

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

RANCANG BANGUN INSTRUMENTASI PENCITRAAN MIKROSKOPIK BERBASIS RASPBERRY PI TERINTEGRASI LENSA OBJEKTIF DAN *REVERSED LENS* UNTUK PENGAMATAN STOMATA

JESIKA BR GIRSANG



**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Rancang Bangun Instrumentasi Pencitraan Mikroskopik Berbasis Raspberry Pi Terintegrasi Lensa Objektif dan *Reversed Lens* untuk Pengamatan Stomata” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2025

Jesika Br Girsang
G7401211003

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

ABSTRAK

JESIKA BR GIRSANG. Rancang Bangun Instrumentasi Pencitraan Mikroskopik Berbasis Raspberry Pi Terintegrasi Lensa Objektif dan *Reversed Lens* untuk Pengamatan Stomata. Dibimbing oleh ERUS RUSTAMI dan MAYA MELATI.

Penelitian ini berhasil merancang dan membangun instrumen pencitraan mikroskopik berbasis Raspberry Pi yang terintegrasi dengan lensa objektif 40× dan *reversed lens* untuk pengamatan stomata daun secara *real-time*. Antarmuka pengguna grafis (GUI) berbasis Python dikembangkan untuk mengontrol kamera dan mengambil gambar secara manual dan berkala. Kinerja instrumen diuji menggunakan *linear micrometer ruler*, epidermis bawang, daun tomat (*Lycopersicum esculentum*), dan daun adam eva (*Rhoeo discolor*). Hasil pengujian pada objek *linear micrometer ruler* dan epidermis bawang menunjukkan citra yang jelas dengan luas bidang pandang $417,0 \mu\text{m} \times 234,6 \mu\text{m}$. Stomata pada daun adam eva dapat terlihat dan terdeteksi dengan panjang $81 \mu\text{m} - 84 \mu\text{m}$, sedangkan stomata daun tomat tidak teramati akibat trikoma dan ketidakrataan permukaan daun. Upaya pemantauan dinamis pembukaan dan penutupan stomata daun adam eva selama 27 jam terkendala pergeseran sampel dan dehidrasi lokal diduga akibat pencahayaan terus-menerus. Rancangan ini menunjukkan potensi mikroskop portabel yang fleksibel untuk studi jaringan tumbuhan.

Kata kunci: daun, GUI, *linear micrometer ruler*, *real-time*

ABSTRACT

JESIKA BR GIRSANG. Design and Construction of Raspberry Pi-based Microscopic Imaging Instrumentation Integrated with Objective Lens and Reversed Lens for Stomata Observation. Supervised by ERUS RUSTAMI and MAYA MELATI.

This study successfully designed and developed a microscopic imaging instrument based on Raspberry Pi, integrated with a 40× objective lens and a reversed lens, for real-time observation of leaf stomata. A Python-based graphical user interface (GUI) was developed to control the camera and capture images manually and at regular intervals. The instrument's performance was tested using a linear micrometer ruler, onion epidermis, tomato leaf (*Lycopersicum esculentum*), and adam eve leaf (*Rhoeo discolor*). Test results on the micrometer and onion epidermis showed clear images with a field of view of $417.0 \mu\text{m} \times 234.6 \mu\text{m}$. Stomata on *Rhoeo discolor* leaves were clearly visible and measurable, with lengths ranging from $81 \mu\text{m}$ to $84 \mu\text{m}$, while stomata on tomato leaves were not observable due to the presence of trichomes and uneven leaf surfaces. A 27-hour dynamic observation of stomatal opening and closing in *Rhoeo discolor* was hindered by sample displacement and localized dehydration, presumably caused by continuous illumination. This design demonstrates the potential of a flexible, portable microscope for plant tissue studies.

Keywords: leaf, GUI, *linear micrometer ruler*, *real-time*



@Hak cipta milik IPB University

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

RANCANG BANGUN INSTRUMENTASI PENCITRAAN MIKROSKOPIK BERBASIS RASPBERRY PI TERINTEGRASI LENSA OBJEKTIF DAN *REVERSED LENS* UNTUK PENGAMATAN STOMATA

JESIKA BR GIRSANG

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Fisika

**DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

- 1 Prof. Dr. Akhiruddin, S.Si., M.Si.
- 2 Dr. Ir. Irmansyah, M.Si.

Judul Skripsi : Rancang Bangun Instrumentasi
Pencitraan Mikroskopik Berbasis
Raspberry Pi Terintegrasi Lensa
Objektif dan *Reversed Lens* untuk
Pengamatan Stomata

Nama : Jesika Br Girsang
NIM : G7401211003

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Dr. Erus Rustami, S.Si., M.Si.
NIP. 198302262015041001

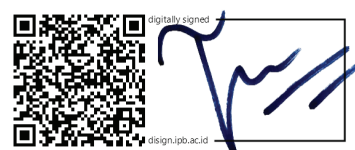


Pembimbing 2:
Dr. Ir. Maya Melati, M.S., M.Sc.
NIP. 196401281991032001



Diketahui oleh

Ketua Departemen Fisika:
Prof. Dr. R. Tony Ibnu Sumaryada Wijaya P, M.Si.
NIP. 197205191997021001



Tanggal Ujian: 8 Juli 2025

Tanggal Lulus:



- 

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Kuasa atas kasih karunia-Nya sehingga penelitian dengan judul “Rancang Bangun Instrumentasi Pencitraan Mikroskopik Berbasis Raspberry Pi Terintegrasi Lensa Objektif dan *Reversed Lens* untuk Pengamatan Stomata” berhasil diselesaikan. Penelitian ini dilaksanakan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Erus Rustami, S.Si., M.Si. dan Dr. Ir. Maya Melati, M.S., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang selalu sabar membimbing, mendampingi, memotivasi, memberi saran serta arahan kepada penulis selama persiapan dan pelaksanaan penelitian hingga penyusunan skripsi ini.
2. Prof. Dr. Akhiruddin, S.Si., M.Si. dan Dr. Ir. Irmansyah, M.Si. selaku dosen penguji yang memberikan saran dan masukan dalam penulisan skripsi ini.
3. Para dosen dan staff Departemen Fisika IPB yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan memfasilitasi penulis selama masa studi.
4. Kak Rohul sebagai laboran yang telah membantu memberikan arahan selama penelitian.
5. Keluarga penulis yang terkasih, Jordi Petrus Girsang dan Sinur Rinawati Simbolon sebagai orang tua yang telah bekerja keras dan selalu mendoakan penulis hingga saat ini. Febry Ardo Girsang sebagai abang yang selalu mengusahakan yang terbaik untuk adik-adiknya. Ariel Kurniawan Girsang sebagai adik yang menemani perjalanan penulis di IPB selama semester akhir.
6. Maher Sehan Bastian Sinaga, kakak kelas penulis yang menjadi salah satu motivasi penulis mendaftar di Departemen Fisika IPB.
7. Uiwang Nur Thoriq, Elsa Kalam Rahayu, keluarga Kak Willia, keluarga Cempaka, teman-teman Fisika IPB, teman-teman PMK IPB, teman-teman KKN Internasional 2024, dan teman-teman lainnya yang telah memberikan doa, semangat, bantuan, dan dukungan kepada penulis.
8. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam penelitian dan penyusunan skripsi yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2025

Jesika Br Girsang



DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	2
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Raspberry Pi	3
2.2 <i>Reversed Lens</i>	3
2.3 Stomata	4
III METODE	6
3.1 Waktu dan Tempat	6
3.2 Alat dan Bahan	6
3.3 Prosedur Kerja	6
3.3.1 Perancangan GUI	6
3.3.2 Modifikasi Lensa dengan Teknik <i>Reversed Lens</i>	6
3.3.3 Penggabungan <i>Reversed Lens</i> dengan Lensa Objektif 40×	7
3.3.4 Penggunaan LED	7
3.3.5 Integrasi Keseluruhan Komponen	8
3.3.6 Pengamatan Sampel	9
3.3.7 Analisis Hasil	9
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	10
4.1 <i>Graphical User Interface</i> (GUI)	10
4.2 Modifikasi dan Penggabungan <i>Reversed Lens</i> dan Lensa Objektif 40×	11
4.3 Penggunaan LED	12
4.4 Pengamatan Menggunakan <i>Linear Micrometer Ruler</i>	13
4.5 Pengamatan Menggunakan Epidermis Bawang	14
4.6 Pengamatan Stomata Daun	14
V SIMPULAN DAN SARAN	18
5.1 Simpulan	18
5.2 Saran	18
DAFTAR PUSTAKA	19
LAMPIRAN	22
RIWAYAT HIDUP	24

DAFTAR GAMBAR

1	Raspberry Pi dengan modul kamera (McManus dan Cook 2021)	3
2	Lensa sebelum dan sesudah dibalik (<i>reversed lens</i>). (A) Lensa dalam webcam konvensional memperkecil objek. (B) Teknik <i>reversed lens</i> memperbesar objek. Jarak antara modul pencitraan dan lensa menentukan tingkat perbesaran (Kim <i>et al.</i> 2012).	4
3	Stomata daun tomat (Purwar dan Lee 2019)	5
4	Modifikasi kamera Pi dengan teknik <i>reversed lens</i>	7
5	Penggabungan <i>reversed lens</i> dengan lensa objektif 40×	7
6	Skema penggunaan LED	8
7	Rangkaian keseluruhan komponen	8
8	Hasil tampilan GUI	11
9	Desain <i>housing</i>	11
10	<i>Housing</i> dan penutup lensa	12
11	Perbedaan pencahayaan menggunakan: (a) LED <i>straw hat</i> ; (b) LED biasa	12
12	Penggunaan LED	13
13	Pengamatan <i>linear micrometer ruler</i> . (a) <i>Linear micrometer ruler</i> ; (b) hasil pengamatan dengan instrumen yang telah dirancang; (c) hasil pengamatan dengan mikroskop digital.	13
14	Pengamatan epidermis bawang. (a) Sampel epidermis bawang; (b) hasil pengamatan dengan instrumen yang telah dirancang; (c) hasil pengamatan dengan mikroskop digital.	14
15	Pengamatan daun tomat. (a) <i>Set-up</i> pengamatan; (b) hasil pengamatan dengan instrumen yang telah dirancang; (c) hasil pengamatan dengan mikroskop digital.	15
16	Pengamatan daun adam eva. (a) <i>Set-up</i> pengamatan; (b) hasil pengamatan dengan instrumen yang telah dirancang; (c) hasil pengamatan dengan mikroskop digital.	16
17	Pengolahan gambar daun adam eva dengan ImageJ. (a) Pengukuran panjang stomata dari Gambar 16 (b); (b) pengukuran kerapatan stomata dari Gambar 16 (c).	16
18	Pengamatan stomata tanaman adam eva secara berkala	17

DAFTAR LAMPIRAN

1	Perhitungan daya LED	22
2	Pengamatan stomata selama 27 jam dengan interval 90 menit	23