

SKRIPSI
ANALISIS KETELITIAN TRIANGULASI KAMERA STEREO IMX 477R
(Studi Kasus: Kota Malang, Jawa Timur)



Disusun Oleh:
LUDGERUS MARIO BAJU
NIM. 1925028

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

2025

LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISIS KETELITIAN TRIANGULASI KAMERA STEREO IMX 477R
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:

Ludgerus Mario Baju

1925028

**Menyetujui,
Dosen Pembimbing I**


Martinus Edwin Tjahjadi, ST, MT, Ph.D
NIP.P. 1034500516

**Menyetujui,
Dosen Pembimbing II**


Fransisca Dwi Agustina, S.T., M.Eng
NIP.P. 1012000582

**Menyetujui,
Ketua Program Studi Teknik Geodesi S-1**



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



PT. IAIN (PETERSEKHO) MALANG
(BANK NAGA 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 Karangrejo, Km 2 Telp. (0341) 417636 Fax. (0341) 417634 Malang

BERITA ACARA UJIAN SEMINAR HASIL SKRIPSI FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

Nama :Ludgerus Mario Baju

Nim :1925028

Jurusan :Teknik Geodesi S-I

Judul : ANALISIS KETELITIAN TRIANGULASI KAMERA STEREO IMX 477R

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

Hery Purwanto, S.T., M.Sc

NIP.Y. 1030000345

Dosen Penguji I

Silvester Sari Sai, S.T.,M.T

NIP.P. 1030600413

Dosen Pendamping

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

NIP.P. 1012000582

Dosen Penguji II

Alifah Norani, S.T.,M.T

NIP.P. 1031500478

ANALISIS KETELITIAN TRIANGULASI KAMERA STEREO IMX 477R

Ludgerus Mario Baju (19.25.028)

M. Edwin Tjahjadi, S.T., M.Geo.Sc., Ph.D.

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

ABSTRAK

Penggunaan sistem penglihatan stereo (stereo vision) merupakan salah satu metode penting dalam rekonstruksi objek tiga dimensi (3D) melalui prinsip triangulasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tingkat ketelitian hasil triangulasi yang diperoleh dari kamera stereo IMX477R setelah dilakukan proses kalibrasi menggunakan metode Zhang. Proses kalibrasi dilakukan untuk menentukan parameter intrinsik dan ekstrinsik kamera, yang berperan dalam menentukan akurasi perhitungan koordinat ruang 3D. Akuisisi data dilakukan menggunakan dua kamera Raspberry Pi IMX477R yang dikonfigurasi dalam sistem stereo dengan papan kalibrasi checkerboard sebagai acuan geometrik. Proses penelitian meliputi deteksi sudut pada papan kalibrasi, kalibrasi mono dan stereo, rektifikasi citra, serta perhitungan koordinat 3D melalui metode triangulasi. Akurasi hasil pengukuran dianalisis menggunakan metode *Root Mean Square Error* (RMSE) untuk menilai penyimpangan antara hasil estimasi dan posisi sebenarnya objek. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem kamera stereo IMX477R menghasilkan ketelitian triangulasi yang baik dengan nilai RMSE sebesar 0,842 mm pada sumbu X, 0,915 mm pada sumbu Y, dan 0,788 mm pada sumbu Z, dengan nilai rata-rata keseluruhan 0,848 mm. Nilai tersebut menunjukkan bahwa metode Zhang mampu mengoreksi distorsi lensa serta meningkatkan konsistensi geometrik antara dua citra stereo. Penelitian ini membuktikan bahwa sistem stereo berbasis Raspberry Pi dan kamera IMX477R berpotensi diterapkan untuk aplikasi fotogrametri, pengukuran deformasi, dan analisis objek 3D berbiaya rendah dengan tingkat akurasi tinggi.

Kata kunci: Kalibrasi kamera, metode Zhang, stereo vision, triangulasi, IMX477R, RMSE

ACCURACY ANALYSIS OF TRIANGULATION USING IMX477R STEREO CAMERA

Ludgerus Mario Baju (19.25.028)

M. Edwin Tjahjadi, S.T., M.Geo.Sc., Ph.D.

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

ABSTRACT

The use of stereo vision systems is one of the key methods for reconstructing three-dimensional (3D) objects based on the principle of triangulation. This study aims to analyze the accuracy of triangulation results obtained from IMX477R stereo cameras after performing calibration using the Zhang method. The calibration process was conducted to determine the intrinsic and extrinsic parameters of the cameras, which play a crucial role in achieving accurate 3D coordinate calculations. Data acquisition was carried out using two Raspberry Pi IMX477R cameras configured in a stereo system with a checkerboard calibration board as a geometric reference. The research procedure included corner detection on the calibration board, mono and stereo calibration, image rectification, and 3D coordinate computation through the triangulation method. Measurement accuracy was evaluated using the Root Mean Square Error (RMSE) to assess the deviation between the estimated and actual object positions. The results showed that the IMX477R stereo camera system produced high triangulation accuracy with RMSE values of 0.842 mm on the X-axis, 0.915 mm on the Y-axis, and 0.788 mm on the Z-axis, with an overall average of 0.848 mm. These findings indicate that the Zhang calibration method effectively corrects lens distortion and enhances geometric consistency between stereo image pairs. This research demonstrates that a Raspberry Pi-based stereo system using IMX477R cameras has strong potential for low-cost photogrammetry, deformation measurement, and 3D object analysis applications with high accuracy.

Keywords: Camera calibration, Zhang method, stereo vision, triangulation, IMX477R, RMSE

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ludgerus Mario Baju

Nim : 1925028

Program Studi : Teknik Geodesi

Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan

Menyatakan yang sesungguhnya bahwa skripsi saya yang berjudul:

ANALISIS KETELITIAN TRIANGULASI KAMERA STEREO IMX 477R

Adalah hasil karya saya sendiri dan bukan menjiplak atau mendplikat serta tidak mengutip atau menyadur dari hasil karya orang lain kecuali di sebutkan sumbernya.

Malang, 09 Agustus 2025

Yang membuat pernyataan



Ludgerus Mario Baju
19.25.028

LEMBAR PERSEMBAHAN

Terimakasih Tuhan Yesus dan Bunda Maria, yang sudah mendengarkan dan mengabulkan Doa dan permohonan saya, terimakasih untuk diri saya sendiri karena sudah kuat dalam menerima berkat yang Tuhan berikan.

Bapa Adrianus Nani dan mama Yohana Ndara

Terimakasih atas perjuangan dan kerja kerasnya serta Doa dan dukungan yang tidak pernah putus untuk saya dalam membantu saya untuk menyelesaikan pendidikan sampai saya menjadi seorang sarjana.

Adik Engki, Ertus, Pet dan Reisa

Terimakasih atas Doa dan dukungan untuk saya khususnya Adik Engki yang juga memberikan saya bantuan di saat saya kehabisan uang makan hehehe.

Pasangan hidup saya Maria Fantiana Rupa

Terimakasih atas Doa dan dukungannya sayangku Maria Fantiana Rupa, yang selalu ada dan menemani di saat saya butuh tempat untuk bercerita terimakasih banyak sayangku.

Kering Airluda Team

Terimakasih sudah menjadi teman yang seperti saudara kandung, terimakasih atas Doa dan dukungan kalian, kalian semua terbaik saudaraku.

Karlos dan Janu

Terimakasih sudah sama-sama berusaha dalam menyusun tugas akhir terimakasih sudah jatuh bangun sama-sama, selalu suport satu sama lain terimakasih banyak saudaraku

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat, karunia, dan bimbingan-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul **“ANALISIS KETELITIAN TRIANGULASI KAMERA STEREO IMX 477R”** dengan baik. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, saya menyadari bahwa tidak akan dapat terselesaikan dengan baik tanpa bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, saya ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan Yesus dan Bunda Maria, atas penyertaan dan perlindungan kepada saya dari awal perkuliahan hingga akhir penulisan Skripsi ini.
2. Orang tua yang telah memberikan doa dan dukungan dari awal perkuliahan hingga akhir penulisan skripsi, Terimakasih juga untuk keluarga Aekoro dan Padharama yang sudah mendukung dan Doa untuk penulis.
3. Bapak Martinus Edwin Tjahjadi, ST, MT, Ph.D, selaku Dosen Pembimbing I yang dengan penuh kesabaran telah memberikan arahan, bimbingan, serta motivasi dalam setiap tahapan penyusunan skripsi ini.
4. Ibu Fransisca Dwi Agustina, S.T., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing II, yang dengan teliti memberikan masukan berharga terutama dalam hal perbaikan sistematika penulisan sehingga skripsi ini dapat tersusun dengan lebih baik.
5. Bapak Ibu Dosen di Program Studi Teknik Geodesi ITN Malang yang telah memberikan ilmu pengetahuan, pengalaman, serta wawasan yang sangat bermanfaat selama masa perkuliahan.
6. Teman-teman seperjuangan di Program Studi Teknik Geodesi ITN Malang khususnya angkatan 2019, terima kasih yang tulus dan senantiasa memberikan dukungan, semangat, dan kebersamaan selama proses perkuliahan hingga penyusunan

skripsi ini. Kebersamaan, kerja sama, dan doa dari teman-teman menjadi motivasi berharga bagi saya untuk tetap berjuang hingga terselesaikannya tugas akhir ini.

Malang, 10 Agustus 2025

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN	i
BERITA ACARA UJIAN SEMINAR HASIL SKRIPSI FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	v
LEMBAR PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 Kamera.....	5
2.2 <i>Raspberry Pi</i>	5
2.3 Kamera Stereo.....	7
2.3 Kalibrasi Kamera Metode Zhang.....	9
2.4 Metode Zhang.....	15
2.5 <i>Open Cv</i>	19
2.6 Geometri Epipolar dan Rektifikasi kamera <i>stereo image</i>	20
2.6.1 Geometri Epipolar	20
2.6.2 <i>Paralaks</i> dan <i>Disparitas</i>	22

2.6 Rektifikasi <i>Stereo</i>	23
2.7 <i>Triangulasi Stereo</i>	27
2.7.1 Algoritma <i>Triangulasi</i>	28
2.8 <i>RMSE (Root Mean Square Error)</i>	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	32
3.1 Objek Penelitian.....	32
3.1.1 Spesifikasi Papan Kalibrasi.....	32
3.1.2 Spesifikasi Kamera	32
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	33
3.2.1 Alat	33
3.3 Diagram Alir.....	35
3.4 Persiapan Kamera Stereo.....	37
3.4.1 Persiapan Papan kalibrasi.....	37
3.4.2 Akuisisi Data Foto Stereo	38
3.4.3 Konfigurasi awal	43
3.4.4 <i>Instalasi Ansible</i> di <i>Raspberry Pi</i> Master	46
3.5 Pengambilan gambar papan <i>chessboard</i>	48
3.5.1 Pengolahan Data citra/foto Papan Planar	49
3.6 Pengolahan <i>Triangulasi/intersections</i>	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	53
4.1 Deskripsi Data Penelitian	53
4.2 Hasil Deteksi Sudut Papan Kalibrasi.....	54
4.3 Hasil Mono Kalibrasi.....	54
4.3.1 Mono Kalibrasi Kamera IMX 477R.....	55
4.3.2 Hasil Kalibrasi Stereo Kamera <i>Raspbarry Pi</i> IMX 477R.....	57
4.4 Analisis <i>Intersection Stereo</i> Kalibrasi.....	59
4.5 Pembahasan.....	62
BAB V KEIMPULAN DAN SARAN	63

5.1	Kesimpulan	63
5.2	Saran	63
	DAFTAR PUSTAKA.....	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Raspberry Pi	5
Gambar 2. 2 Penerapan kamera yang sejajar (a) dan penerapan kamera dengan kesalahan posisi vertical.....	8
Gambar 2. 3 Geometri pengukuran dua kamera.....	8
Gambar 2. 4 Contoh Checkerboard.....	14
Gambar 2. 5 Epipolar Geometry	21
Gambar 2. 6 Rektifikasi	24
Gambar 3. 1 Papan Kalibrasi (Checkerboard), Dokumentasi pribadi 2024.....	32
Gambar 3. 2 Diagram Alir.....	35
Gambar 3. 3 persiapan Kamera Stereon (Sumber: Dokumentasi Pribadi,2025)...	37
Gambar 3. 4 Pembuatan chessboard (Sumber: Dokumentasi Pribadi 2025)	38
Gambar 3. 5 Pemasangan kabel FFC ke Kamera (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025).....	39
Gambar 3. 6 Pemasangan kamera ke CSI Raspi (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025)	40
Gambar 3. 7 Pemasangan kamera pada tripod (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025)	41
Gambar 3. 8 Pemasangan lensa pada kamera (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025)	42
Gambar 3. 9 Menghubungkan Raspi ke Hub router (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025).....	42
Gambar 3. 10 Power raspberry pi, (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025)	43
Gambar 3. 11 Perbarui sistem raspberry pi (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025)	44
Gambar 3. 12 instal phyton dan perangkat pendukung, Dokumentasi Pribadi 2025	44
Gambar 3. 13 Instal library picamera2 (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025)....	45
Gambar 3. 14 Aktifkan SSH dan kamera interface (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025)	45
Gambar 3. 15 Cek IP addres (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025)	46
Gambar 3. 16 Instalasi Ansible (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025)	46

Gambar 3. 17 Buat file inventory (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025).....	46
Gambar 3. 18 Buat file hosts (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025).....	47
Gambar 3. 19 Memasukan IP addres (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025)	47
Gambar 3. 20 Pengujian koneksi Ansible (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025)47	
Gambar 3. 21 hasil koneksi Ansible (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025).....	48
Gambar 3. 22 Perintah pemotretan (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025)	48
Gambar 3. 23 Proses pemotretan (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025)	49
Gambar 3. 24 Hasil pemotretan papan chessboard (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025)	49
Gambar 3. 25 Tampilan antarmuka Visual Studio Code (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025).....	50
Gambar 3. 26 Proses Deteksi Sudut (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025).....	50
Gambar 3. 27 Proses Single Calibration (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025) .	51
Gambar 3. 28 Proses Stereo Calibration (Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025) .	51