CO_2 pada kombinasi perlakuan (a) ET, (b) EK, (c) BT, (d) BK, (e) AT, (f) AK, (g) DT, dan (h) DK 70

Gambar 4.5 Grafik volume O_2 pada kombinasi perlakuan (a) ET, (b) EK, (c) BT, (d) BK, (e) AT, (f) AK, (g) DT, dan (h) DK 72

Gambar 4.6 Laju respirasi berdasarkan alat pada kombinasi perlakuan (a) ET, (b) EK, (c) BT, (d) BK, (e) AT, (f) AK, (g) DT, dan (h) DK 74

Gambar 4.7 Grafik perubahan volume CO_2 dan O_2 pada kombinasi perlakuan (a) ET, (b) EK, (c) BT, (d) BK, (e) AT, (f) AK, (g) DT, dan (h) DK 75

Gambar 4.8 Laju respirasi berdasarkan gas analyzer pada kombinasi perlakuan (a) ET, (b) EK, (c) BT, (d) BK, (e) AT, (f) AK, (g) DT, dan (h) DK 77

Gambar 4.9 Model polinomial CO_2 pada kombinasi perlakuan (a) ET, (b) EK, (c) BT, (d) BK, (e) AT, (f) AK, (g) DT, dan (h) DK 85

Gambar 4.10 Model eksponensial O_2 pada kombinasi perlakuan (a) ET, (b) EK, (c) BT, (d) BK, (e) AT, (f) AK, (g) DT, dan (h) DK 87

Gambar 4.11 Validasi persamaan Arrhenius 89

Gambar 4.12 Grafik susut bobot pada perlakuan dengan suhu penyimpanan (a) 2°C, (b) 7°C, (c) 13°C, dan (d) 27°C 91

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Pengembangan Alat Pemantau CO2 dan O2 Untuk Estimasi Laju Respirasi Tomat Ceri (Lycopersicon esculentum var. cerasiforme) Selama Penyimpanan
Chusnul Khotimah, Dr. Agung Putra Pamungkas, S.T.P., M.Agr.; Dr. Muhammad Prasetya Kurniawan, S.T.P., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 4.13 Grafik perubahan tekstur pada perlakuan dengan suhu penyimpanan (a) 2°C, (b) 7°C, (c) 13°C, dan (d) 27°C..... 94

Gambar 4.14 Skema tiga dimensi L*, a*, b*, C*, dan h° (Scalisi et al., 2021).. 100

Gambar 4.15 Grafik perubahan nilai L* pada perlakuan dengan suhu penyimpanan (a) 2°C, (b) 7°C, (c) 13°C, dan (d) 27°C 101

Gambar 4.16 Grafik perubahan nilai a* pada perlakuan dengan suhu penyimpanan (a) 2°C, (b) 7°C, (c) 13°C, dan (d) 27°C..... 103

Gambar 4.17 Grafik perubahan b* pada perlakuan dengan suhu penyimpanan (a) 2°C, (b) 7°C, (c) 13°C, dan (d) 27°C 105

Gambar 4.18 Grafik perubahan hue angle pada perlakuan dengan suhu penyimpanan (a) 2°C, (b) 7°C, (c) 13°C, dan (d) 27°C 107

Gambar 4.19 Grafik perubahan C* pada perlakuan dengan suhu penyimpanan (a) 2°C, (b) 7°C, (c) 13°C, dan (d) 27°C 109

Gambar 4.20 Grafik perubahan ΔE pada perlakuan dengan suhu penyimpanan (a) 2°C, (b) 7°C, (c) 13°C, dan (d) 27°C 111

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Pengembangan Alat Pemantau CO2 dan O2 Untuk Estimasi Laju Respirasi Tomat Ceri (Lycopersicon esculentum var. cerasiforme) Selama Penyimpanan
Chusnul Khotimah, Dr. Agung Putra Pamungkas, S.T.P., M.Agr.; Dr. Muhammad Prasetya Kurniawan, S.T.P., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR NOTASI

a*	CIE *color space coordinate: degree of greenness-redness*
b*	CIE *color space coordinate: degree of blueness-yellowness*
C	*Chroma*
dx	Rasio konsentrasi gas O_2 dan CO_2
dt	Rasio waktu (jam)
h°	*Hue angle*
L*	CIE *color space coordinate: degree of luminosity; lightness*
LMM	*Linear Mixed Models*
m	Massa (kg)
RO_2	Laju respirasi oksigen (mL/kg.jam)
RCO_2	Laju respirasi karbondioksida (mL/kg.jam)
RH	Kelembaban relatif/*relative humidity* (%)
T	Suhu (°C, K)
t	Waktu (hari, jam, menit, detik)
V	Volume (mL)
V_f	Volume efektif wadah (mL)
yO_2	Konsentrasi oksigen (%)
yCO_2	Konsentrasi karbondioksida (%)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Pengembangan Alat Pemantau CO2 dan O2 Untuk Estimasi Laju Respirasi Tomat Ceri (Lycopersicon esculentum var. cerasiforme) Selama Penyimpanan
Chusnul Khotimah, Dr. Agung Putra Pamungkas, S.T.P., M.Agr.; Dr. Muhammad Prasetya Kurniawan, S.T.P., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR PERSAMAAN

(2.1) 20
(2.2) 20
(2.3) 28
(2.4) 28
(2.5) 28
(2.6) 29
(2.7) 30
(2.8) 30
(2.9) 30
(2.10) 31
(2.11) 33
(2.12) 34
(2.13) 34
(3.1) 48
(3.2) 49
(3.3) 49
(3.4) 50
(3.5) 50
(3.6) 50
(3.7) 51
(3.8) 51
(3.9) 51
(3.10) 52
(3.11) 52
(3.12) 53
(3.13) 54
(3.14) 54
(3.15) 54
(4.1) 83
(4.2) 86
(4.3) 88
(4.4) 88

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Pengembangan Alat Pemantau CO2 dan O2 Untuk Estimasi Laju Respirasi Tomat Ceri (Lycopersicon esculentum var. cerasiforme) Selama Penyimpanan
Chusnul Khotimah, Dr. Agung Putra Pamungkas, S.T.P., M.Agr.; Dr. Muhammad Prasetya Kurniawan, S.T.P., M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Respirasi Tomat Ceri 127

Lampiran 2 Perbandingan Data Alat dan *Gas Analyzer* 135

Lampiran 3 Pemodelan Laju Respirasi 139

Lampiran 4 Pengukuran Mutu Fisik Tomat Ceri 143

Lampiran 5 Pengujian Statistik 154

Lampiran 6 *Sketch* Pemrograman ESP32 di Arduino IDE 179

Lampiran 7 Pemrograman Python untuk Ekstraksi dan Konversi Warna ke Ruang Warna CIEL*a*b* 187

Lampiran 8 Dokumentasi Pengukuran 192

Lampiran 9 Fluktuasi Suhu dan RH Selama Penyimpanan 194