

**SKRIPSI**  
**PERBANDINGAN KALIBRASI KAMERA STEREO IMX 477 DAN**  
**KAMERA CANON DSLR 600D MENGGUNAKAN METODE ZHANG**  
**UNTUK APLIKASI FOTOGRAMETRI BERBASIS RASPBERRY PI**



**Di Susun Oleh:**  
**Gui Agostinho De Jesus Soares**  
**19.25.083**

**PROGRAM STUDI TEKNIK GEODESI**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL**  
**MALANG**  
**2025**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**PERBANDINGAN KALIBRASI KAMERA STEREO IMX 477 DAN  
KAMERA CANON DSLR 600D MENGGUNAKAN METODE ZHANG  
UNTUK APLIKASI FOTOGRAMETRI BERBASIS RASPBERRY PI**

**Skripsi**

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Dalam Mencapai Gelar Sarjana  
Teknik (ST) Strata Satu (S-1) Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Sipil Dan  
Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang**

**Disusun Oleh:**

**Gui Agostinho De Jesus Soares**

**1925083**

**Menyetujui,**

**Dosen Pembimbing I**

  
**Martinus Edwin Tjahjadi, ST, MT, Ph.D**

**NIP.Y. 1039800320**

**Menyetujui,**

**Dosen Pembimbing II**

  
**Fransisca Dwi Agustina, S.T., M.Eng**

**NIP.P. 1012000582**

**Menyetujui,**  
**Ketua Program Studi Teknik Geodesi S-1**  
  
**Dedy Kurnia Sunaryo, S.T., M.T**

**NIP.Y. 1039500280**



SERO) MALANG  
GA MALANG

PERKUMPULAN PENGELOLA PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG  
**INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG**

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK

Kampus I : Jl. Bendungan Sigura-gura No. 2 Telp. (0341) 551431 (Hunting), Fax. (0341) 553015 Malang 65145  
Kampus II : Jl. Raya Karanglo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

**BERITA ACARA UJIAN SEMINAR HASIL SKRIPSI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**

**NAMA** : Gui Agostinho De Jesus Soares  
**NIM** : 1925083  
**JURUSAN** : TEKNIK GEODESI S-1  
**JUDUL** : PERBANDINGAN KALIBRASI KAMERA STEREO IMX  
477 DAN KAMERA CANON DSLR 600D MENGGUNAKAN  
METODE ZHANG UNTUK APLIKASI FOTOGRAMETRI  
BERBASIS RASPBERRY PI

Telah Dipertahankan di Hadapan Panitia Penguji Ujian Skripsi  
Jenjang Starta (S-1) Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Sipil  
dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang dan Diterima untuk  
Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Strata Satu (SI) Bidang  
Teknik Geodesi

Pada Hari/Tanggal : Kamis, 14 Agustus 2025

Dengan Nilai :

Panitia Ujian Skripsi  
Ketua Penguji

Herv Purwanto, S.T., M.Sc  
NIP.Y. 1030000345

Dosen Penguji I

Dosen Pendamping

Dosen Penguji II

Yuliananda Mabry, S.T., M.T.  
NIP.P. 1031700526

Martinus Edwin Tjahjadi, ST, MT, Ph.D  
NIP.Y. 1039800320

Dedy Kurnia Sunarvo, S.T., M.T  
NIP.Y. 1039500280

# **PERBANDINGAN KALIBRASI KAMERA STEREO IMX 477 DAN KAMERA CANON DSLR 600D MENGGUNAKAN METODE ZHANG UNTUK APLIKASI FOTOGRAMETRI BERBASIS RASPBERRY PI**

Gui Agostinho De Jesus Soares, 1925083

Pembimbing 1 : Martinus Edwin Tjahjadi, ST, MT, Ph.D

Pembimbing 2 : Fransisca Dwi Agustina, S.T.,M.Eng

## **ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil kalibrasi kamera stereo antara Raspberry Pi IMX477 dan Canon DSLR 600D menggunakan metode Zhang untuk aplikasi fotogrametri berbasis Raspberry Pi. Kalibrasi dilakukan untuk memperoleh parameter intrinsik (panjang fokus, titik pusat proyeksi, dan koefisien distorsi) serta parameter ekstrinsik (rotasi dan translasi antar kamera). Data diperoleh melalui pengambilan citra checkerboard 8×6 menggunakan perangkat keras seperti Raspberry Pi 4B, Canon DSLR 600D, tripod, serta perangkat lunak Python dengan pustaka OpenCV, Picamera2, gPhoto2, dan WxPython. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kamera Canon DSLR 600D memiliki tingkat akurasi kalibrasi yang lebih tinggi dibandingkan Raspberry Pi IMX477, dengan rata-rata reprojection error 0,212 piksel pada DSLR dan 0,386 piksel pada IMX477. Nilai panjang fokus DSLR mencapai sekitar 4300 piksel, sedangkan pada IMX477 sekitar 1600 piksel. Selain itu, DSLR memiliki baseline stereo sebesar 96,15 mm, sementara IMX477 hanya 13,94 mm. Baseline yang lebih panjang pada DSLR memberikan akurasi kedalaman yang lebih baik, dengan ketelitian hingga 1 mm pada jarak 1 meter, sedangkan IMX477 mengalami deviasi sekitar 3 mm. Perbedaan ini dipengaruhi oleh ukuran sensor, sistem optik, serta presisi fokus yang lebih tinggi pada DSLR. Dengan demikian, kamera Canon DSLR 600D dinilai lebih unggul untuk aplikasi fotogrametri yang menuntut ketelitian tinggi, sedangkan Raspberry Pi IMX477 lebih cocok untuk sistem fotogrametri ringan dan efisien berbasis komputasi tertanam.

**Kata kunci :** kalibrasi kamera, metode Zhang, stereo kamera, Raspberry Pi IMX477, Canon DSLR 600D, fotogrametri.

**Comparison of Stereo Camera Calibration Between IMX477 and Canon  
DSLR 600D Using Zhang's Method for Raspberry Pi-Based Photogrammetry  
Applications**

Gui Agostinho De Jesus Soares, 1925083

Supervisor 1: Martinus Edwin Tjahjadi, ST, MT, Ph.D

Supervisor 2 : Fransisca Dwi Agustina, S.T.,M.Eng

***ABSTRACT***

This research aims to compare the stereo camera calibration results between the Raspberry Pi IMX477 and Canon DSLR 600D using the Zhang's method for Raspberry Pi-based photogrammetry applications. The calibration process was conducted to obtain intrinsic parameters (focal length, principal point, and lens distortion coefficients) and extrinsic parameters (rotation and translation between cameras). Image data were captured using an 8×6 checkerboard pattern with hardware components such as Raspberry Pi 4B, Canon DSLR 600D, tripod setup, and software tools including Python with OpenCV, Picamera2, gPhoto2, and WxPython libraries. The results indicate that the Canon DSLR 600D achieved higher calibration accuracy compared to the Raspberry Pi IMX477, with an average reprojection error of 0.212 pixels for the DSLR and 0.386 pixels for the IMX477. The DSLR demonstrated a focal length of approximately 4300 pixels, while the IMX477 had around 1600 pixels. The stereo baseline of the DSLR system was 96.15 mm, whereas the IMX477 had 13.94 mm. The longer baseline of the DSLR contributed to better depth accuracy, achieving up to 1 mm precision at a 1-meter distance, while the IMX477 showed a deviation of around 3 mm. These differences are attributed to the DSLR's larger sensor size, superior optical system, and precise focusing mechanism. Therefore, the Canon DSLR 600D is more suitable for high-accuracy photogrammetry applications, while the Raspberry Pi IMX477 is advantageous for lightweight and embedded photogrammetric systems.

**Keywords :** camera calibration, Zhang's method, stereo camera, Raspberry Pi IMX477, Canon DSLR 600D, photogrammetry.

## **SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Gui Agostinho De Jesus Soares

NIM : 1925083

Program Studi : Teknik Geodesi S-1

Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa SKRIPSI saya yang berjudul :

**PERBANDINGAN KALIBRASI KAMERA STEREO IMX 477 DAN  
KAMERA CANON DSLR 600D MENGGUNAKAN METODE ZHANG  
UNTUK APLIKASI FOTOGRAMETRI BERBASIS RASPBERRY PI**

Adalah hasil karya saya sendiri dan bukan menjiplak atau menduplikat serta tidak mengutip atau menyadur dari hasil karya orang lain kecuali disebutkan sumbernya.

Malang 1 Oktober 2025  
Yang Membuat Pernyataan

  
Gui Agostinho De Jesus Soares  
1925083

## **LEMBAR PERSEMBAHAN**

*Puji syukur kepada Tuhan Yesus dan Bunda Maria,  
yang selalu hadir mendengarkan setiap doa, permohonan, dan ketakutan hati ini.  
Terima kasih atas kesehatan, kasih, dan berkat yang begitu berlimpah dalam  
hidupku.*

### **Monkey D. Luffy, One Piece**

*Aku tak akan menyerah sampai impianku tercapai.  
Mungkin jalannya panjang dan penuh badai, tapi selama aku masih bisa berdiri,  
aku akan terus maju*

### **Bapa Agus dan Mama Filomena**

*Terima kasih atas kasih, doa, dan pengorbanan yang tak pernah terhitung.  
Mama, meski kini engkau telah tenang di sisi Tuhan, setiap langkahku adalah doa  
untukmu. Bapa, terima kasih atas keteguhan dan kasih yang terus menuntun  
langkahku hingga saat ini. Skripsi ini adalah bukti kecil dari cinta dan  
perjuangan kalian yang hidup dalam diriku.*

### **Kak Meu Kak Lina Kak Miki Kak Rio**

*Kalian bukan hanya saudara, tapi juga sahabat, pelindung, dan sumber semangat  
dalam hidupku. Sebagai adik bungsu, saya bersyukur telah tumbuh di bawah  
cinta dan bimbingan kalian. Terima kasih karena selalu ada dalam suka, duka,  
dan setiap perjuangan yang kulewati.*

### **Teman - Teman dan Saudara Karlos, Ario, Denilson, Abio, Maun Joni, Amuti, Brenyo, Romi dan Ako**

*Terima kasih atas semangat, motivasi, dan kebersamaan yang kalian berikan  
selama perjalanan ini. Kalian bukan hanya teman, tapi juga saudara yang selalu  
hadir di saat suka dan duka. Terima kasih atas waktu, tawa, dukungan, bahkan  
laptop yang kalian pinjamkan, hingga akhirnya saya bisa menyelesaikan skripsi  
ini. Setiap bantuan dan doa kalian menjadi bagian dari keberhasilanku hari ini.*

**Teman - Teman Angkatan Di Tanah Rantau ( Kering Air Ludah 19 )**

*Untuk teman-temanku di rantau, khususnya keluarga kecil Kering Air Ludah 19. Terima kasih atas tawa, perjuangan, dan kebersamaan yang tak ternilai selama masa-masa sulit di perantauan. Kita mungkin jauh dari rumah, tapi bersama kalian aku menemukan arti keluarga yang sesungguhnya. Setiap cerita, lelah, dan perjuangan kita akan selalu jadi bagian dari perjalanan hidupku hingga titik ini.*

**Margeritha Fenesia Laga**

*Untuk wanita yang selalu ada dalam setiap doa dan langkahku, Margeritha Fenesia Laga. Terima kasih telah menjadi sumber semangat, penghibur di saat letih, dan cahaya di tengah kesulitan. Doamu dan cintamu adalah kekuatan terbesarku hingga aku bisa sampai di titik ini. Semoga semangat dan cinta yang tumbuh selama perjuangan ini menjadi awal indah perjalanan kita menuju masa depan yang Tuhan berkati. Amin.*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yesus Kristus dan Bunda Maria atas segala rahmat, kasih, dan penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul: **PERBANDINGAN KALIBRASI KAMERA STEREO IMX477 DAN KAMERA CANON DSLR 600D MENGGUNAKAN METODE ZHANG UNTUK APLIKASI FOTOGRAMETRI BERBASIS RASPBERRY PI**. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi

Teknik Geodesi. Dalam penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa keberhasilan penyelesaian tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan, dukungan, serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Martinus Edwin Tjahjadi, ST, MT, Ph.D selaku Dosen Pembimbing I, yang telah dengan sabar memberikan bimbingan, arahan, serta motivasi selama proses penelitian dan penyusunan skripsi ini.
  2. Ibu Fransisca Dwi Agustina, S.T., M.Eng selaku Dosen Pembimbing II, atas segala perhatian, saran, dan bimbingan yang sangat membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.
  3. Seluruh dosen dan staf Program Studi Teknik Geodesi yang telah memberikan ilmu pengetahuan, dukungan, dan semangat selama masa perkuliahan.
  4. Kedua orang tua tercinta, Bapak Agust dan almarhumah Mama Filomena, atas doa, kasih sayang, dan pengorbanan yang tiada henti.
  5. Saudara-saudaraku tercinta, Kak Meu, Kak Miki, Kak Rio, dan Kak Lina, atas dukungan dan kasih yang selalu menguatkan.
  6. Teman-teman dan saudara seperjuangan, Karlos, Ario, Denilson, Abio, Maun Joni, Amuti, Brenyo, dan Romi, atas bantuan, motivasi, dan waktu yang kalian luangkan untuk berbagi semangat hingga skripsi ini terselesaikan.
  7. Sahabat-sahabat rantauku, khususnya keluarga kecil Kering Air Ludah
19. Terima kasih atas kebersamaan, tawa, dan dukungan di tengah perjuangan ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, baik dari segi isi maupun penyajian. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa mendatang.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan menjadi referensi bagi pihak-pihak yang tertarik dalam bidang kalibrasi kamera stereo dan aplikasi fotogrametri berbasis Raspberry Pi.

Malang, 10 Oktober 2025

Penulis

## DAFTAR ISI

|                                                                                          |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| LEMBAR PERSETUJUAN.....                                                                  | i    |
| BERITA ACARA UJIAN SEMINAR HASIL SKRIPSI FAKULTAS TEKNIK<br>SIPIIL DAN PERENCANAAN ..... | i    |
| ABSTRAK .....                                                                            | iii  |
| ABSTRACT .....                                                                           | iv   |
| SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI .....                                                  | iv   |
| LEMBAR PERSEMBAHAN .....                                                                 | vi   |
| KATA PENGANTAR.....                                                                      | viii |
| DAFTAR ISI .....                                                                         | x    |
| DAFTAR GAMBAR .....                                                                      | xiii |
| DAFTAR TABEL.....                                                                        | vi   |
| BAB I PENDAHULUAN .....                                                                  | 1    |
| 1.1 Latar Belakang .....                                                                 | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                                                                | 2    |
| 1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian .....                                                  | 2    |
| 1.3.1 Tujuan Penelitian.....                                                             | 2    |
| 1.3.2 Manfaat Penelitian .....                                                           | 2    |
| 1.4 Batasan Masalah.....                                                                 | 3    |
| 1.5 Sistematika Penulisan .....                                                          | 3    |
| BAB II DASAR TEORI.....                                                                  | 5    |
| 2.1 Prinsip Dasar Penglihatan Stereo .....                                               | 5    |
| 2.1.1 Paralaks .....                                                                     | 5    |
| 2.1.2 Geometri Epipolar .....                                                            | 6    |
| 2.2 Kamera <i>Stereo</i> Raspberry Pi IMX 477 .....                                      | 7    |
| 2.3 Kamera Canon DSLR 600D .....                                                         | 8    |
| 2.4 Raspberry Pi Model 4B .....                                                          | 9    |
| 2.5 Raspberry Pi Model 5B .....                                                          | 10   |
| 2.6 Kalibrasi Kamera Metode Zhang .....                                                  | 11   |
| 2.6.1 Langkah – Langkah Kalibrasi Kamera Metode Zhang .....                              | 11   |

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.6.2 Persiapan Papan Pola Kalibrasi <i>Chessboard</i> dan Papan Kalibrasi Baja ..... | 12 |
| 2.6.3 Deteksi Titik Sudut Papan Catur .....                                           | 12 |
| 2.6.4 Kalibrasi Parameter Intrinsik .....                                             | 13 |
| 2.6.5 Distorsi Lensa .....                                                            | 15 |
| 2.7 Papan Kalibrasi ( <i>Chessboard</i> ).....                                        | 19 |
| 2.8 Rektifikasi <i>Stereo</i> .....                                                   | 20 |
| 2.9 Persiapan Data Kalibrasi Kamera .....                                             | 21 |
| 2.9.1 Matriks Rotasi R dan Vektor Translasi T .....                                   | 22 |
| 2.9.2 Menentukan Vektor Arah ( <i>Baseline</i> ).....                                 | 23 |
| 2.9.3 Medefenisikan Sumbu Koordinat Baru Untuk Rektifikasi .....                      | 24 |
| 2.9.4 Membentuk Matriks Rotasi Rektifikasi ( R1 dan R2 ) .....                        | 25 |
| 2.9.5 Menghitung Matriks Proyeksi Rektifikasi Baru ( P1' dan P2' ).....               | 25 |
| 2.9.6 Membangun Peta Transformasi Untuk Rektifikasi .....                             | 27 |
| 2.10 RMSE ( <i>Root Mean Square Error</i> ) .....                                     | 27 |
| 2.11 <i>Python</i> .....                                                              | 29 |
| 2.11.1 Cara Kerja Python ke Raspberry Pi.....                                         | 29 |
| 2.12 Ansible .....                                                                    | 30 |
| 2.12.1 Fitur utama Ansible .....                                                      | 30 |
| 2.12.2 Raspberry Pi dan Konektivitasnya Dengan Ansible .....                          | 31 |
| 2.13 <i>Secure Shell</i> (SSH).....                                                   | 31 |
| 2.13.1 Manfaat dan Cara Kerja SSH.....                                                | 31 |
| 2.14 <i>Picamera2</i> .....                                                           | 32 |
| 2.14.1 Cara kerja <i>Picamera2</i> dan Manfaatnya .....                               | 32 |
| 2.15 <i>OpenCV</i> .....                                                              | 33 |
| 2.15.1 Fungsi Utama Untuk Kalibrasi Kamera Di <i>OpenCV</i> .....                     | 33 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....                                                    | 34 |
| 3.1 Persiapan Penelitian .....                                                        | 34 |
| 3.2 Diagram Alir Penelitian.....                                                      | 38 |
| 3.3 Pelaksanaan Penelitian .....                                                      | 40 |
| 3.3.1 Pembuatan Papan <i>Chessboard</i> .....                                         | 40 |

|                                                                                                                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.3.2 Persiapan Papan Kalibrasi Baja ( <i>Calibration board</i> ).....                                                                                                   | 41  |
| 3.3.3 Pemasangan Kamera <i>Stereo</i> IMX 477 .....                                                                                                                      | 43  |
| 3.3.4 Pemasangan Kamera Canon DSLR 600D.....                                                                                                                             | 44  |
| 3.3.5 Persiapan Pemotretan Papan Kalibrasi Menggunakan Kamera Raspbarry<br>Pi IMX 477 dan Installasi sistem operasi pada mikrokontroler <i>raspberry pi</i> 4B.<br>..... | 45  |
| 3.3.6 Persiapan Pemotretan Papan Kalibrasi Menggunakan Kamera DSLR<br>600D.....                                                                                          | 57  |
| 3.4 Pengolahan Data.....                                                                                                                                                 | 65  |
| 3.5 Evaluasi Hasil Kalibrasi .....                                                                                                                                       | 68  |
| 3.6 Stereo Kalibrasi .....                                                                                                                                               | 69  |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....                                                                                                                                         | 71  |
| 4.1 Hasil Deteksi Sudut Papan Kalibrasi .....                                                                                                                            | 71  |
| 4.2 Hasil Mono Kalibrasi .....                                                                                                                                           | 73  |
| 4.3 Hasil Kalibrasi Stereo .....                                                                                                                                         | 84  |
| 4.4 Projection Error RMSE .....                                                                                                                                          | 96  |
| 4.5 Perbandingan Kalibrasi antara kamera Canon DSLR 600D dan   Raspbarry<br>Pi IMX477.....                                                                               | 101 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....                                                                                                                                          | 105 |
| 5.1 Kesimpulan .....                                                                                                                                                     | 105 |
| 5.2 Saran.....                                                                                                                                                           | 106 |
| DAFTAR PUSTAKA .....                                                                                                                                                     | 108 |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2. 1 Ilustrasi Prinsip Stereo Vision (Sumber: <i>Zivid, "3D Vision Technology 2017)</i> .....                                                                            | 5  |
| Gambar 2. 2 Ilustrasi Geometri Epipolar Dalam Sistem Penglihatan Stereo (Sumber: <i>Epipolar geometry of stereo vision 2018)</i> .....                                          | 7  |
| Gambar 2. 3 Kamera <i>Stereo</i> Raspberry PI IMX 477 (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024) .....                                                                                  | 8  |
| Gambar 2. 4 Kamera Canon DSLR 600D ( Sumber: Wikipedia 2011) .....                                                                                                              | 9  |
| Gambar 2. 5 Raspberry Pi Model 4B ( Sumber: Raspberry Pi <i>Foundation</i> 2019) 10                                                                                             |    |
| Gambar 2. 6 Raspberry Pi Model 5B (Sumber: Raspberry Pi <i>Foundation</i> 2023) .11                                                                                             |    |
| Gambar 2. 7 Papan Kalibrasi <i>Chessboard</i> (Sumber: Dokementasi Pribadi 2024) 20                                                                                             |    |
| Gambar 2. 8 Gambar Sebelum di Retifikasi (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2025) .....                                                                                               | 21 |
| Gambar 2. 9 Gambar Sesudah di Retifikasi (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2025) .....                                                                                               | 21 |
| Gambar 2. 10 Logo Bahasa Pemograman <i>Python</i> (Sumber: <a href="https://algorit.ma/blog/belajar-apa-itu-python/">https://algorit.ma/blog/belajar-apa-itu-python/</a> )..... | 29 |
| Gambar 3. 1 Diagram Alir.....                                                                                                                                                   | 38 |
| Gambar 3. 2 <i>Website</i> Papan <i>Chessboard</i> (Sumber: Calib.io 2018).....                                                                                                 | 40 |
| Gambar 3. 3 Ukuran Papan <i>Chessboard</i> (Sumber: Calib.io 2018) .....                                                                                                        | 41 |
| Gambar 3. 4 Pemasangan Papan <i>Chessboard</i> (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024) .....                                                                                         | 41 |
| Gambar 3. 5 Papan Kalibrasi Baja (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024) .....                                                                                                       | 42 |
| Gambar 3. 6 Ukuran Papan Kalibrasi Baja (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024) .....                                                                                                | 42 |
| Gambar 3. 7 Ukuran Dimensi Papan Kalibrasi Baja (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024) .....                                                                                        | 43 |
| Gambar 3. 8 Pemasangan Kamera IMX 477 (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024) .....                                                                                                  | 44 |
| Gambar 3. 9 Pemasangan Kamera <i>Raspberry Pi</i> IMX 477 (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024).....                                                                               | 44 |

|                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 3. 10 Pemasangan Kamera Canon DSLR 600D (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024).....                                         | 45 |
| Gambar 3. 11 Laman Resmi Raspberry Pi (Sumber: <a href="https://www.raspberrypi.com">https://www.raspberrypi.com</a> ) .....   | 45 |
| Gambar 3. 12 Installasi OS (Sumber: <a href="https://www.raspberrypi.com">https://www.raspberrypi.com</a> ) .....              | 46 |
| Gambar 3. 13 intalasi OS rasberry pi 4B (Sumber: <a href="https://www.raspberrypi.com">https://www.raspberrypi.com</a> ) ..... | 46 |
| Gambar 3. 14 intalasi OS rasberry pi 4B (Sumber: <a href="https://www.raspberrypi.com">https://www.raspberrypi.com</a> ) ..... | 47 |
| Gambar 3. 15 tampilan awal <i>interface</i> rasbian (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024) .....                                   | 47 |
| Gambar 3. 16 Persiapan Kamera (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024).....                                                          | 48 |
| Gambar 3. 17 Memastikan Ke 4 Kamera Lurus Ke Objek (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024).....                                     | 48 |
| Gambar 3. 18 Pemasangan Kamera Stereo (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024) .....                                                 | 49 |
| Gambar 3. 19 Pemasangan Kabel ke Raspberry Pi (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024) .....                                         | 49 |
| Gambar 3. 20 Kabel dan Tombol <i>Power</i> (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024)..                                                | 50 |
| Gambar 3. 21 Perbaharuan Sistem <i>Raspbarry Pi</i> (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024) .....                                   | 50 |
| Gambar 3. 22 <i>Installasi Paython dan Library</i> (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024) .....                                    | 50 |
| Gambar 3. 23 <i>Installasi Picamera2</i> (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024) .....                                              | 51 |
| Gambar 3. 24 Aktifasi SSH (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024).....                                                              | 51 |
| Gambar 3. 25 Instalasi <i>Ansible</i> (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024) .....                                                 | 52 |
| Gambar 3. 26 Buat <i>file inventory</i> (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024).....                                                | 52 |
| Gambar 3. 27 Buat <i>File Host</i> (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024) .....                                                    | 53 |
| Gambar 3. 28 Menambahkan Alamat IP (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024) .....                                                    | 53 |
| Gambar 3. 29 Menguji Koneksik <i>Ansible</i> (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024) .....                                          | 54 |

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 3. 30 <i>Ansible</i> Telah Memverifikasi Koneksi (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024) .....                  | 54 |
| Gambar 3. 31 4 Kamera sudah Memotret Secara Bersamaan (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024).....                     | 55 |
| Gambar 3. 32 Hasil Gambar Kamera Kiri 1 (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024) .....                                  | 55 |
| Gambar 3. 33 Hasil Gambar Kamera Kanan 2 (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024) .....                                 | 56 |
| Gambar 3. 34 Hasil Gambar Kamera Kiri 3 (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024) .....                                  | 56 |
| Gambar 3. 35 Hasil Gambar Kamera Kanan 4 (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024) .....                                 | 56 |
| Gambar 3. 36 Instalasi Sistem Mikro Raspberry p Pi Modul 5B (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024).....               | 57 |
| Gambar 3. 37 Install <i>Software</i> (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024).....                                      | 57 |
| Gambar 3. 38 Memasukan <i>Pasword</i> (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024) .....                                    | 58 |
| Gambar 3. 39 Reboot Untuk Menerapkan Perubahan (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024).....                            | 58 |
| Gambar 3. 40 <i>Sudo Apt Get Update</i> (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024).....                                   | 59 |
| Gambar 3. 41 Persiapan Kamera (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024).....                                             | 59 |
| Gambar 3. 42 Menyambungkan Raspbarry Pi (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024) .....                                  | 60 |
| Gambar 3. 43 Instalasi Python, <i>openCv</i> dan <i>Gphoto2</i> (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024).....           | 60 |
| Gambar 3. 44 <i>Virtual Environment</i> (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024) .....                                  | 61 |
| Gambar 3. 45 Mengaktifkan Printah Penyimpanan (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024) .....                            | 61 |
| Gambar 3. 46 Menulis <i>Source Code</i> Menggunakan <i>Software Geany</i> (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024)..... | 62 |
| Gambar 3. 47 Aktivasi <i>Virtual Stroge</i> (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024) .....                              | 62 |
| Gambar 3. 48 Skrip Mentriger Kamera (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024) ...                                        | 63 |

|                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 3. 49 Fokus Kamera Secara <i>Real Time</i> (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024) .....                                                        | 63 |
| Gambar 3. 50 Hasil Gambar Dari Kamera Kiri (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2024) .....                                                               | 64 |
| Gambar 3. 51 Hasil Gambar Dari Kamera Kanan (Dokumentasi: Pribadi 2024)                                                                           | 64 |
| Gambar 3. 52 Input Gambar Kiri dan Kanan Pada Aplikasi (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2025).....                                                    | 65 |
| Gambar 3. 53 Deteksi Sudut Papan Catur (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2025)                                                                         | 66 |
| Gambar 3. 54 Kalibrasi Tunggal <i>Single Calibration</i> (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2025) .....                                                 | 66 |
| Gambar 3. 55 Stereo Kalibration (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2025) .....                                                                          | 67 |
| Gambar 3. 56 Export Parameters (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2025) .....                                                                           | 69 |
| Gambar 3. 57 Hasil Parameters Yang Sudah Eksport (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2025) .....                                                         | 70 |
| Gambar 4. 1 Deteksi Sudut Pada Citra dari Kamera 1 dan 2 Raspberry Pi IMX477 Menggunakan Papan Catur 6x4 (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2025) ..... | 72 |
| Gambar 4. 2 Deteksi Sudut Pada Citra dari Kamera 3 dan 4 Raspberry Pi IMX477 Menggunakan Papan Catur 6x4 (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2025) ..... | 72 |
| Gambar 4. 3 Deteksi Sudut Pada Citra Dari Kamera Canon DSLR 600D Menggunakan Papan Catur 6x4 (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2025) .....             | 72 |
| Gambar 4. 4 Papan <i>Chessboard</i> 6x4 (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025) .....                                                                 | 74 |
| Gambar 4. 5 Antarmuka aplikasi hasil kalibrasi mono kamera 1 kiri dan kamera 2 kanan (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2025) .....                     | 74 |
| Gambar 4. 6 Parameter Mono Kalibrasi (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2025) ..                                                                        | 75 |
| Gambar 4. 7 Antarmuka aplikasi hasil kalibrasi mono kamera 3 kiri dan kamera 4 kanan (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2025) .....                     | 77 |
| Gambar 4. 8 Parameter Mono Kalibrasi (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2025) ..                                                                        | 78 |
| Gambar 4. 9 Gambar 4. 10 <i>Papan Chessboard</i> 6x4 (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025) .....                                                    | 81 |
| Gambar 4. 11 Parameter Mono Kalibrasi (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2025)                                                                          | 81 |
| Gambar 4. 12 Hasil Stereo Kalibration Kamera Kiri 1 dan Kamera Kanan 2 (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2025).....                                    | 85 |

|                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 4. 13 Hasil Kalibrasi Stereo (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2025) .....                                      | 85  |
| Gambar 4. 14 Hasil Stereo Kalibration Kamera Kiri 3 dan Kamera Kanan 4<br>(Sumber: Dokumentasi Pribadi 2025)..... | 88  |
| Gambar 4. 15 Parameter Hasil Kalibrasi Stereo (Sumber: Dokumentasi Pribadi<br>2025) .....                         | 89  |
| Gambar 4. 16 Hasil Kalibrasi Stereo (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2025) .....                                      | 92  |
| Gambar 4. 17 Hasil Parameter Kalibrasi Stereo (Sumber: Dokemtasi Pribadi 2025)<br>.....                           | 93  |
| Gambar 4. 18 RMSE Kamera Raspbary Pi IMX 477 Kamera Kiri 1 (Sumber:<br>Dokumentasi pribadi 2025).....             | 97  |
| Gambar 4. 19 RMSE Kamera Raspbary Pi IMX 477 Kamera 2 (Sumber:<br>Dokumentasi Pribadi 2025).....                  | 97  |
| Gambar 4. 20 RMSE Kamera Raspbary Pi IMX 477 Kamera 3 (Sumber:<br>Dokumentasi Pribadi 2025).....                  | 98  |
| Gambar 4. 21 RMSE Kamera Raspbary Pi IMX 477 Kamera 4 (Sumber:<br>Dokumentasi Pribadi 2025).....                  | 99  |
| Gambar 4. 22 RMSE Kamera Kiri 1 Canon DSLR 600D (Sumber: Dokumentasi<br>Pribadi 2025).....                        | 100 |
| Gambar 4. 23 RMSE Kamera Kanan 2 Canon DSLR 600D (Sumber: Dokumentasi<br>Pribadi 2025).....                       | 101 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabel 3. 1 Perangkat Keras( <i>hardware</i> ).....                                       | 34  |
| Tabel 3. 2 Perangkat Lunak ( <i>Software</i> ).....                                      | 37  |
| Tabel 4. 1 Mono Kalibrasi Kamera 3 dan 4 .....                                           | 78  |
| Tabel 4. 2 Mono Kalibrasi Kamera Kanon 1 dan 2.....                                      | 82  |
| Tabel 4. 3 Parameter Kalibrasi Stereo Kamera Kiri 1 dan Kanan 2.....                     | 86  |
| Tabel 4. 4 Parameter Kalibrasi Stereo Kamera Kiri 1 dan Kanan 2.....                     | 90  |
| Tabel 4. 5 Parameter Kamera Canon DSLR 600D .....                                        | 93  |
| Tabel 4. 6 Tabel Perbandingan Kamera Canon DSLR dan Kamera Raspbarry Pi<br>IMX 477 ..... | 102 |