

SKRIPSI

TEKNIK KALIBRASI KAMERA IP STEREO DENGAN PAPAN KALIBRASI 2D PADA WAHANA TERAPUNG

(Studi Kasus : Pantai Sendang Biru)



Di Susun Oleh :

**W A N D I
0925903**

**JURUSAN TEKNIK GEODESI DAN GEOINFORMATIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL**

MALANG

2012

REPORT
OF THE
COMMISSIONER OF THE BUREAU OF
LABOR AND INDUSTRY
ON THE
PROGRESS OF THE BUREAU DURING THE YEAR 1914

REPORT
OF THE
COMMISSIONER OF THE BUREAU OF
LABOR AND INDUSTRY

Submitted to the Senate and House of Representatives
of the United States in compliance with the
act of March 3, 1907, and the act of March 3, 1909

1915

LEMBAR PERSETUJUAN

KALIBRASI KAMERA IP STEREO DENGAN PAPAN KALIBRASI 2D PADA WAHANA TERAPUNG (Studi Kasus : Pantai Sendang Biru)

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan dalam mencapai
Gelara Sarjana (ST) Strata Satu (S-1) Teknik Geodesi S-1
Institut Teknologi Nasional Malang

Oleh :

W A N D I
0925903



Meyetujui :

Dosen Pembimbing I

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Edwin".

Dr. Edwin Tjahjadi, ST. M.Geom.Sc

Dosen Pembimbing II

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Leo Pantimena".

(Ir. Leo Pantimena, MSc)

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Geodesi S-1



A handwritten signature in black ink, appearing to read "Agus Darpono".

(Ir. Agus Darpono, MT)



PERKUMPULAN PENGELOLAAN PENDIDIKAN UMUM DAN TEKNOLOGI NASIONAL MALANG
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL MALANG

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

NI (PERSERO) MALANG
ANK NIAGA MALANG

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

LEMBAR PENGESAHAN

SKRIPSI

TEKNIK KALIBRASI KAMERA IP STEREO DENGAN PAPAN KALIBRASI 2D
PADA WAHANA TERAPUNG

(Studi Kasus : Pantai Sendang Biru)

Telah Dipertahankan di Hadapan Panitia Penguji Skripsi Jenjang Strata - 1

(S-1)

Pada Hari : Juma'at

Tanggal : 24 Februari 2012

Dan diterima untuk memenuhi persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana
Teknik (ST)

Oleh :

W A N D I

0925903

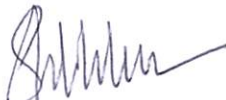
Panitia Ujian Skripsi

Ketua


(Ir. Agus Darpono, MT)



Sekretaris


(Silvester Sare Sai, ST., MT)

Anggota Penguji


Penguji I


(Ir. Agus Darpono, MT)

Penguji II


(M. Edwin Tjahjadi, ST., M.Geo.Sc., Ph.D.)

Penguji III


(Ir. M Nurhadi, MT)

TEKNIK KALIBRASI KAMERA IP STEREO DENGAN PAPAN KALIBRASI 2D PADA WAHANA TERAPUNG

Wandi 0925903

Dosen Pembimbing I : Dr. Edwin Tjahjadi, ST., MGeomSc., PhD.

Dosen Pembimbing II : Ir. Leo Pantimena, MSc

Abstraksi

Kamera IP adalah Kamera pengintai yang menggunakan jaringan TCP/IP network. Kamera ini memiliki slot untuk RJ-45 ethernet, dimana apabila terhubung ke jaringan akan mendapatkan IP address sendiri, yang mana kita dapat mengakses untuk melihat kamera tersebut dari komputer-komputer yang terhubung ke jaringan.

Dengan melakukan proses kalibrasi maka kamera IP yang mulanya sebagai kamera pengintai biasa dapat digunakan untuk pemetan dalam fotogrametri.

Kalibrasi kamera dilakukan untuk menentukan parameter orientasi dalam dan orientasi luar. Dimana orientasi dalam terdiri dari: distorsi, meliputi distorsi radial (k_1, k_2, k_3), distorsi tangensial (p_1, p_2) dan distorsi affinity (b_1, b_2), serta parameter-parameter lensa lainnya, termasuk juga principal distance (f), serta titik pusat fidusial foto. Sedangkan orientasi luar terdiri dari, ω , ϕ , κ , X_L dan Y_L . Proses kalibrasi ini dilakukan dengan menggunakan metode laboratory calibration, sehingga menggunakan papan/plat kalibrasi sebagai obyek.

Kata Kunci : Kamera IP, Kalibrasi kamera, Parameter Kalibrasi.

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini.

Nama : **Wandi**
NIM : **0925903**
Program Studi : **Teknik Geodesi S-1**
Fakultas : **Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi saya dengan judul :

**“ TEKNIK KALIBRASI KAMERA IP STEREO DENGAN PAPAN
KALIBRASI 2D PADA WAHANA TERAPUNG (Studi Kasus : Pantai
Sendang Biru)”**

Adalah hasil karya saya sendiri, bukan merupakan duplikat serta tidak mengutip atau menyadur dari hasil karya orang lain kecuali disebutkan sumbernya.

Malang, 25 April 2012
Yang membuat pernyataan

Wandi
0925903

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **"Kalibrasi Kamera IP Stereo Dengan Papan Kalibrasi 2D Pada Wahana Terapung (Studi Kasus : Pantai Sendang Biru"**, di mana penulisan skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Malang.

Penulisan ini tidak akan dapat terselesaikan tanpa bantuan dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, peneliti ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Agus Darpono, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional Malang dan Dosen Pembimbing I.
2. Bapak Dr. Edwin Tjahjadi, ST., MGeom.Sc. selaku Dosen Pembimbing I dan Dosen Penguji.
3. Bapak Leo Patimena, ST., M.Sc.selaku Dosen Pembimbing II dan Dosen Penguji.
4. Bapak Silvester Sari Sai, ST., MT. selaku Dosen.
5. Bapak Ir. M Nurhadi, MT. selaku Dosen Penguji.
6. Segenap dosen, staff pengajar dan rekording Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Malang.
7. Papa, Mama, adik-adikku dan seluruh keluarga besar yang selalu memberikan dukungan, semangat dan doa.
8. Cumpreng yang selalu memberi dukungan dan doa.

9. Semua pihak yang telah membantu peneliti yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan ini masih belum sempurna, baik dari segi materi, sistematika pembahasan, maupun susunan bahasanya Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan..

Malang, 25 April 2012

Penulis

DAFTAR ISI

Lembar Judul	i
Lembar Persetujuan	ii
Lembar Pengesahan	iii
Abstraksi	iv
Surat Pernyataan Keaslian Skripsi	v
Kata Pengantar	vi
Daftar Isi	viii
Daftar Gambar	xi
Daftar Tabel	xiv

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	2
1.3. Manfaat Penelitian	3
1.4. Perumusan Masalah	3
1.5. Batasan Masalah.....	3
1.6. Tinjauan Pustaka	3

BAB II DASAR TEORI

2.1 Sistem Persamaan Dalam Fotogrametri.....	4
2.1.1 Persamaan Kolinear	4
2.1.1.1 Matrik Rotasi	4
2.1.1.2 Kondisi Kolinear.....	8
2.2 Ekstraksi Data Foto.....	13

2.2.1 Konversi Koordinat Pikel Ke Foto.....	14
2.3 Kalibrasi Kamera.....	15
2.3.1 Parameter x_0 , y_0 , dan Fokus (c).....	16
2.3.2 Parameter Distorsi Radial (K_1 , K_2 , K_3).....	17
2.3.3 Parameter Distorsi Decentring (P_1 , P_2).....	19
2.3.4 Parameter Distorsi Affinity (b_1 , b_2).....	20
2.4 Relative Orientation.....	21
2.4.1 Intersection.....	25

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1.Persiapan.....	26
3.1.1. Materi Penelitian.....	26
3.1.2. Alat Penelitian.....	26
3.1.2.1. <i>Hardware</i> (Perangkat keras).....	27
3.1.2.2. <i>Software</i> (Perangkat lunak).....	30
3.1.3. Diagram alir.....	31
3.2.Pelaksanaan Penelitian.....	33
3.2.1. Pengukuran papan/plat kalibrasi.....	33
3.2.2. Pengambilan data foto papan kalibrasi.....	34
3.2.3. Ekstrak Korner.....	44
3.2.4. Konversi koordianat piksel ke foto.....	49
3.2.5. Kalibrasi kamera.....	50
3.2.5.1.Relative oreintasi.....	50
3.2.5.2.Menghitung Matrik Rotasi (R).....	52
3.2.5.3.Interior Orientasi.....	52

3.2.5.4.Exterior Orientasi	53
----------------------------------	----

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data	58
4.1.1 Data papan/plat kalibrasi.....	58
4.1.2 Data Kamera IP	60
4.1.3 Data Hasil Perhitungan	62
4.1.3.1 Konversi Koordinat Piksel.....	62
4.1.3.2 Perhitungan <i>Relative Orientation</i>	64
4.1.3.3 Perhitungan Matrik Rotasi Foto Kiri dan Kanan.....	64
4.1.3.4 Perhitungan IO (<i>interior Orientation</i>)	65
4.1.3.5 Perhitungan EO (<i>Exterior Orientation</i>).....	67
4.2 Analisis Hasil Penelitian	70
4.2.1 Analisis Hasil Untuk Panjang <i>baseline</i> 20cm.....	70
4.2.2 Analisa Hasil Untuk Panjang <i>baseline</i> 50cm.....	72
4.2.3 Analisis Hasil Untuk Panjang <i>baseline</i> 100cm.....	73
4.2.4 Back Projection Error	74

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan.....	78
5.2 Saran	79

Daftar Pustaka

Lampiran

Daftar Gambar

<i>Gambar 2.1 Rotasi sudut omega terhadap sumbu X_ω</i>	5
<i>Gambar 2.2 Rotasi sudut phi terhadap sumbu Y_ϕ</i>	6
<i>Gambar 2.3 Rotasi sudut kappa terhadap sumbu $Z_{\omega\phi\kappa}$</i>	7
<i>Gambar 2.4 Kondisi kesegarisan atau kolinear</i>	9
<i>Gambar 2.5 Sistem koordinat piksel vs sistem koordinat foto</i>	14
<i>Gambar 2.6. Geometri foto</i>	17
<i>Gambar 2.7. Distorsi Radial</i>	19
<i>Gambar 2.8 Distorsi Decentring</i>	20
<i>Gambar 2.9 Distorsi Affinity</i>	21
<i>Gambar 2.10 Ilustrasi proses intersection,</i>	23
<i>Gambar 3.1 Kamera IP (Internet Protocol) GV-BX320D 3M H.264</i>	27
<i>Gambar 3.2 Dome kamera</i>	28
<i>Gambar 3.3 HUB D-LINK 8 port</i>	28
<i>Gambar 3.4 Kabel Lan</i>	29
<i>Gambar 3.5 Inverter 700 Watt</i>	29
<i>Gambar 3.6 Papan/plat kalibrasi 2D</i>	29
<i>Gambar 3.8 Diagram Alir Penelitian</i>	32
<i>Gambar 3.9 Arah pengukuran papan kalibrasi</i>	34
<i>Gambar 3.10 Posisi kamera di kapal</i>	35
<i>Gambar 3.11 Window IP Device Setup</i>	36
<i>Gambar 3.12 Window Scan Camera</i>	36
<i>Gambar 3.13 Kamera terdeteksi</i>	36
<i>Gambar 3.14 Query pada kamera IP kiri</i>	37

<i>Gambar 3.15 IP Device Setup</i>	37
<i>Gambar 3.16 Mengubah Status Koneksi Kamera</i>	38
<i>Gambar 3.17 Memulai Monitoring Kamera</i>	38
<i>Gambar 3.18 Melihat Hasil Monitoring</i>	39
<i>Gambar 3.19 GV-NVR system untuk melihat dan menyimpan hasil monitoring</i>	39
<i>Gambar 3.20 Save Video</i>	40
<i>Gambar 3.21 Window Save as Avi</i>	40
<i>Gambar 3.22 Window Save Avi File</i>	41
<i>Gambar 3.23 Window Merging List</i>	41
<i>Gambar 3.24 Totol Video Converter</i>	42
<i>Gambar 3.25 Add Files Video</i>	42
<i>Gambar 3.26 Kotak dialog monitoring</i>	43
<i>Gambar 3.27 Window Conversion Progress</i>	43
<i>Gambar 3.28 Hasil Ekstraksi Video (*.Jpg)</i>	44
<i>Gambar 3.29 Tampilan awal program Stereo photo plate</i>	44
<i>Gambar 3.30 Kotak dialog add photo pair</i>	45
<i>Gambar 3.31 Kotak dialog add images to project</i>	45
<i>Gambar 3.32 pemberian nama pair</i>	46
<i>Gambar 3.33 Tampilan program foto stereo tiap pair</i>	46
<i>Gambar 3.34 Tampilan extract corner</i>	47
<i>Gambar 3.35 Exctract corner yang hendak diberi lebeling</i>	47
<i>Gambar 3.36 Kotak dialog edit label</i>	48
<i>Gambar 3.37 Kotak dialog set cross label</i>	48

<i>Gambar 3.38 Foto papan kalibrasi yang telah terlabel</i>	48
<i>Gambar 3.39 kotak dialog save project</i>	49
<i>Gambar 3.40 Tampilan program Relorn</i>	50
<i>Gambar 3.41 kotak dialog open data file</i>	51
<i>Gambar 3.42 Tampilan hasil dari program Relorn</i>	51
<i>Gambar 3.43 Struktur Persamaan Normal</i>	56
<i>Gambar 4.1 Papan kalibrasi</i>	58
<i>Gambar 4.2 Foto dari kamera IP kiri dan kanan, jarak antara kamera 20cm</i>	60
<i>Gambar 4.3 Foto dari kamera IP kiri dan kanan, jarak antara kamera 50cm</i>	61
<i>Gambar 4.4 Foto dari kamera IP kiri dan kanan, jarak antara kamera 100cm</i>	61
<i>Gambar 4.5 Foto dari kamera IP kiri dan kanan, jarak antara kamera 3.6 M</i>	61
<i>Gambar 4.6 jarak baseline 20cm</i>	70
<i>Gambar 4.7 jarak baseline 50cm</i>	72
<i>Gambar 4.8 jarak baseline 100cm</i>	73

Daftar Tabel

<i>Tabel 4.1. Data pengukuran jarak langsung papan kalibrasi</i>	<i>59</i>
<i>Tabel 4.2. Data koordinat papan/plat kalibrasi</i>	<i>59</i>
<i>Tabel 4.3. Parameter kamera</i>	<i>62</i>
<i>Tabel 4.4. Nilai koordinat Piksel untuk foto kiri dan kanan</i>	<i>62</i>
<i>Tabel 4.5. Nilai koordinat foto kiri dan kanan</i>	<i>63</i>
<i>Tabel 4.6. Relative orientation Pendekatan Dua Buah Foto</i>	<i>64</i>
<i>Tabel 4.7. Nilai R, S, Q. Bentuk dari matriks koefisien A1</i>	<i>67</i>
<i>Tabel 4.8. Parameter EO (Exterior Orientation) terkoreksi</i>	<i>69</i>
<i>Tabel 4.9. Parameter IO (interior orientation), baseline 20cm</i>	<i>71</i>
<i>Tabel 4.10. Parameter EO (exterior orientation), baseline 20cm</i>	<i>71</i>
<i>Tabel 4.11. Parameter IO (interior orientation) untuk baseline 50cm</i>	<i>72</i>
<i>Tabel 4.12. Parameter EO (exterior orientation), baseline 50cm</i>	<i>72</i>
<i>Tabel 4.13. Parameter IO (interior orientation) untuk baseline 50cm</i>	<i>73</i>
<i>Tabel 4.14. Parameter EO (exterior orientation) baseline 100cm</i>	<i>74</i>
<i>Tabel 4.15 Back projection error baseline 20 centimeter</i>	<i>74</i>
<i>Tabel 4.16 Back projection error baseline 100 centimeter</i>	<i>75</i>
<i>Tabel 4.17 Back projection error baseline 3.6 meter</i>	<i>76</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Secara umum, perolehan data dalam bidang fotogrametri adalah dengan menggunakan kamera baik kamera metrik atau kamera non-metrik. Penggunaan kamera ini penting untuk menghasilkan foto yang akan merekam segala informasi dan data yang dibutuhkan baik dalam bentuk analog atau digital (*Farid, 2005*).

Kamera metrik dirancang khusus untuk tujuan dan kegunaan dalam bidang fotogrametri untuk mendapatkan ketelitian dan akurasi pengukuran yang tinggi (*Farid, 2005*).

Kamera Non-metrik dirancang untuk penggunaan umum dan bukan untuk tujuan fotogrametri khususnya. Tetapi pada awal tahun 1980an proses pengambilan data untuk kerja-kerja fotogrametri jarak dekat tidak hanya bisa dilakukan dengan menggunakan kamera metrik tetapi juga bisa menggunakan kamera non-metrik (*Farid, 2005*).

Oleh karena itu perlu dilakukan kalibrasi kamera menggunakan persamaan kolinier untuk dapat menentukan besarnya penyimpangan-penyimpangan yang terjadi. Kalibrasi kamera dilakukan untuk menentukan parameter internal kamera (IO) meliputi *principal distance* (f), titik pusat fidusial foto (x_0, y_0), distorsi lensa (K_1, K_2, P_1 dan P_2), serta distorsi akibat perbedaan penyekalaan dan ketidak ortogonal antara sumbu X dan Y (b_1, b_2) (*Hanifa, 2007*).

1.2. Tujuan Penelitian

Mengkalibrasi kamera IP (*Internet Protocol*) stereo menggunakan papan kalibrasi untuk dapat menentukan besarnya penyimpangan-penyimpangan yang terjadi serta menentukan parameter internal kamera (IO) meliputi *principal distance* (f), titik pusat fidusial foto (x_0, y_0), distorsi lensa (k_1, k_2, p_1 dan p_2), serta distorsi akibat perbedaan penyekalaan dan ketidakortogonal antara sumbu X dan Y (b_1, b_2).

1.3. Manfaat Penelitian

Memungkinkan dilakukan koreksi distorsi pada kedua kamera IP sehingga diperoleh ketelitian yang baik untuk digunakan sebagai kamera terrestrial untuk pemetaan dengan *close range photogrammetry*.

1.4. Perumusan Masalah

Dengan diketahui distorsi kamera IP (*Internet Protocol*) maka diharapkan dapat memperbaiki letak atau posisi gambar sehingga didapat hasil pengukuran koordinat *object space* seakurat mungkin.

1.5. Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan masalah yang akan dibahas yaitu antara lain:

- a. Kamera yang digunakan adalah kamera non metrik yang terdiri dari dua buah kamera IP (*Internet Protocol*) dengan merek dan tipe yang sama.
- b. Mencari parameter kalibrasi (k_1, k_2, p_1, p_2, b_1 dan b_2) untuk dua buah kamera IP stereo dengan menggunakan persamaan kolinearitas.
- c. Mencari parameter EO ($X_L^0, Y_L^0, Z_L^0, \omega^0, \phi^0, \kappa^0$) untuk dua buah kamera IP stereo dengan menggunakan persamaan kolinearitas.

1.6. Tinjauan Pustaka

Kalibrasi kamera dapat dilakukan dengan berbagai metode. Secara umum kalibrasi kamera biasa dilakukan dengan tiga metode, yaitu *laboratory calibration*, *on-the-job calibration* dan *self-calibration* (Atkinson, 1999). Metode lain yang dapat digunakan antara lain *analytical plumb-line calibration* dan *stellar calibration* (Fryer, 1989). *Laboratory calibration* dilakukan di laboratorium, terpisah dengan proses pemotretan objek. Metode yang termasuk di dalamnya antara lain *optical laboratory* dan *test range calibration*. Secara umum metode ini sesuai untuk kamera jenis metrik. *On-the-job calibration* merupakan teknik penentuan parameter kalibrasi lensa dan kamera dilakukan bersamaan dengan pelaksanaan pemotretan objek. Pada *self-calibration* pengukuran titik-titik target pada objek pengamatan digunakan sebagai data untuk penentuan titik objek sekaligus untuk menentukan parameter kalibrasi kamera (Hanifa, 2007).

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Sistem Persamaan Dalam Fotogrametri

Dalam fotogrametri, posisi dari sebuah objek pada ruang didefinisikan pada sistem koordinat kartesian 3D. Pada awalnya, objek terdefinisi pada sistem koordinat berkas. Kemudian dilakukan transformasi koordinat untuk mendapatkan koordinat objek pada sistem koordinat tanah. Antara kedua sistem koordinat itu terdapat perbedaan orientasi dan skala, sehingga transformasi koordinat terdiri dari translasi, rotasi dan perubahan skala (Hanifa, 2007).

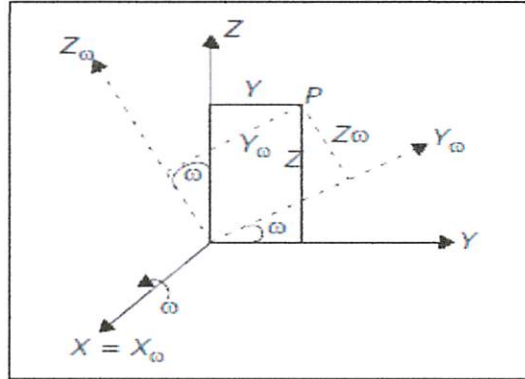
2.1.1 Persamaan Kolinear

Hubungan matematis antara titik konjugasi pada objek dengan titik konjugasi pada foto yang dijelaskan dengan transformasi projektif tiga dimensi disebut dengan persamaan kolinear. Disebut kolinear karena persamaan tersebut menunjukkan hubungan geometrik yang ideal antara sebuah titik objek, fotonya, dengan pusat perspektif (*perspective cente*). (Hanifa, 2007)

2.1.1.1 Matrik Rotasi

Rotasi matrik terdiri dari tiga parameter rotasi yaitu, *omega* (ω), *phi* (ϕ), dan *kappa* (κ). Dimana arah perputaran sumbu rotasi omega, phi dan kappa beserta sistem kaedah dan persamaannya (Geosystem, 2006), dapat ditunjukkan pada gambar berikut:

1. Rotasi pertama yaitu *omega* (ω) dilakukan terhadap sumbu X_ω , dengan menggunakan sistem kaedah tangan kanan perputaran bernilai positif jika berlawanan arah jarum jam, seperti Gambar (2.1) (*Geosystem, 2006*):

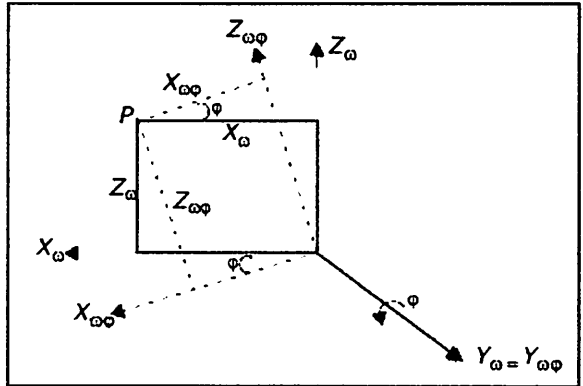


Gambar 2.1 Rotasi sudut omega terhadap sumbu X_ω ,
Geosystem, (2006)

Dari Gambar (2.1) sistem rotasi ($X_\omega, Y_\omega, Z_\omega$) dapat diperoleh persamaan vektornya $[X_\omega Y_\omega Z_\omega]^T = R_\omega [X Y Z]^T$, dimana (*Cooper dan Robson, 2001*) :

$$R_\omega = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & \sin \omega \\ 0 & -\sin \omega & \cos \omega \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.1)$$

2. Rotasi kedua yaitu rotasi phi (ϕ) dilakukan terhadap sumbu Y_ϕ , dengan sistem kaedah tangan kanan perputaran bernilai positif jika berlawanan arah jarum jam seperti Gambar (2.2) (*Geosystem, 2006*).



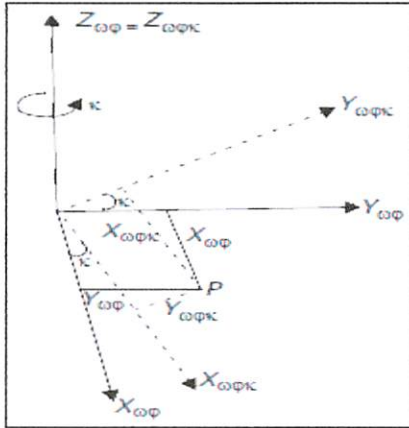
Gambar 2.2 Rotasi sudut phi terhadap sumbu Y_φ ,

Geosystem (2006)

Dari Gambar (2.2) sistem rotasi $(X_{\omega\varphi}, Y_{\omega\varphi}, Z_{\omega\varphi})$ dapat diperoleh vektornya $[X_{\omega\varphi} \ Y_{\omega\varphi} \ Z_{\omega\varphi}]^T = R_\varphi [XYZ]^T$, dalam hal ini (*Cooper dan Robson, 2001*) :

$$R_\varphi = \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 & -\sin \varphi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \varphi & 0 & \cos \varphi \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.2)$$

3. Rotasi ketiga yaitu rotasi kappa (κ) dilakukan terhadap sumbu $Z_{\omega\varphi}$, dengan sistem kaedah tangan kanan perputaran bernilai positif jika berlawanan arah jarum jam seperti gambar dibawah ini (*Geosystem, 2006*).



Gambar 2.3 Rotasi sudut kappa terhadap sumbu $Z_{\omega\phi\kappa}$,
Geosystem (2006).

Dari Gambar (2.3) sistem rotasi ($X_{\omega\phi\kappa}, Y_{\omega\phi\kappa}, Z_{\omega\phi\kappa}$) dapat

diperoleh persamaan $[X_{\omega\phi\kappa} \ Y_{\omega\phi\kappa} \ Z_{\omega\phi\kappa}]^T = R_{\kappa} [X \ Y \ Z]^T$

dimana (*Cooper dan Robson, 2001*) :

$$R_{\kappa} = \begin{bmatrix} \cos \kappa & \sin \kappa & 0 \\ -\sin \kappa & \cos \kappa & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan menggabungkan Persamaan (2.1, 2.2, 2.3) maka akan diperoleh persamaannya sebagai berikut (*Mikhail et al., 2001*):

$$R = R_{\kappa} \times R_{\phi} \times R_{\omega} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dalam hal ini:

$R_\omega, R_\varphi, R_\kappa$: Merupakan matrik rotasi 3x3

Dengan nilai elemen masing-masing matrik sebagai berikut :

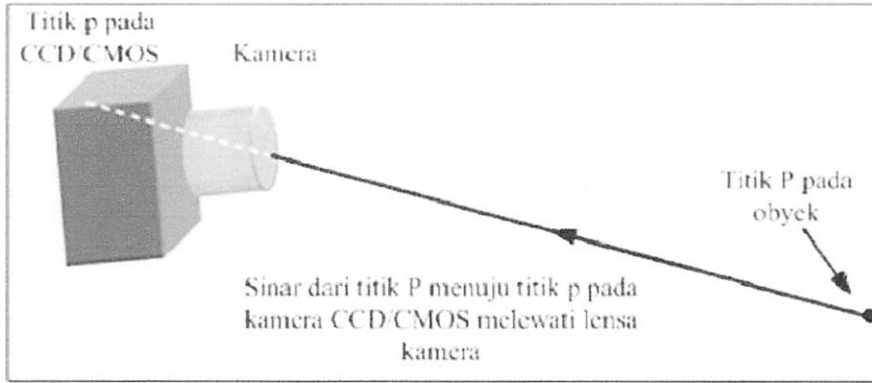
$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dalam hal ini:

$$\begin{aligned} r_{11} &= \cos \varphi \cos \kappa \\ r_{12} &= \sin \omega \sin \varphi \cos \kappa + \cos \omega \sin \kappa \\ r_{13} &= -\cos \omega \sin \varphi \cos \kappa + \sin \omega \sin \kappa \\ r_{21} &= -\cos \varphi \sin \kappa \\ r_{22} &= -\sin \omega \sin \varphi \sin \kappa + \cos \omega \cos \kappa \\ r_{23} &= \cos \omega \sin \varphi \sin \kappa + \sin \omega \cos \kappa \\ r_{31} &= \sin \varphi \\ r_{32} &= -\sin \omega \cos \kappa \\ r_{33} &= \cos \omega \cos \varphi \end{aligned}$$

2.1.1.2 Kondisi Kolinear

Kebersamaan garis (kolinear) merupakan kondisi kedudukan titik pemotretan, titik objek dan gambaran titik pada foto seluruhnya terletak pada suatu garis lurus (Fraser, 2006a; Mikhail et al., 2001; Wolf & Dewitt, 2000). Kedudukan dalam kebersamaan garis tersebut dapat dilihat pada gambar (2.4) dibawah ini.



Gambar 2.4 Kondisi kesejarisan atau kolinear (*Tanzil, 2010*)

Dua buah persamaan menyatakan kondisi kebersamaan garis bagi sembarang titik diatas foto udara, diantaranya sebuah persamaan bagi koordinat foto x dan lainnya untuk koordinat foto y . (*Geosystem, 2006*)

$$\begin{aligned}
 x_a &= x_o - c \left[\frac{r_{11}(X_A - X_L) + r_{12}(Y_A - Y_L) + r_{13}(Z_A - Z_L)}{r_{31}(X_A - X_L) + r_{32}(Y_A - Y_L) + r_{33}(Z_A - Z_L)} \right] \\
 y_a &= y_o - c \left[\frac{r_{21}(X_A - X_L) + r_{22}(Y_A - Y_L) + r_{23}(Z_A - Z_L)}{r_{31}(X_A - X_L) + r_{32}(Y_A - Y_L) + r_{33}(Z_A - Z_L)} \right] \dots\dots\dots(2.6)
 \end{aligned}$$

Dalam hal ini:

- x_0, y_0 : Koordinat foto titik a
- x_a, y_a : Koordinat foto yang diukur
- X_A, Y_A, Z_A : Koordinat *Object Space* untuk titik A
- X_L, Y_L, Z_L : Koordinat stasiun pemotretan
- c : Panjang fokus kamera
- $r_{11}, r_{12} \dots r_{33}$: 3 sudut matrik rotasi ortogonal (ω, φ, κ)

Persamaan kolinear diatas bukanlah persamaan linear, sehingga persamaan tersebut harus dilinearisasi terlebih dahulu menggunakan teorema

Taylor (Wolf, 1980). Pada persamaan diatas, apabila telah mengalami proses linearisasi akan berbentuk sebagai berikut:

$$v_x + J = b_{11} b\omega + b_{12} d\varphi + b_{13} d\kappa - b_{14} dX_L - b_{15} dY_L - b_{16} dZ_L + b_{14} dX_A + b_{15} dY_A + b_{16} dZ_A$$

$$v_y + K = b_{11} b\omega + b_{12} d\varphi + b_{13} d\kappa - b_{14} dX_L - b_{15} dY_L - b_{16} dZ_L + b_{14} dX_A + b_{15} dY_A + b_{16} dZ_A \dots\dots\dots(2.7)$$

Dalam hal ini:

v_x, v_y : Kesalahan residual dalam koordinat foto yang terukur

$d\omega, d\varphi, d\kappa$: Koreksi nilai pendekatan awal bagi parameter rotasi

dX_L, dY_L, dZ_L : Koreksi terhadap nilai awal bagi koordinat titik pemotretan.

dX_A, dY_A, dZ_A : Koreksi terhadap nilai awal bagi koordinat ruang titik objek.

Sedangkan nilai koefisien $b_{11}, b_{12}, \dots, b_{25}, b_{26}$ dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$b_{11} = \frac{f}{q^2} [r(-m_{33}\Delta Y + m_{32}\Delta Z) - q(-m_{13}\Delta Y + m_{12}\Delta Z)]$$

$$b_{12} = \frac{f}{q^2} [r(\cos \varphi \Delta X + \sin \omega \sin \varphi \Delta Y - \cos \omega \sin \varphi \Delta Z) - q(-\sin \varphi \cos \kappa \Delta X + \sin \omega \cos \varphi \cos \kappa \Delta Y - \cos \omega \cos \varphi \cos \kappa \Delta Z)]$$

$$b_{13} = \frac{-f}{q^2} (m_{21}\Delta X + m_{22}\Delta Y + m_{23}\Delta Z)$$

$$b_{14} = \frac{f}{q^2}(rm_{31} - qm_{11})$$

$$b_{15} = \frac{f}{q^2}(rm_{32} - qm_{12})$$

$$b_{16} = \frac{f}{q^2}(rm_{33} - qm_{13}) \dots\dots\dots(2.8)$$

$$b_{21} = \frac{f}{q^2}[s(-m_{33}\Delta Y + m_{32}\Delta Z) - q(-m_{23}\Delta Y + m_{22}\Delta Z)]$$

$$b_{22} = \frac{f}{q^2}[s(\cos \varphi \Delta X + \sin \omega \sin \varphi \Delta Y - \cos \omega \sin \varphi \Delta Z) - q(\sin \varphi \cos \kappa \Delta X - \sin \omega \cos \varphi \sin \kappa \Delta Y - \cos \omega \cos \varphi \sin \kappa \Delta Z)]$$

$$b_{23} = \frac{f}{q^2}(m_{11}\Delta X + m_{12}\Delta Y + m_{13}\Delta Z)$$

$$b_{24} = \frac{f}{q^2}(sm_{31} - qm_{21})$$

$$b_{25} = \frac{f}{q^2}(sm_{32} - qm_{22})$$

$$b_{26} = \frac{f}{q^2}(sm_{33} - qm_{23})$$

Dengan parameter r, s, q sebagai berikut :

$$q = m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Y_A - Y_L) + m_{33}(Z_A - Z_L)$$

$$r = m_{11}(X_A - X_L) + m_{12}(Y_A - Y_L) + m_{13}(Z_A - Z_L) \dots\dots\dots (2.9)$$

$$s = m_{21}(X_A - X_L) + m_{22}(Y_A - Y_L) + m_{23}(Z_A - Z_L)$$

Dalam hal ini:

X_A, Y_A, Z_A : Koordinat *Object Space* untuk titik A

X_L, Y_L, Z_L : Koordinat stasiun pemotretan

$m_{11}, m_{12} \dots m_{33}$: 3 sudut matrik rotasi ortogonal (ω, φ, κ)

Dan koefisien KJ, yang merupakan parameter observasi pada persamaan dan (2.10) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$J = x_a - x_o + f \frac{r}{q}$$

$$K = y_a - y_o + f \frac{s}{q} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dalam hal ini:

- x_a, y_a : Koordinat foto dari gambaran satu objek.
- x_o, y_o : Pusat sistem koordinat foto (*Principle point*).
- f : Panjang fokus kamera.
- r, s, q : Nilai dari persamaan (2.9)

Keseluruhan persamaan diatas dapat digunakan dalam persamaan iterasi untuk menentukan nilai koreksi tiap parameter pendekatan awal. Proses itersasi tersebut akan dihentikan apabila besaran nilai koreksi dapat diabaikan.

Kalibrasi dapat dilakukan dengan metode bundle adjustment berdasarkan pada persamaan *collinearity*. (Spie. 1992)

$$x = -c \frac{N_x}{D} + \Delta x$$

$$y = -c \frac{N_y}{D} + \Delta y \dots \dots \dots (2.11)$$

Dalam hal ini:

- x, y : Koordinat foto
- c : Panjang fokus

N_x, N_y, D : Pembilang dan penyebut dari persamaan kolinier

$$N_x = r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)$$

$$N_y = r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)$$

$$D = r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0) \dots\dots\dots(2.12)$$

Dalam hal ini:

X, Y, Z : Koordinat titik objek (target 1)

X_0, Y_0, Z_0 : Perspektif pusat kamera

$r_{11}, r_{12} \dots r_{33}$: 3 sudut matrik rotasi ortogonal (ω, φ, κ)

$$\Delta x = x_p + x(r^2 - 1)a_1 + x(r^4 - 1)a_2 + (r^2 - 2x^2)a_3 + 2xya_4 + xa_5 + ya_6$$

$$\Delta y = y_p + y(r^2 - 1)a_1 + y(r^4 - 1)a_2 + 2xya_3 + (r^2 - 2y^2)a_4 - ya_5$$

\dots\dots\dots(2.13)

Dalam hal ini:

x_p, y_p : Koordinat gambar titik utama

r : Jarak radial

a_1, a_2 : *Distorsi radial*

a_3, a_4 : *Distorsi Decentering*

a_5, a_6 : *Distorsi affinity*

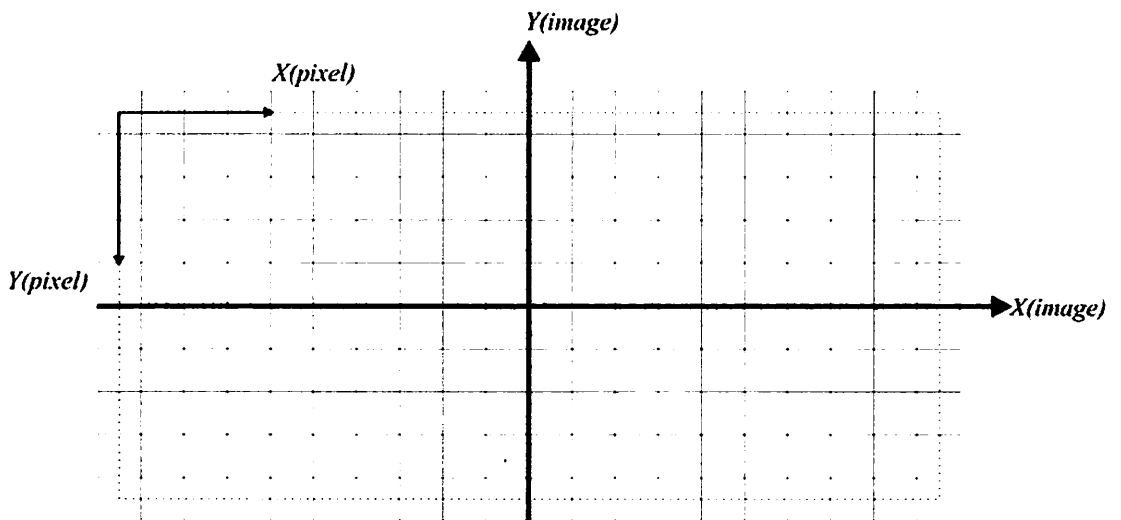
2.2 Ekstraksi Data Foto

Suatu foto dalam format digital merupakan kuantitas nilai-nilai tingkat keabuan (*greyscale*) yang ditampilkan dalam sebuah susunan matrik atau *array*, dimana nilai baris dan kolom dari matrik tersebut merupakan koordinat

piksel. Dengan kelebihan yang dimiliki oleh foto dalam format digital ini, maka dapat dengan mudah menentukan nilai suatu koordinat obyek dalam suatu sistem koordinat foto. Secara umum metode penentuan nilai koordinat obyek pada foto digital yang sering digunakan dalam proses fotogrametri (*Photometrix, 2004*), antara lain sebagai berikut:

2.2.1. Konversi Koordinat Piksel Ke Foto

Pada kamera digital sistem koordinat yang dipakai adalah sistem koordinat piksel, sedangkan dalam proses perhitungan secara analitik, sistem yang dipakai adalah sistem koordinat kartesian (*metrik*). Sehingga dalam hal ini harus dilakukan transformasi koordinat dari sistem piksel kedalam sistem kartesian foto. Adapun persamaan yang digunakan adalah (*Photometrix, 2004*).



Gambar 2.5. Sistem koordinat piksel vs sistem koordinat foto (*Photometrix, 2004*).

$$\begin{aligned}
 x &= (x' - x_c') * x_{PixelSize} \\
 y &= (y_c' - y') * y_{PixelSize} \dots\dots\dots (2.14)
 \end{aligned}$$

Dalam hal ini:

$$x_c' = \left(\frac{nx'}{2}\right) - 0,5$$

$$y_c' = \left(\frac{ny'}{2}\right) - 0,5 \dots\dots\dots (2.15)$$

Dalam hal ini:

- x, y : Koordinat foto
- x', y' : Koordinat piksel
- x_c', y_c' : *Principle point* dalam piksel
- $x_{PixelSize}, y_{PixelSize}$: Ukuran satu piksel
- nx', ny' : Resolusi dari foto dalam piksel

Dalam hal ini x, y merupakan koordinat foto dalam sistem koordinat metrik, x', y' koordinat dalam piksel, $x_c, y_c, principle point$ dalam piksel, $x_{PixelSize}, y_{PixelSize}$ ukuran satu piksel dalam metrik dan nx', ny' merupakan resolusi dari foto dalam piksel.

2.3. Kalibrasi Kamera

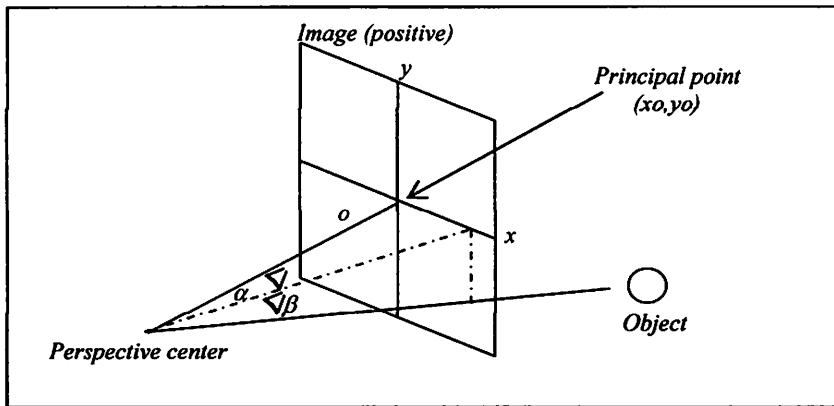
Kamera non-metrik tidak mempunyai lensa yang sempurna, sehingga proses perekaman yang dilakukan akan memiliki kesalahan. Oleh karena itu perlu dilakukan pengkalibrasian kamera untuk dapat menentukan besarnya penyimpangan-penyimpangan yang terjadi. Kalibrasi adalah kegiatan untuk memastikan hubungan antara harga-harga yang ditunjukkan oleh suatu alat ukur dengan harga yang sebenarnya dari besaran yang diukur. Kalibrasi kamera dilakukan untuk menentukan parameter distorsi, meliputi distorsi

radial dan distorsi tangensial (*decentring*), serta parameter-parameter lensa lainnya, termasuk juga *principal distance* (c), serta titik pusat fidusial foto. Pada kalibrasi terdiri dari *element* interior orientasi (x_o, y_o, c), koefisien distorsi lensa (K_1, K_2, K_3, P_1 and P_2) serta koefisien untuk perbedaan penyekalaan dan ketidak ortogonal antara sumbu X dan Y (b_1, b_2). Distorsi lensa dapat menyebabkan bergesernya titik pada foto dari posisi yang sebenarnya (*Hanifa, 2007*).

Parameter kalibrasi kamera memegang peranan penting kunci untuk mendapatkan tingkat keakurasian yang tinggi untuk titik-titik koordinat obyek yang terekam / diukur melalui foto dijital. Indikasi ketelitian adalah jarak dan bentuk yang benar antara hasil pengukuran di foto dibanding dengan data lapangan. Dengan demikian parameter kalibrasi beserta ketelitiannya yang harus didapatkan (*Fraser, 1989*)

2.3.1. Parameter x_o, y_o , dan Fokus (c)

Dalam berbagai kasus fotogrametri, elemen dari *principle point* (x_o, y_o) dan *perspektif distance* (panjang fokus) harus ditentukan, hal ini dikarenakan semua sistem persamaan matematis yang digunakan dalam fotogrametri bergantung dari ketiga parameter ini. Secara geometris hubungan antara ketiga parameter ini dapat di lihat pada gambar (2.6). (*Dorstel, C, 1996*)



Gambar 2.6. Geometri foto, *Dorstel, C, (1996)*

Dari gambar diatas posisi *principle point* (x_o, y_o) merupakan proyeksi garis lurus dari letak *perspective center* ke bidang foto dan jarak dari *principle point* ke *perspective center* merupakan panjang fokus (c). Secara praktis panjang fokus kamera dan letak *principle point* tidak mutlak berada di tengah-tengah pusat foto, permasalahan ini disebabkan oleh kurang stabilnya susunan lensa dan CCD yang berguna untuk merekam bayangan obyek pada saat perakitan. Sehingga perubahan posisi *principle point* dan panjang fokus dapat dimodelkan menggunakan persamaan sebagai berikut (*Dorstel, C, 1996*) :

$$\Delta x_l = \Delta x_p - \frac{\bar{x}}{\bar{z}} \Delta c$$

$$\Delta y_l = \Delta y_p - \frac{\bar{y}}{\bar{z}} \Delta c \dots\dots\dots(2.16)$$

Dalam hal ini:

- $\Delta x_l, \Delta y_l$: Total koreksi dari parameter x_o, y_o dan fokus.
- $\Delta x_p, \Delta y_p$: Parameter *principle point*.
- Δc : Koreksi untuk nilai parameter fokus,

\bar{x}, \bar{y} : Koordinat foto

2.3.2. Parameter Distorsi *Radial* (K_1, K_2, K_3)

Distorsi *radial* adalah pergeseran linier titik foto dalam arah radial terhadap titik utama dari posisi idealnya. Distorsi lensa biasa diekspresikan sebagai fungsi polonomial dari jarak *radial* (dr) terhadap titik utama foto. Distorsi *radial* direpresentasikan dalam sebuah persamaan polinomial sebagai berikut (Wolf, 2000) :

$$\Delta x_r = K_1 r^3 + K_2 r^5 + K_3 r^7$$
$$\Delta y_r = K_1 r^3 + K_2 r^5 + K_3 r^7 \dots\dots\dots(2.17)$$

$$r^2 = \bar{x}^2 + \bar{y}^2 \dots\dots\dots(2.18)$$

Dalam hal ini:

$\Delta x_r, \Delta y_r$: Koreksi dari distorsi *radial*

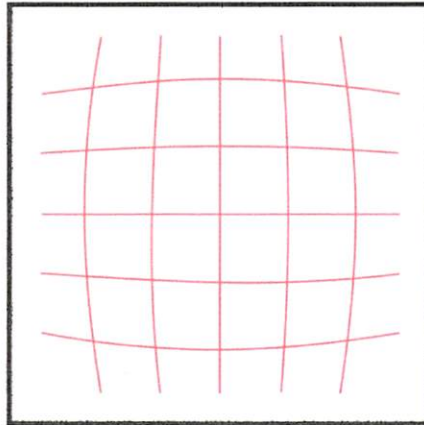
K_1, K_2, K_3 : Koefisien dari distorsi *radial*

r : Jarak *radial*

\bar{x}, \bar{y} : Koordinat foto

Efek yang terjadi apabila pada kamera memiliki nilai distorsi, maka gambar foto yang dihasilkan akan berbentuk cembung atau cekung, tergantung dari nilai parameter distorsi *radial* bernilai positif atau negatif. Efek distorsi *radial* adalah sekitar 1 sampai 2 piksel di perbatasan CCD sensor. Dalam kaitannya dengan definisi distorsi *radial*, ada korelasi besar antara koefisien distorsi itu sendiri K_1, K_2, K_3 dan antara *principle distance*.

Hubungan antara distorsi *radial* dengan *principle distance* adalah dalam kaitannya sesuai *principle distance* dengan deviasi rata-rata akan dihitung menjadi minimum (Wolf, 2000)



Gambar 2.7. *Distorsi Radial*, Wolf (2000)

2.3.3. Parameter Distorsi Decentring (P_1, P_2)

Distorsi decentring adalah pergeseran linier titik di foto pada arah normal (tegak lurus) garis radial melalui titik foto tersebut. Distorsi decentring disebabkan kesalahan sentering elemen-elemen lensa dalam satu gabungan lensa dimana titik pusat elemen-elemen lensa dalam gabungan lensa tersebut tidak terletak pada satu garis lurus. Pergeseran ini biasa dideskripsikan dengan dua persamaan polonomial untuk pergeseran pada arah x (dx) dan y (dy).

Distorsi decentring ini dapat dijabarkan dalam sebuah persamaan polinomial arah x dan y sebagai berikut (Fryer, 1989) :

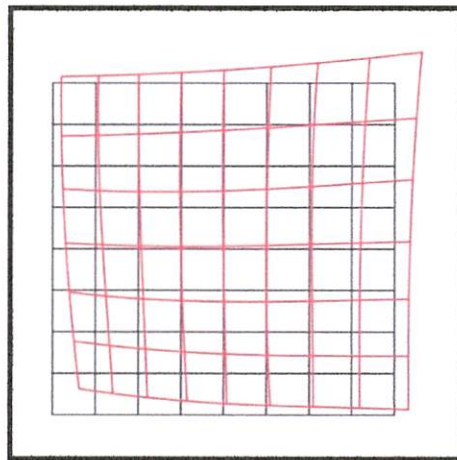
$$\Delta x_d = P_1 [r^2 + 2(x - x_0)^2] + 2P_2(x - x_0)(y - y_0)$$

$$\Delta y_d = P_2 [r^2 + 2(y - y_0)^2] + 2P_1(x - x_0)(y - y_0) \dots\dots\dots(2.19)$$

Dalam hal ini

- $\Delta x_d, \Delta y_d$: Koreksi dari distorsi *decentering*
- P_1, P_2 : Koefisien dari distorsi *decentering*
- r : Jarak radial
- x, y : Koordinat foto
- x_0, y_0 : Pusat sistem koordinat foto

Efek dari distorsi *decentering* ini akan menyebabkan kesan hiperbolik pada foto yang terekam oleh kamera.



Gambar 2.8. *Distorsi Decentering, Fryer (1989)*

2.3.4. Parameter Distorsi Affinity (b_1, b_2)

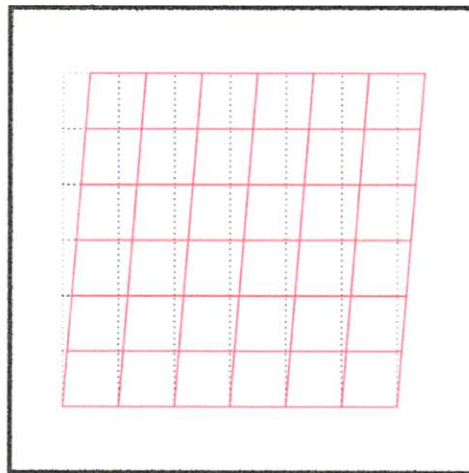
Parameter distorsi *affinity* secara umum dapat dimodelkan dalam bentuk persamaan polinomial. Untuk kamera digital jumlah parameter dikurangi dari 12 parameter menjadi 2 parameter. Persamaan untuk menentukan nilai parameter *scale* b_1 dan parameter *shear* b_2 dapat dituliskan sebagai berikut (*Wolf, 1993*) :

$$\begin{aligned} \Delta x_f &= b_1 \bar{x} + b_2 \bar{y} \\ \Delta y_f &= 0 \dots\dots\dots(2.20) \end{aligned}$$

Dalam hal ini:

- $\Delta x_f, \Delta y_f$: Koreksi dari distorsi *affinity*
- b_1, b_2 : Koefisien dari distorsi *affinity*
- \bar{x}, \bar{y} : Koordinat foto

Distorsi *affinity* ini terjadi akibat kurang sikunya bidang CCD atau CMOS yang digunakan untuk merekam bayangan obyek, sehingga *frame* dari foto tidak akan benar-benar terbentuk sebuah bujur sangkar ataupun persegi panjang, akan tetapi membentuk jajar genjang.



Gambar 2.9. *Distorsi Affinity Wolf (1993)*

2.4. *Relative Orientation*

Relatif orientasi merupakan proses untuk menentukan nilai perputaran sudut rotasi dan pergeseran posisi antara dua foto. Proses ini dilakukan dengan cara memberikan nilai posisi dan orientasi untuk foto pertama, kemudian dilakukan proses perhitungan nilai posisi dan orientasi pada foto kedua menggunakan parameter dari posisi kamera pertama dan koordinat

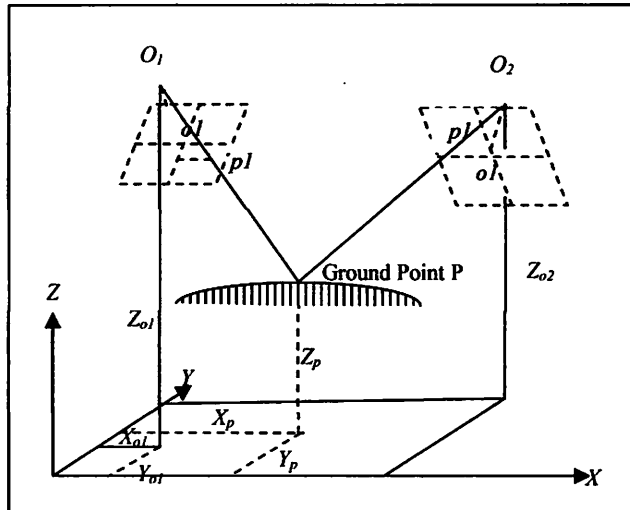
foto dari kedua buah foto. Dalam proses relatif orientasi ini tidak menghasilkan nilai posisi dan orientasi dari foto yang sebenarnya, akan tetapi menghasilkan sebuah nilai relatif antara dua buah foto tersebut. Yaitu menetapkan beberapa parameter eksterior orientasi (EO) ω , φ , k , Y_L , Z_L dari foto kanan (2) dari pertemuan 5 berkas sinar dari koordinat obyek 3D (X_b , Y_b , Z_b) yang ada (Wolf, 2000).

Dengan cara digital, relatif orientasi dapat menggunakan syarat kesegarisan (*colinearity condition*) atau syarat kesebidangan (*coplanarity condition*). Dimana kondisi kesegarisan antar foto dapat dilukiskan seperti pada gambar dibawah ini (Wolf, 2000) :

2.4.1. Intersection

Intersection merupakan suatu teknik menentukan koordinat titik-titik objek pada dua gambar atau lebih yang saling bertampalan sehingga diketahui posisi secara 3D (X_b , Y_b , Z_b).

Proses ini membutuhkan enam parameter orientasi luar yang diketahui (ω , φ , κ , X_L , Y_L , Z_L) untuk dua foto yang bertampalan. Nilai koordinat objek dalam ruang tiga dimensi ini dapat dihitung menggunakan persamaan kolinier yang telah dilinierisasi.



Gambar 2.11. Ilustrasi proses intersection, Mikhail, et al. (2001)

Intersection adalah proses penentuan posisi titik pada ruang objek dengan dua persamaan untuk setiap titik pada foto. Jika terdapat dua foto, total ada empat persamaan yang terdiri dari tiga persamaan yang tidak diketahui, titik koordinat ruang objek yang diperoleh. Ada satu derajat bebas, dan satuan persamaan linier dimana dapat dipecahkan dengan metode *least square*. Dengan menambahkan beberapa foto, meningkatkan jumlah derajat kebebasan dengan demikian akan meningkatkan solusinya (Mikhail, et al. 2001).

Karena enam unsur orientasi sudah diketahui, yang tidak diketahui pada persamaan ialah dX_A , dY_A , dan dZ_A . Ini merupakan koreksi yang harus diterapkan bagi pendekatan awal untuk masing-masing koordinat *object space* X_A , Y_A , Z_A , untuk titik A . Bentuk persamaan intersection yang diliniarkan sebagai berikut (Wolf and Dewitt, 2000):

$$b_{14}dX_A + b_{15}dY_A + b_{16}dZ_A = J + V_{xa}$$

$$b_{24}dX_A + b_{25}dY_A + b_{26}dZ_A = K + V_{ya} \dots \dots \dots (2.24)$$

Pada gambar 2.11 dapat ditulis o_1 pada foto kiri dan foto kanan dapat ditulis o_2 . Dengan demikian dapat dibuat empat persamaan seperti persamaan di atas, dan nilai dX_A , dY_A , dan dZ_A dapat diselesaikan melalui perhitungan *least square*. Koreksi ini diterapkan bagi pendekatan awal untuk memperoleh nilai revisi untuk X_A , Y_A , Z_A . Penyelesaian ini kemudian diulang lagi atau proses iterasi hingga nilai residu sesuai.

Dalam bentuk matriks dapat dinyatakan sebagai berikut (*Wolf and Dewitt 2000*):

$$A = \begin{bmatrix} (b14_a)_1 & (b15_a)_1 & (b16_a)_1 & \dots & \dots & \dots \\ (b24_a)_1 & (b25_a)_1 & (b26_a)_1 & \dots & \dots & \dots \\ (b14_a)_2 & (b15_a)_2 & (b16_a)_2 & \dots & \dots & \dots \\ (b24_a)_2 & (b25_a)_2 & (b26_a)_2 & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & (b14_b)_1 & (b15_b)_1 & (b26_b)_1 \\ \dots & \dots & \dots & (b24_b)_1 & (b25_b)_1 & (b26_b)_1 \\ \dots & \dots & \dots & (b14_b)_2 & (b15_b)_2 & (b26_b)_2 \\ \dots & \dots & \dots & (b24_b)_2 & (b25_b)_2 & (b26_b)_2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.25)$$

$$L = \begin{bmatrix} J_a \\ K_a \\ J_b \\ K_b \\ J_c \\ K_c \\ J_d \\ K_d \end{bmatrix} X = \begin{bmatrix} dX_A \\ dY_A \\ dZ_A \end{bmatrix} V = \begin{bmatrix} Vx_a \\ Vy_a \\ Vx_b \\ Vy_b \\ Vx_c \\ Vy_c \\ Vx_d \\ Vy_d \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.26)$$

Untuk proses perhitungan dari *intersection* dapat dilihat pada pembahasan sebelumnya (Sistem Persamaan Dalam Fotogrametri). Dimana iterasi berhenti apabila nilai residu sudah sesuai. Jadi nilai akhir untuk proses *intersection* menggunakan metode *least square* adalah nilai

(3) parameter (X_A, Y_A, Z_A) , yang sudah diiterasi berulang kali dengan nilai residu yang sesuai dan seminimal mungkin.

BAB III

PELAKSANAAN PENELITIAN

3.1. Persiapan

Sebelum melakukan sebuah penelitian diperlukan suatu persiapan yang matang guna kelancaran selama proses penelitian sampai penyajian hasil. Agar diperoleh hasil yang optimal maka ada beberapa hal yang harus dipersiapkan terlebih dahulu, yaitu :

3.1.1. Materi Penelitian

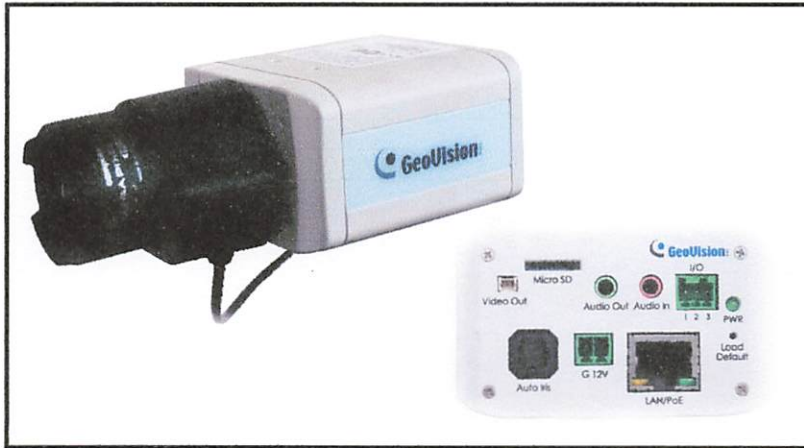
Parameter internal kamera (IO) meliputi *principal distance* (f), titik pusat *fidusial* foto (x_0, y_0), distorsi lensa (K_1, K_2, P_1 dan P_2), sumbu X dan sumbu Y (b_1, b_2), Pendekatan Parameter EO ($X_0, Y_0, Z_0, \kappa, \phi, \omega$) yaitu koordinat posisi kamera X_L, Y_L, Z_L dan 3 unsur koordinat rotasi Omega, phi, kappa (ω, ϕ, κ).

3.1.2. Alat Penelitian

Untuk mendukung pelaksanaan kegiatan penelitian ini, maka diperlukan beberapa perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) antara lain:

3.1.2.1. Perangkat keras (hardware)

1. Kamera IP (*Internet Protocol*) GV-BX320D 3M H.264



Gambar 3.1 Kamera IP (*Internet Protocol*) GV-BX320D 3M H.264

- 3 megapixel progressive scan CMOS
- Focus 3.1 - 8 mm
- Dual video streams from two of H.264, MJPEG and MPEG4
- Up to 20 fps at 2048 x 1536, 30 fps at 1920 x 1080
- Built-in / external microphone
- 2-way audio
- One sensor input and alarm output
- TV-out support
- Motion detection
- Tampering alarm
- Privacy mask
- IP address filtering
- 3GPP/ISMA
- DC 12V / PoE
- Day / Night function
- Varifocal megapixel lens
- 16 languages on Web interface

2. Dome kamera



Gambar 3.2 Dome kamera

3. HUB D-LINK 8 port



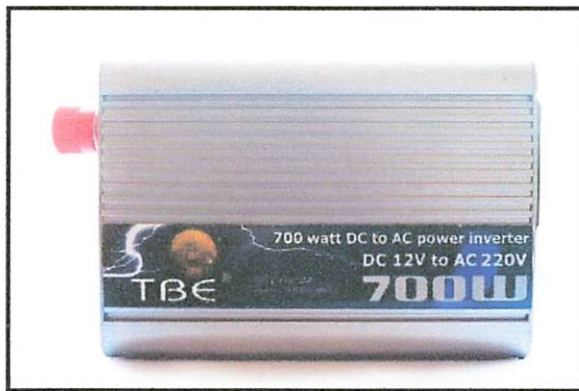
Gambar 3.3 HUB D-LINK 8 port

4. Kabel Lan



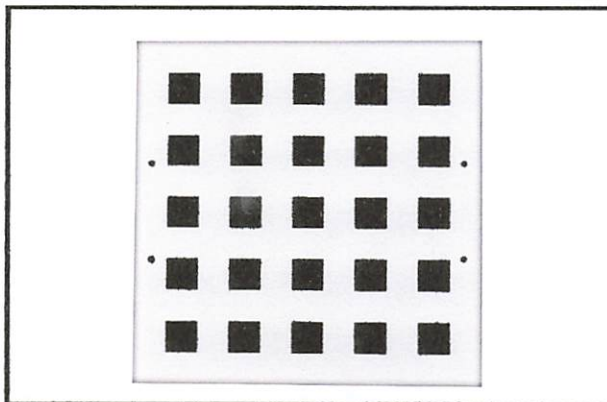
Gambar 3.4 Kabel Lan

5. Inverter 700 Watt



Gambar 3.5 Inverter 700 Watt

6. Papan/plat kalibrasi 2D

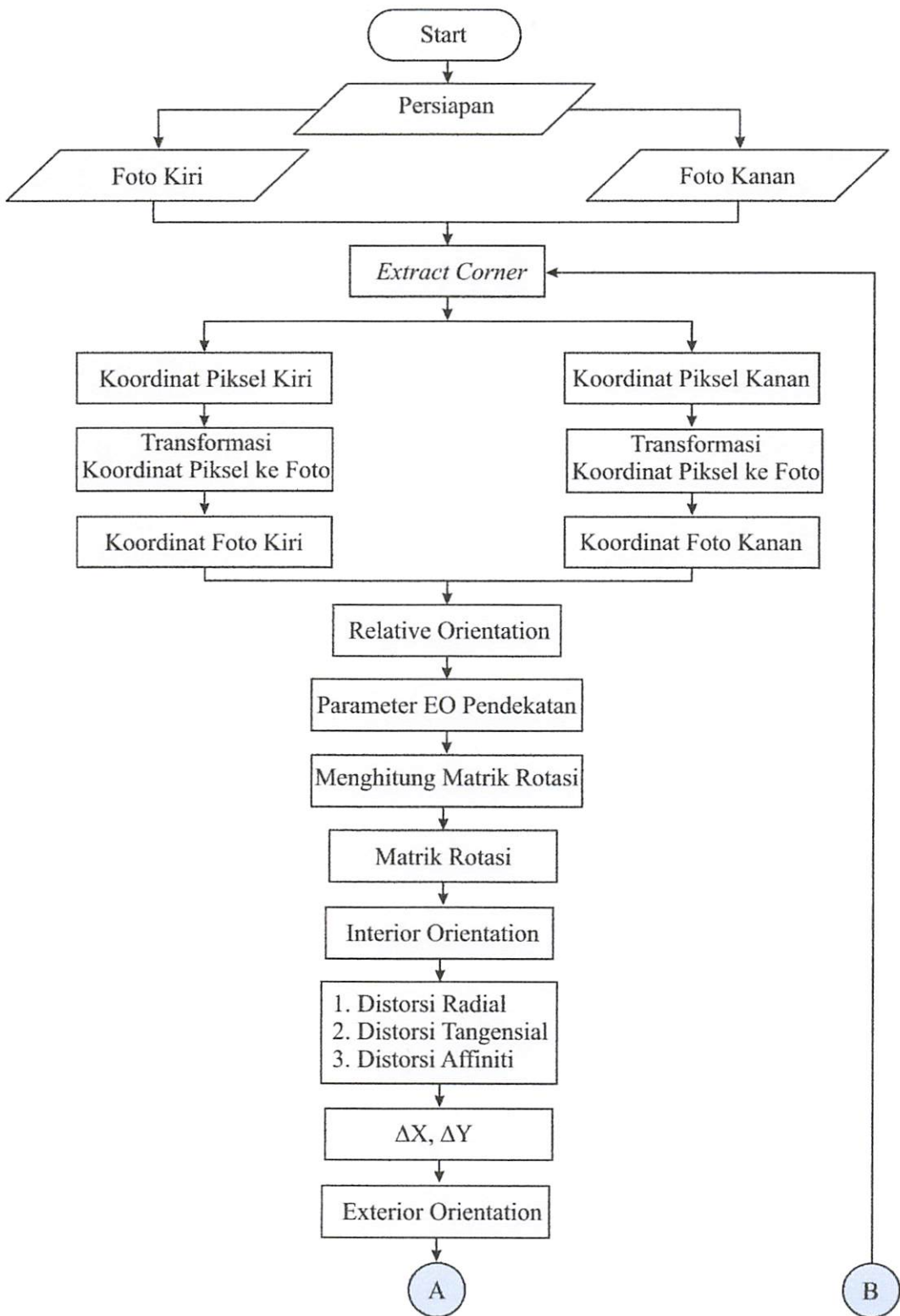


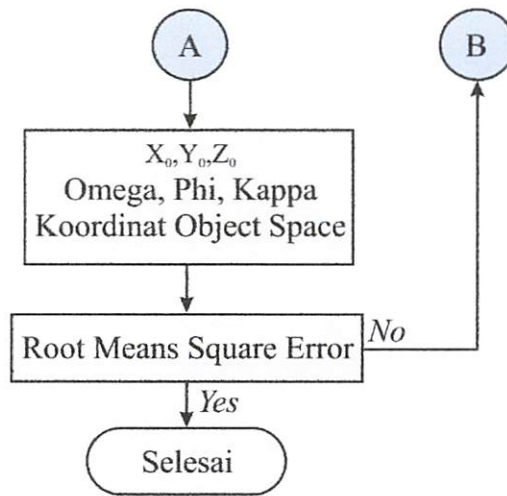
Gambar 3.6 Papan/plat kalibrasi 2D

3.1.2.2.Perangkat lunak (software)

1. *GV-NVR* adalah sebuah perangkat lunak (*software*) bawaan kamera IP yang digunakan untuk mengambil data video objek yang akan disurvei sehingga dapat disimpan dalam komputer.
2. *Total Video Converter V3.10*. merupakan perangkat lunak (*software*) yang digunakan untuk mengkonversi data video menjadi sebuah image agar dapat diproses.
3. *Stereo Photo Plate* adalah perangkat lunak (*software*) yang digunakan untuk mengekstrak image menjadi koordianat piksel.
4. *Relorn* adalah sebuah perangkat lunak (*software*) yang digunakan ununtuk proses relative orientasi.
5. *Microsoft Office excel 2007* adalah perangkat lunak (*software*) yang digunakan untuk perhitungan parameter kalibrasi kamera IP.

3.1.3. Diagram alir





Gambar 3.8 Diagram Alir Penelitian

Keterangan Bagan Diagram Alir

1. Persiapan awal yaitu mendesain dan membuat papan kalibrasi.
2. Pengambilan data foto papan kalibrasi menggunakan kamera IP.
3. Satu pasang foto yang dihasilkan oleh kamera IP memiliki koordinat piksel.
4. Proses selanjutnya adalah proses *Extract Corner* yang bertujuan untuk mengidentifikasi titik-titik grid yang terdapat pada papan kalibrasi dimana proses ini bertujuan untuk mendapatkan koordinat piksel.
5. Dari koordinat piksel dilakukan transformasi ke koordinat foto.
6. Jika sudah mendapatkan koordinat foto maka, proses Relative Orientation dilakukan untuk mendapatkan nilai Exterior Orientation pendekatan.
7. Mengitung matrik rotasi.
8. Menghitung Interior Orientation
9. Distorsi radial, distorsi tangensial, distorsi affinity.

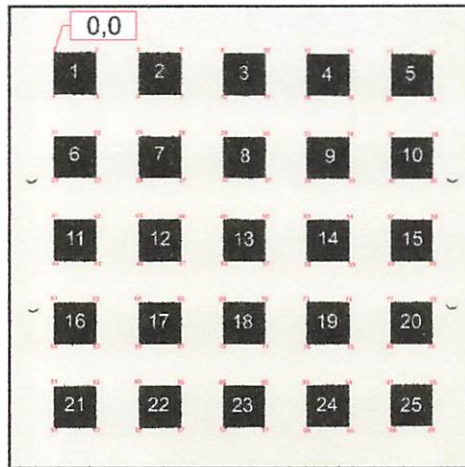
10. Dari nilai distorsi dapat dihitung ΔX , ΔY .
11. Menghitung Exterior Orientation
12. Parameter X_0, Y_0, Z_0 , Omega Phi, Kapa.
13. Koordinat Object space.
14. Apabila nilai *Back Projection Error* dari perhitungan kalibrasi kamera tidak mendekati nilai pengukuran manual papan kalibrasi maka perlu dilakukan lagi *Extract Corner*.
15. Jika nilai *Back Projection Error* dari perhitungan kalibrasi kamera mendekati nilai pengukuran manual papan kalibrasi maka, proses kalibrasi kamera selesai.

3.2. Pelaksanaan Penelitian

3.2.1. Pengukuran papan/plat kalibrasi

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa papan kalibrasi sebelum digunakan perlu diukur dahulu untuk mengetahui koordinat dari titik-titik bujur sangkar yang terdapat pada papan kalibrasi menggunakan kertas kalkir milimeter blok. Adapun langkah-langkah pengukuran papan kalibrasi, antara lain:

1. Kertas kalkir milimeter dipotong sesuai dengan ukuran papan kalibrasi, dimana ukuran papan kalibrasi adalah 55 X 55 cm.
2. Letakan kertas kalkir milimeter dan papan kalibrasi mejadi satu.
3. Tepatkan kertas kalkir pada titik 0,0 papan kalibrasi. Yang mana titik 0,0 dari papan kalibrasi terdapat pada pojok kiri dari kotak bujur sangkar pertama bagian kiri atas.



Gambar 3.9 Arah pengukuran papan kalibrasi

- a. Pengukuran dimulai dari kiri ke kanan
- b. Pengukuran koordinat papan kalibrasi ini dengan menggunakan data jarak masing-masing antara tiap titik.
- c. Data papan kalibrasi terdapat di: Data Manual\ Pengukuran Manual Papan Kalib 2D .xlsx\ Koordinat \ C2-N28.

3.2.2. Pengambilan data foto papan kalibrasi

Dalam pengambilan data kamera IP terdapat langkah-langkah pelaksanaan pengambilan datanya. Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan untuk pengambilan data kamera IP yaitu :

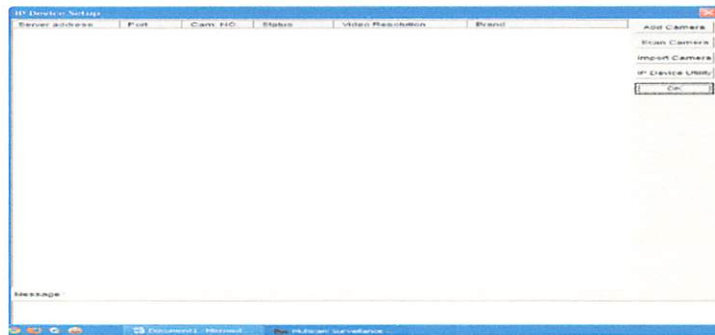
1. Persiapan, untuk melakukan pekerjaan pengambilan data, harus dipersiapkan secara maksimal semua peralatan yang dibutuhkan dengan maksud tujuan untuk meminimalisir kesalahan pada saat pengambilan data. Persiapan ini juga merupakan langkah melakukan rangkaian pada kamera IP, yaitu :
 - a. Pasang bar pada kapal, lalu pasang dome yang berisi kamera IP di *bar* pada posisi yang telah diatur.



Gambar 3.10 Posisi kamera di kapal

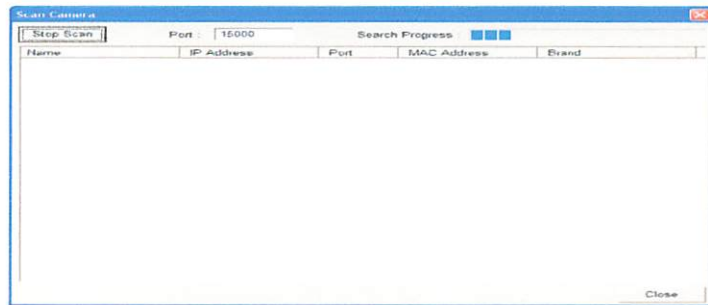
- b. Pasang kabel power dan kabel LAN ke kamera IP.
 - c. Sambungkan kabel power kamera IP ke kabel roll, maka kamera IP telah menyala.
 - d. 2 (dua) kabel LAN yang menyambung pada kamera IP disambungkan ke USB HUB D-LINK. Dan label LAN yang 1 (satu) disambungkan ke laptop.
 - e. Sambungkan kabel power USB HUB D-LINK ke kabel roll.
 - f. Untuk kabel roll disambungkan pada inverter 700 Watt, dan inverter disambungkan pada aki.
 - g. Maka selesai sudah persiapan untuk menggunakan kamera IP.
2. Integrasikan kamera IP pada laptop yang telah diinstal perangkat lunak *GV-NVR* untuk melakukan settingan pada kamera IP. Langkah untuk melakukan settingan pada kamera IP yaitu :
- a. Untuk memulai program *GV-NVR*, tekan *start GV-NVR GeoVision GV-NVR System*.

- b. Untuk penggunaan pertama kali, akan diminta untuk memasukkan ID dan *Password*. Untuk memudahkan masukkan ID : admin dan *Password* : admin. Lalu tekan OK.
- c. Akan muncul *window IP Device Setup* yang berfungsi untuk mencari kamera yang akan digunakan. Pilih *Scan Camera*.

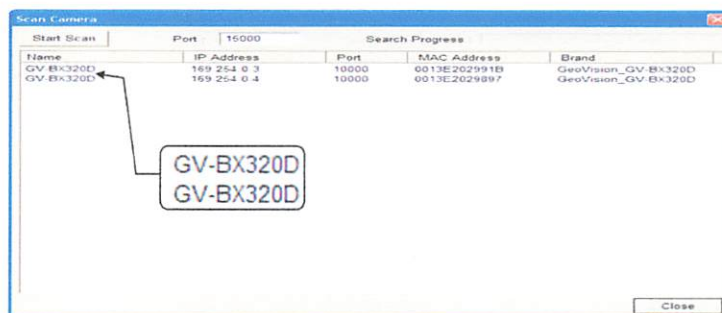


Gambar 3.11 *Window IP Device Setup*

- d. Lalu pada *window* selanjutnya tekan *Scan Camera* dan program ini akan secara otomatis mencari kamera yang sudah dihubungkan.

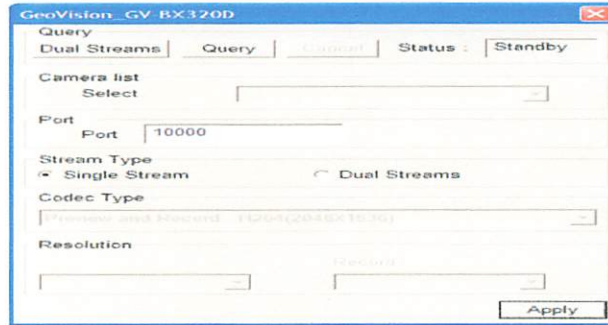


Gambar 3.12 *Window Scan Camera*



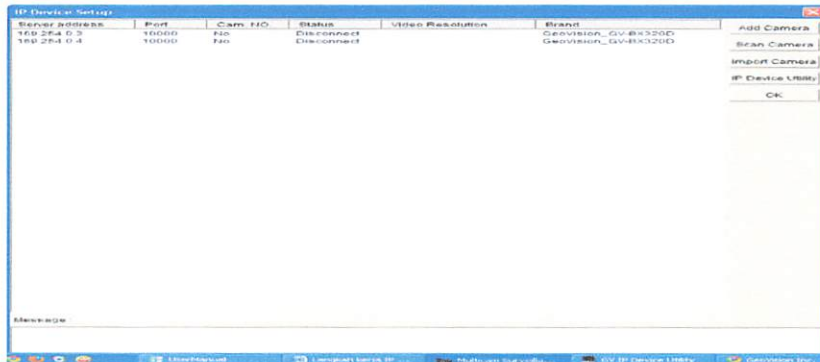
Gambar 3.13 Kamera terdeteksi

- e. Klik 2x pada GV-BX320D, maka akan otomatis melakukan *Query* pada masing-masing kamera.



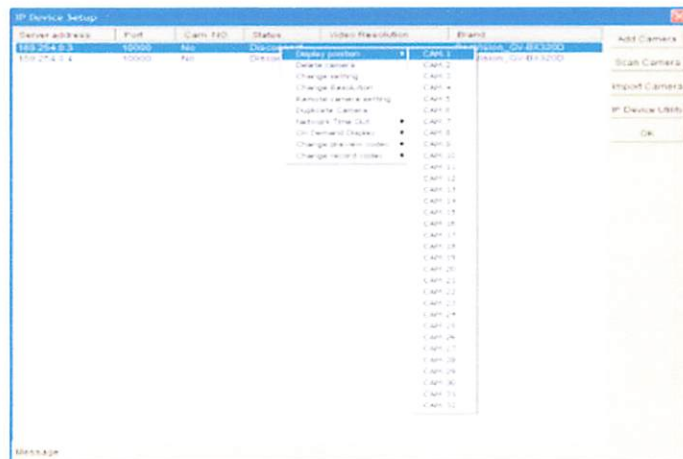
Gambar 3.14 *Query* pada kamera IP kiri

- f. Setelah itu tekan *Apply*, maka kamera akan muncul pada *IP Device Setup*.



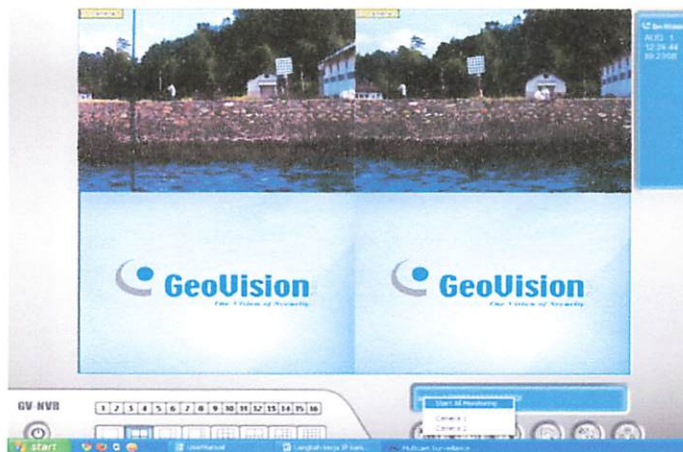
Gambar 3.15 *IP Device Setup*

- g. Klik kamera yang muncul, lalu klik kanan pada status *display* kamera pilih nomor kamera (CAM.1) untuk mengubah status kamera dari *disconnect* menjadi *connect*.



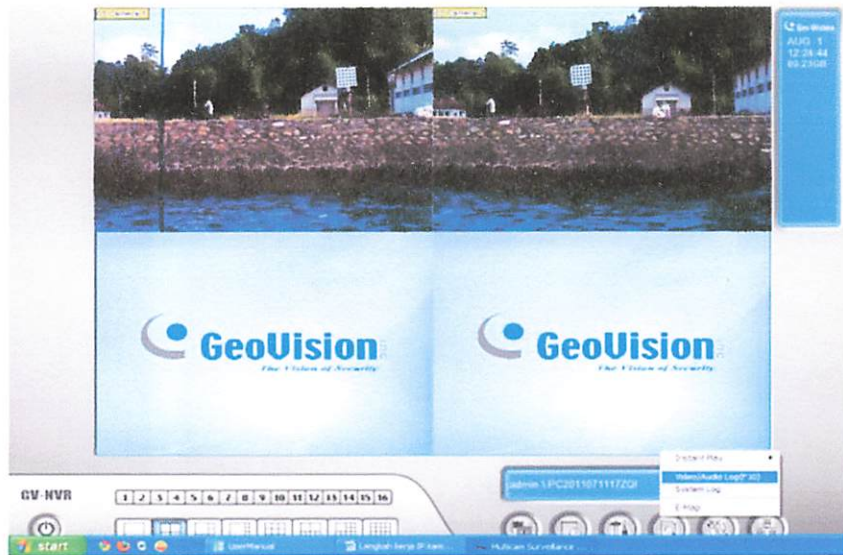
Gambar 3.16 Mengubah Status Koneksi Kamera

- h. Lakukan pada tiap status kamera, jika semua sudah *connect* klik OK dan kamera sudah siap untuk melakukan *monitoring*.
3. Untuk memulai *monitoring*, klik *Monitor* lalu pilih kamera yang akan melakukan *monitoring*. Jika sudah selesai, klik kembali *monitoring* dan pilih *stop*.



Gambar 3.17 Memulai *Monitoring* Kamera

4. Untuk melihat hasil *monitoring*, klik pada *icon View Log*, lalu pilih *video/audio log*.



Gambar 3.18 Melihat Hasil *Monitoring*

5. Maka muncul program bagian dari *GV-NVR system* untuk melihat dan menyimpan hasil *monitoring*.



Gambar 3.19 *GV-NVR system* untuk melihat dan menyimpan hasil *monitoring*

6. Klik pada *icon Save Video*, pilih *Save as Avi*.

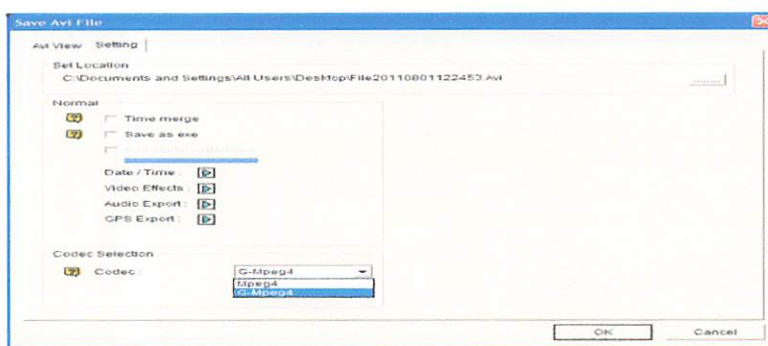


Gambar 3.20 *Save Video*

7. Pada *window Save avi File*, klik *tab setting* dan ganti *codec G-Mpeg4* menjadi *Mpeg4*. Ini bertujuan agar video Avi yang disimpan kompatibel dengan program ekstraksi yang digunakan pada penelitian kali ini.

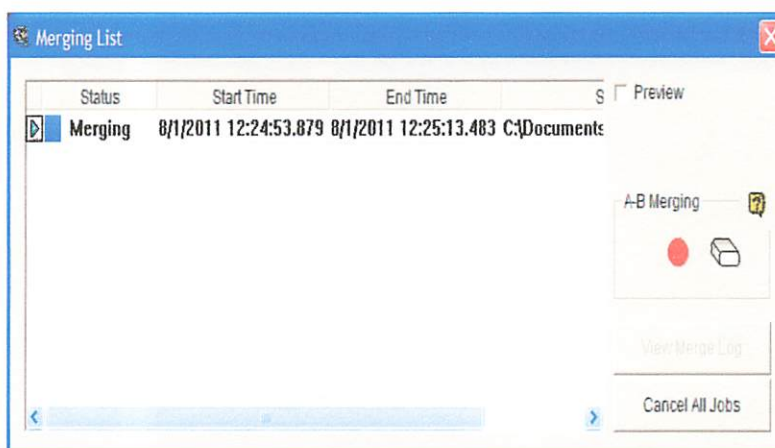


Gambar 3.21 *Window Save as Avi*



Gambar 3.22. *Window Save Avi File*

8. Klik OK jika sudah selesai maka akan muncul *window Merging List*, jika *Merging* sudah *Complete*, tutup *window* tersebut maka video hasil *monitoring* sudah berupa format *Avi*.



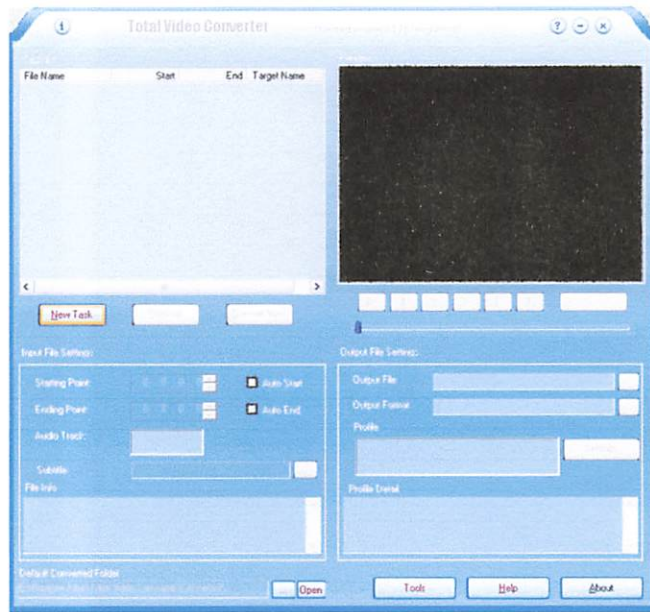
Gambar 3.23 *Window Merging List*

9. *Convert format Video to Jpg* (mengubah format video ke jpg)

Untuk ekstraksi video, program yang digunakan adalah *Free Video to JPEG Converter Version 2.0.1.602*. Program ini bisa didapatkan dengan cara mendownload di berbagai situs di internet. *install* program ini pada komputer atau laptop untuk menggunakannya. Langkah-langkah ekstraksi video sebagai berikut:

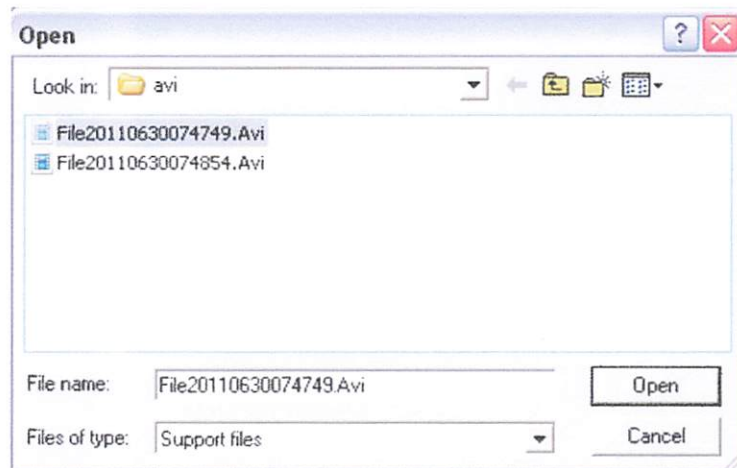
- a. Buka program *Total Video Converter V3.10*.

b. Maka program *Total Video Converter* dapat digunakan.



Gambar 3.24 *Total Video Converter*

c. Setelah itu klik *New Task* → *Import File* untuk memasukkan file video yang ingin di ekstrak.



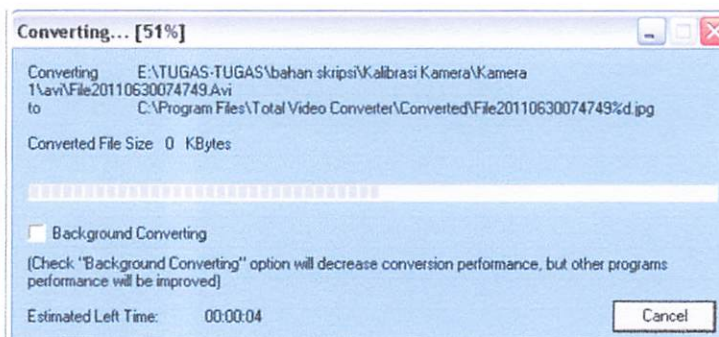
Gambar 3.25 *Add Files Video*

- d. pilih video yang ingin di ekstrak setelah itu klik *Open*.



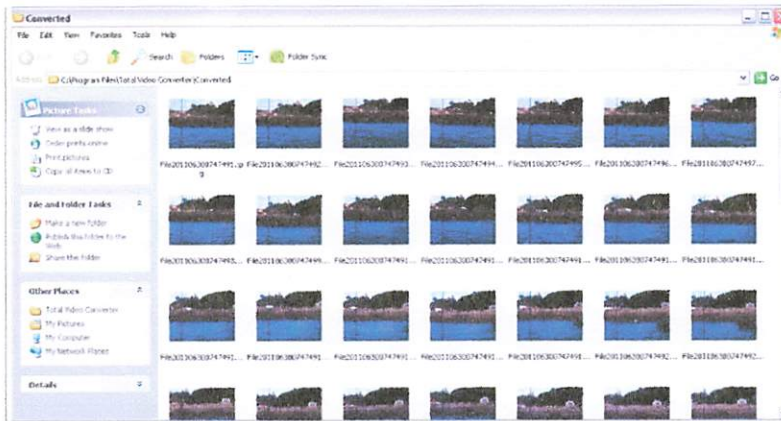
Gambar 3.26 Kotak dialog *monitoring*

- e. Setelah itu pilih hasil ekstraksi video yang diinginkan pada kolom *Extract*. Untuk kali ini dipilih hasil untuk *every frame*.
- f. Jika sudah selesai langsung klik tombol *convert now* untuk memulai ekstraksi data foto.



Gambar 3.27. *Window Conversion Progress*

- g. Setelah *Conversion Progress* selesai, maka akan didapatkan hasil ekstraksi video berupa data foto (*.Jpg).

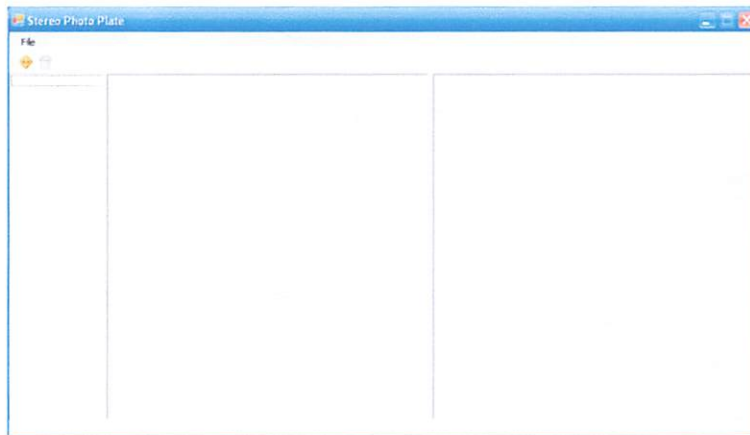


Gambar 3.28 Hasil Ekstraksi Video (*.Jpg)

3.2.3. Ekstrak Korner

Untuk mendapatkan koordinat piksel software yang digunakan adalah *Get Koordinat Pixel Stereo*.

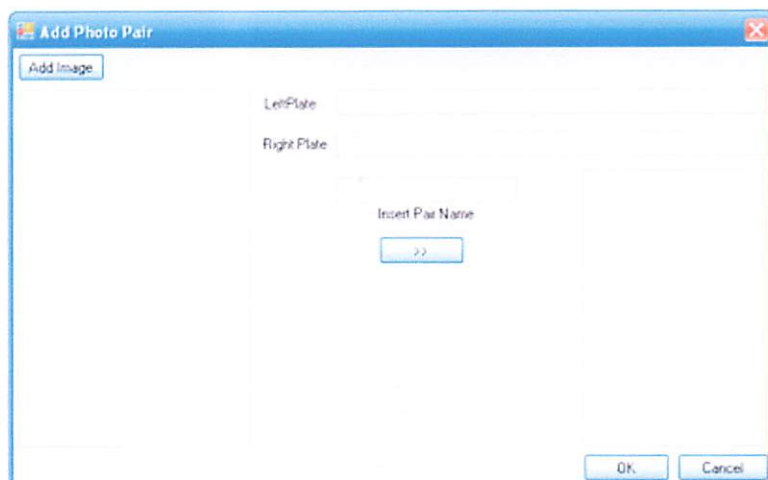
1. Buka program *Stereo photo plate* Akan muncul tampilan program seperti pada gambar dibawah ini. Pilih *file* → *Open*



Gambar 3.29 Tampilan awal program *Stereo photo plate*

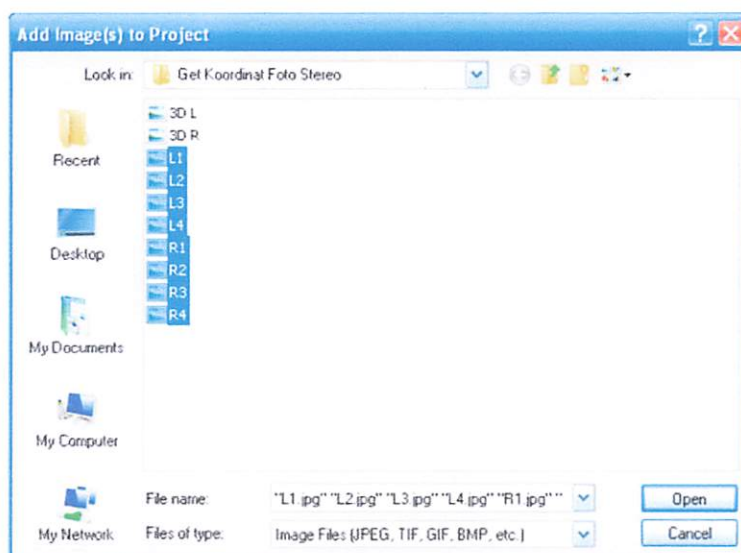
2. Pilih gambar yang terdapat dalam direktori komputer hasil *convert* dari *video to image* → pilih foto yang akan diekstrak koordinatnya → *Open*

3. Pilih *file* → *Add Pairs* akan muncul kotak dialog *Add photo pair*



Gambar 3.30 Kotak dialog *add photo pair*

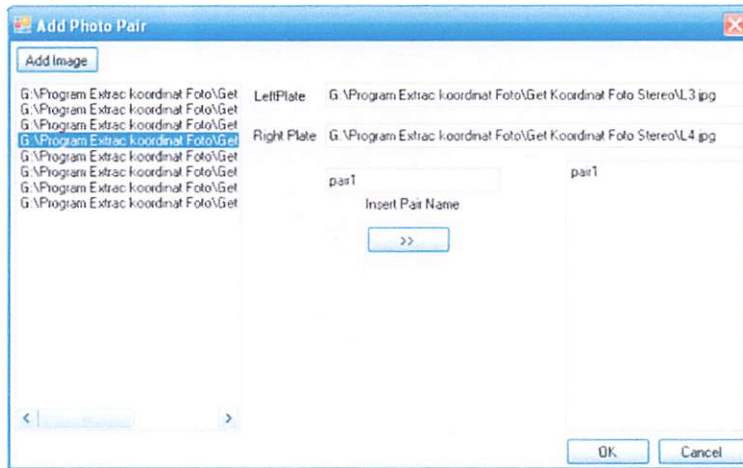
4. Pilih *Add Image* muncul kotak dialog *Add Images to Project* → pilih foto kiri (L1-L4) dan foto kanan (R1-R4) → *Open*



Gambar 3.31 Kotak dialog *add images to project*

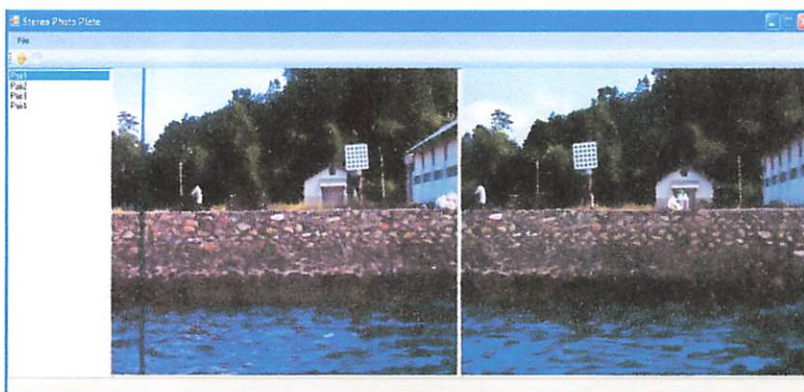
5. File terdapat di: \DATA FOTO\ 20 Cm\ L 20 cm.jpg & R 20 cm.jpg.

6. Setelah semua foto masuk di kolom *add images*, klik kanan pada foto kiri 1 (L1) pilih *select left image*. Kemudian klik kanan pada foto kanan 1 (R1) pilih *select right image*.
7. Jika pada kolom *leftplate* dan *rightplate* telah terisi nama direktori dari file foto kiri dan kanan, masukkan nama *pair* pada kolom *Insert Pair Name*, kemudian klik . sehingga pada kolom samping kanan terlihat nama *pair 1*



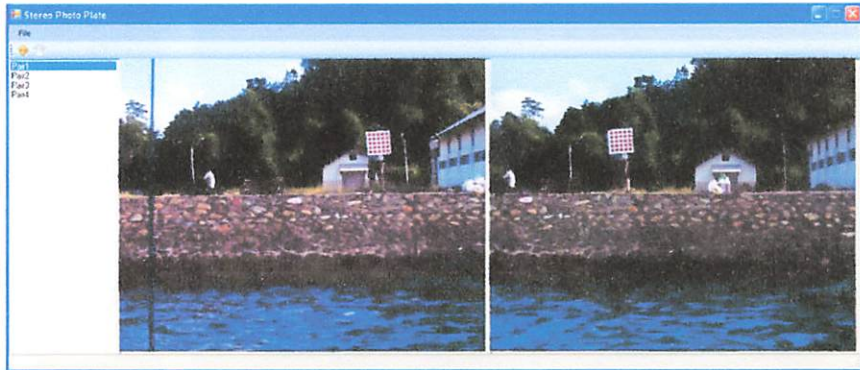
Gambar 3.32 pemberian nama *pair*

8. Lanjutkan untuk foto kiri (L2-L4) dan foto kanan (R2-R4) dengan nama *pair* yang berbeda. Setelah semua *pair* telah diinput klik *Ok*



Gambar 3.33 Tampilan program foto stereo tiap *pair*

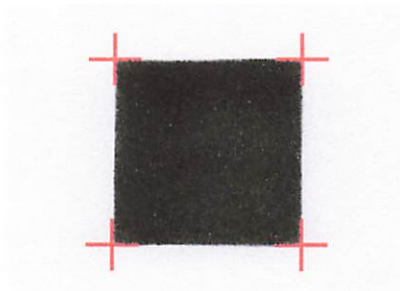
9. Klik ikon *Extract Corner*



Gambar 3.34 Tampilan *extract corner*

10. Labeling

- a. Dekatkan kursor ke pojok kotak hitam sehingga tanda + yang tadinya berwarna merah berubah menjadi hijau.



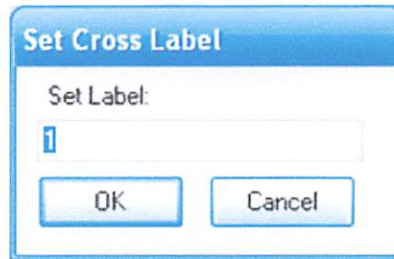
Gambar 3.35 *Extract corner* yang hendak diberi *labeling*

- b. Proses *labeling* dimulai dari kotak hitam pojok kanan atas
- c. Untuk kotak hitam pertama, titik nomor 1 dimulai dari pojok kiri atas. Selanjutnya untuk nomor 2 sampai 4 urutannya sesuai dengan putaran arah jarum jam.
- d. Proses labeling dimulai dengan klik kanan pada titik yang telah berwarna hijau pilih *Edit Label*



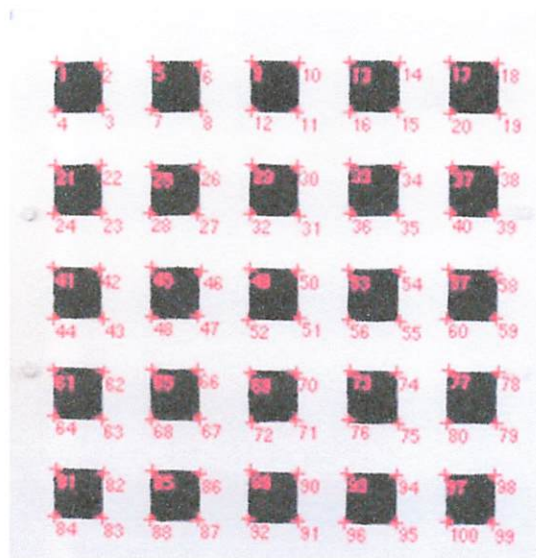
Gambar 3.36 Kotak dialog *edit label*

- e. Muncul kotak dialog set Cross label beri nama titik sesuai dengan urutan kotak hitam pada poin b) dan c). Untuk titik –titik selanjutnya akan diakumulasikan sesuai urutannya.



Gambar 3.37 Kotak dialog *set cross label*

- f. Lanjutkan untuk semua titik di tiap kotak pada foto kiri dan kanan untuk semua *pair*.



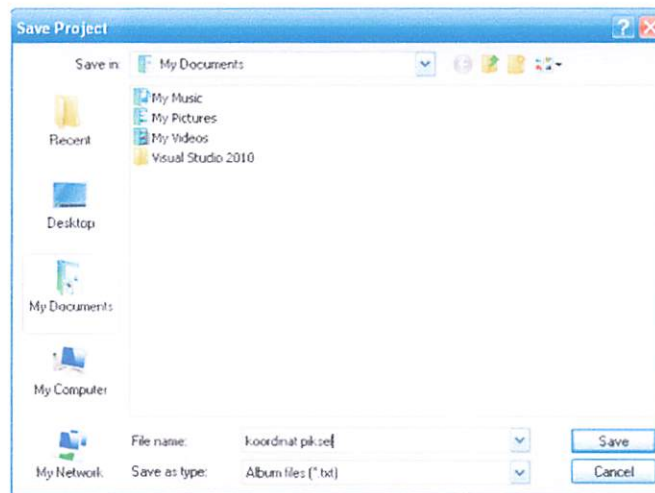
Gambar 3.38 Foto papan kalibrasi yang telah terlabel

g. Klik kanan diluar area foto papan kalibrasi, selanjutnya pilih

Delete Unwanted Cross

11. Pilih file *save project*, maka file yang tersimpan berisi koordinat piksel, dalam format .txt.

12. File terdapat di: DATA FOTO\ koordinat stereo.txt



Gambar 3.39 kotak dialog *save project*

3.2.4. Konversi koordinat piksel ke foto

$$x = (x' - x_c) \cdot x_{piksel_size}$$

$$y = (y_c - y') \cdot y_{piksel_size}$$

Dimana:

$$x_c = \left(\frac{nx}{2}\right) - 0.5$$

$$y_c = \left(\frac{ny}{2}\right) - 0.5$$

File terdapat di: DATA HITUNGAN\ 20 cm\ Parameter Kalibrasi

20cm.xlsx\ DATA POINT\ B26-F47.

3.2.5. Kalibrasi kamera

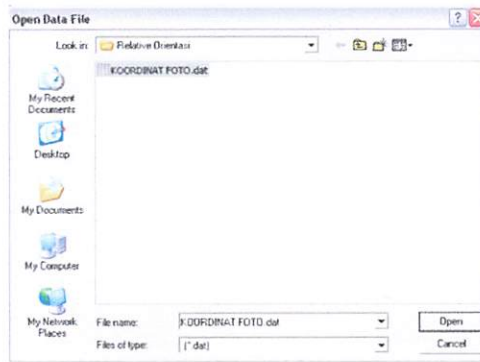
3.2.5.1 *Relative orientation*

- a. Buka program *Relorn*
- b. Maka program *Relorn* dapat digunakan. Masukkan nilai *Focal length*, x_0 dan y_0



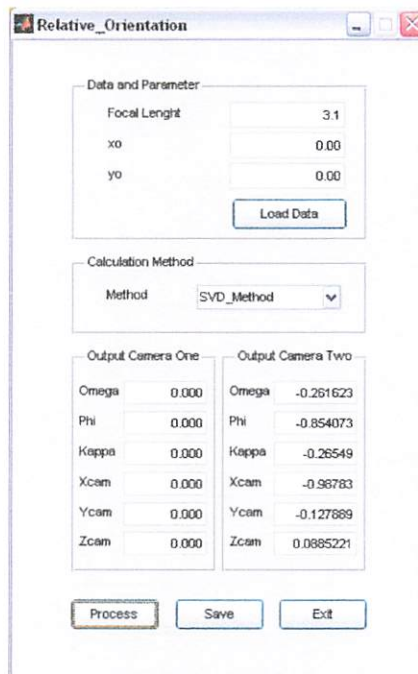
Gambar 3.40 Tampilan program *Relorn*

- c. Klik *button load data*, untuk menginput data koordinat papan kalibrasi kemudian pilih *open*.
- d. File terdapat di: Data In Relorn\20 CM.dat.



Gambar 3.41 kotak dialog *open data file*

- e. Klik *button process*.
- f. Program *Relorn* akan menghasilkan nilai parameter omega, phi kappa, Xc, Yc dan Zc.



Gambar 3.42 Tampilan hasil dari program *Relorn*

3.2.5.2 Menghitung Matrik Rotasi (R)

Proses perhitungan dibawah ini manual dengan menggunakan software *Microsoft Office excel 2007*.

Untuk menghitung matrik rotasi ini, peneliti menggunakan data *omega*, *phi* dan *kappa* (ω , φ , dan κ) dan diproses menggunakan persamaan (Mikhail et al., 2001) :

$$\begin{aligned}r_{11} &= \cos \varphi \cos \kappa \\r_{12} &= \sin \omega \sin \varphi \cos \kappa + \cos \omega \sin \kappa \\r_{13} &= -\cos \omega \sin \varphi \cos \kappa + \sin \omega \sin \kappa \\r_{21} &= -\cos \varphi \sin \kappa \\r_{22} &= -\sin \omega \sin \varphi \sin \kappa + \cos \omega \cos \kappa \\r_{23} &= \cos \omega \sin \varphi \sin \kappa + \sin \omega \cos \kappa \\r_{31} &= \sin \varphi \\r_{32} &= -\sin \omega \cos \kappa \\r_{33} &= \cos \omega \cos \varphi\end{aligned}$$

hasil dari persamaan tersebut kemudian disusun dalam matrik R :

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$$

File terdapat di: DATA HITUNGAN\20 cm\ Parameter Kalibrasi

20cm.xlsx\ Matrik Rotasi\ B3 - I33.

3.2.5.3 Interior Orientasi

$$x = -c \frac{N_x}{D} + \Delta x$$

$$y = -c \frac{N_x}{D} + \Delta y$$

$$Nx = r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)$$

$$Ny = r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)$$

$$D = r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)$$

$$\Delta x = x_p + x(r^2 - 1)a_1 + x(r^4 - 1)a_2 + \\ (r^2 - 2x^2)a_3 + 2xya_4 + xa_5 + ya_6$$

$$\Delta y = y_p + y(r^2 - 1)a_1 + y(r^4 - 1)a_2 + \\ 2xya_3 + (r^2 - 2y^2)a_4 - ya_5$$

File terdapat di: DATA HITUNGAN\20 cm\ Parameter Kalibrasi
20cm.xlsx\ Distorsi\ N113-Y133.

3.2.5.4 Exterior Orientasi

a. Menghitung Parameter *rsq*

Parameter *rsq* dihitung menggunakan data parameter matrik rotasi (*R*) dan koordinat titik objek pendekatan, dengan menggunakan persamaan (wolf, 2000).

$$r = r_{11}(X_A - X_L) + r_{12}(X_A - X_L) + r_{13}(X_A - X_L) \\ s = r_{21}(X_A - X_L) + r_{22}(X_A - X_L) + r_{23}(X_A - X_L) \\ q = r_{31}(X_A - X_L) + r_{32}(X_A - X_L) + r_{33}(X_A - X_L)$$

File terdapat di: DATA HITUNGAN\20 cm\ Adjustment
EO 1\A77-H97.

b. Menghitung Matrik *B₁*, *B₂*, *f*, *w*

Data yang digunakan dalam menghitung matrik *B₁*, *B₂*, *f*, *w* adalah parameter *EO*, koordinat titik objek pendekatan, koordinat foto (*x,y*) dan ketelitian (σ_x σ_y) serta parameter *IO* (x_o , y_o , *focus*), matrik rotasi (*R*) dan parameter

rsq. Dimana proses perhitungannya menggunakan persamaan berikut dengan penjelasan penjabaran dari matrik B_1 terdapat di: DATA HITUNGAN\20 cm\
Adjustment EO 1\ B101-M180

$$B_{1ij} = \begin{bmatrix} (b_{11})_0 & (b_{12})_0 & (b_{13})_0 & (-b_{14})_0 & (-b_{15})_0 & (-b_{16})_0 \\ (b_{21})_0 & (a_{22})_0 & (b_{23})_0 & (-b_{24})_0 & (-b_{25})_0 & (-b_{26})_0 \end{bmatrix}_{ij}$$

Matrik B_2 terdapat di: DATA HITUNGAN\20 cm\
Adjustment EO 1\ B 185-BI 264

$$B_{2ij} = \begin{bmatrix} (b_{14})_0 & (b_{15})_0 & (b_{16})_0 \\ (b_{24})_0 & (b_{25})_0 & (b_{26})_0 \end{bmatrix}_{ij}$$

Matrik f terdapat di: DATA HITUNGAN\20 cm\
Adjustment EO 1\ P101-P180

$$f_{ij} = \begin{bmatrix} J \\ K \end{bmatrix}_{ij}$$

c. Menghitung Matrik $\dot{N}_{ij}, \ddot{N}_{ij}, \bar{N}_{ij}, \dot{C}_i, \ddot{C}_{ij}$

Data yang digunakan dalam proses ini adalah matrik B_1, B_2, f , yang akan diproses dengan persamaan berikut (Mikhail et al., 2001).

$$\dot{N}_{ij} = \sum_{j=1}^n B_{1ij}^T W_{ij} B_{1ij}$$

Matrik \dot{N} terdapat di: DATA HITUNGAN\20 cm\
Adjustment EO 1\ B 363-M 374

$$\ddot{N}_{ij} = \sum_{i=1}^m B_{2ij}^T W_{ij} B_{2ij}$$

Matrik \ddot{N} terdapat di: DATA HITUNGAN\20 cm\
Adjustment EO 1\ N 375-BU 434

$$\bar{N}_{ij} = B_{1ij}^T W_{ij} B_{2ij}$$

Matrik \bar{N} terdapat di: DATA HITUNGAN\20 cm\
Adjustment EO 1\ N363-BU374

$$\ddot{C}_j = \sum_{i=1}^m B_{2ij}^T W_{ij} f_{ij}$$

Matrik \ddot{C} terdapat di: DATA HITUNGAN\20 cm\
Adjustment EO 1\ CE 375-CE 434.

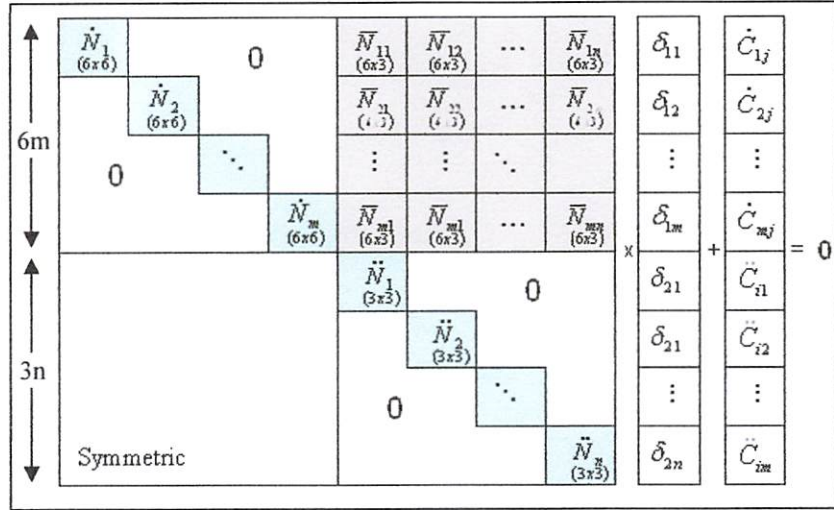
$$\dot{C}_i = \sum_{j=1}^n B_{1ij}^T W_{ij} f_{ij}$$

Matrik \dot{C} terdapat di: DATA HITUNGAN\20 cm\
Adjustment EO 1\ CE363-CE374

d. Menyusun Matrik N dan t

Menyusun Matrik N dan t untuk memudahkan dalam perhitungan. Matrik N dan t dapat disusun dengan menggabungkan data $\dot{N}_{ij}, \ddot{N}_{ij}, \bar{N}_{ij}, \dot{C}_i, \ddot{C}_j$, Struktur persamaannya dapat dinyatakan sebagai berikut (Fraser, 1997):

Dimana :



Gambar 3.43 Struktur Persamaan Normal

e. Menghitung matrik Koreksi (δ_1 dan δ_2)

Setelah disusun matrik N dan t , maka nilai koreksi untuk tiap-tiap parameternya dapat dihitung. Dengan menggunakan persamaan berikut (Fraser, 1997).

$$\delta = N^{-1}t$$

maka akan diperoleh nilai koreksi δ_1 yaitu nilai koreksi untuk parameter EO dan δ_2 yaitu koreksi untuk titik-titik objek.

f. Menghitung Nilai Residu (v)

Hitung nilai residu (v) dari menggunakan data $B_1, B_2, \delta_1, \delta_2$, dan w . Proses perhitungannya dapat menggunakan persamaan berikut (Fraser, 1997).

$$v_{ij} = (B_1 \ B_2) \begin{pmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \end{pmatrix} + w$$

Matrik V terdapat di: DATA HITUNGAN\20 cm\ Adjustment EO 1\ P 101-P 180

Jika nilai residu tidak sesuai, maka perlu dilakukan proses iterasi sampai mendapatkan nilai residual yang sekecil-kecilnya. Proses iterasi ini memerlukan pengulangan proses yang sama sesuai dengan diagram alir dimulai kembali dari tahap menghitung semua parameter awal. Jika nilai residual yang diinginkan telah terpenuhi atau sesuai, maka proses iterasi dihentikan.

g. Menghitung Nilai Akhir

Menghitung nilai akhir, dimana proses *bundle adjustment* akan mendapatkan nilai parameter EO dan koordinat titik objek yang sudah terkoreksi. Dimana penyelesaiannya menggunakan persamaan berikut (Mikhail, 2001).

$$O = O^0 + \delta_1 \quad : \text{(Parameter orientasi luar (EO) yang terkoreksi)}$$

$$X = X^0 + \delta_2 \quad : \text{(Koordinat titik objek yang terkoreksi)}$$

h. Menghitung Ketelitian Varian-Kovarian

Hasil dari proses *bundle adjustment* dengan nilai residual yang kecil berupa koordinat *object space point* final beserta nilai ketelitiannya dan parameter eksterior orientasi.

BAB IV

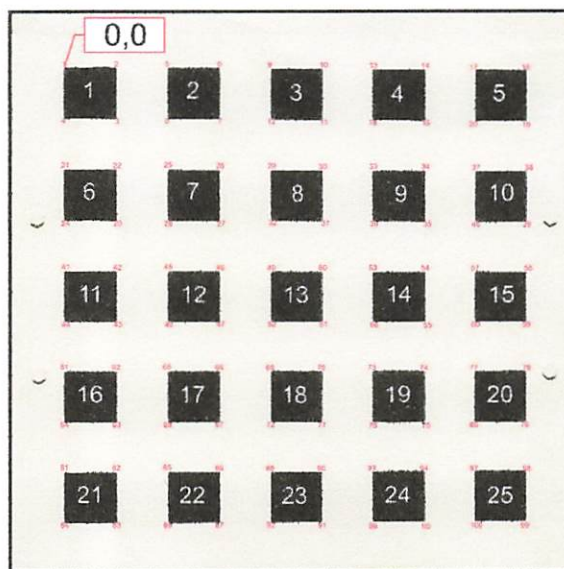
HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang akan dianalisa dalam bab IV diperoleh dengan melakukan perhitungan di *Microsoft Excel* dengan menggunakan metode *Relative Orientation Constraints*.

4.1 Analisa Data

4.1.1 Data papan/ plat kalibrasi

Data papan kalibrasi ini diperoleh dengan cara pengukuran menggunakan kertas kalkir millimeter blok dengan ketelitian ± 1 milimeter. Dimensi dari kotak hitam bujur sangkar rata-rata adalah 5 X 5 centimeter. Jarak antara tiap kotak hitam bujur sangkar rata-rata adalah 5 X 5 centimeter. Dimana data awal yang dihasilkan adalah data jarak antara masing masing titik yang terdapat pada kotak hitam bujur sangkar yang terdapat pada papan kalibrasi.



Gambar 4.1. Papan kalibrasi

Tabel 4.1. Data pengukuran jarak langsung papan kalibrasi.

JARAK LANGSUNG PAPAN KALIBRASI 2D (cm)									
Jarak	1X	2X	3X	4X	5X	6X	7X	8X	MPV
1-2	5.00	4.99	5.00	4.95	5.00	4.95	5.00	5.00	4.986
2-3	5.00	5.00	5.05	5.00	5.00	5.01	5.00	5.00	5.008
3-4	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.000
5-6	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.000
6-7	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.95	5.00	4.994
7-8	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.000
9-10	4.95	4.90	4.95	4.90	4.90	4.90	4.95	4.95	4.925
10-11	5.00	5.00	5.00	5.00	5.05	5.00	5.00	5.00	5.006
11-12	4.95	4.95	5.00	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95	4.956
13-14	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.000
14-15	5.05	5.02	5.01	5.05	5.05	5.01	5.10	5.00	5.036
15-16	4.95	4.95	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.988
17-18	5.00	5.05	5.00	5.05	5.05	5.05	5.00	5.00	5.025
18-19	5.10	5.05	5.05	5.05	5.05	5.08	5.05	5.00	5.054
19-20	5.00	5.05	5.00	5.05	5.05	5.05	5.00	5.00	5.025

Data papan kalibrasi terdapat di: Data Manual\ Pengukuran Manual Papan Kalib 2D .xlsx\ X \ B3-J13.

Tabel 4.2. Data koordinat papan/plat kalibrasi

KOORDINAT PAPAN KALIBRASI		
No	X (cm)	Y (cm)
1	0.00	0.00
2	4.99	0.01
3	5.00	-5.00
4	0.00	-5.00
5	39.87	0.00
6	44.89	0.00
7	44.89	-5.05
8	39.87	-5.06
9	19.93	-20.00
10	24.92	-20.00
11	24.92	-25.04
12	19.93	-25.05
13	0.00	-40.08
14	4.97	-40.075

KOORDINAT PAPAN KALIBRASI		
No	X (cm)	Y (cm)
15	4.97	-45.08
17	39.94	-40.04
18	44.90	-40.03
19	44.90	-45.08
20	39.94	-45.07

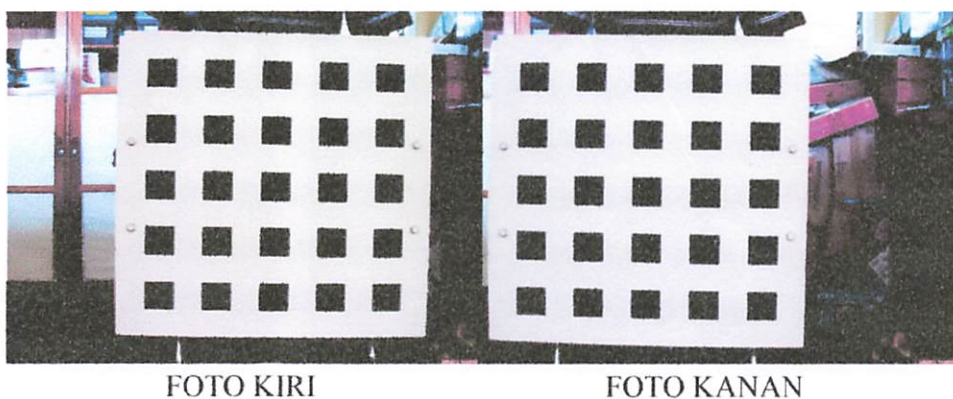
Data papan kalibrasi terdapat di: Data Manual\ Pengukuran Manual Papan Kalib 2D .xlsx\ Koordinat \ U3-W23.

Standart deviasi pengukuran manual papan kalibrasi = 0.016768

4.1.2 Data kamera IP

1. Data foto kamera IP

Adapun data yang diperoleh dari hasil proses penelitian ini ialah berupa data dalam format *video (Avi)* dari masing masing IP yang kemudian diekstrak menjadi 2 (dua) buah foto (foto kiri dan kanan) dalam format Foto (*Jpeg*). Berikut adalah contoh foto yang telah diekstrak.



Gambar 4.2. Foto dari kamera IP kiri dan kanan, jarak antara kamera 20cm.

File terdapat di: \DATA FOTO\ 20 Cm\ L 20 cm.jpg & R 20 cm.jpg.

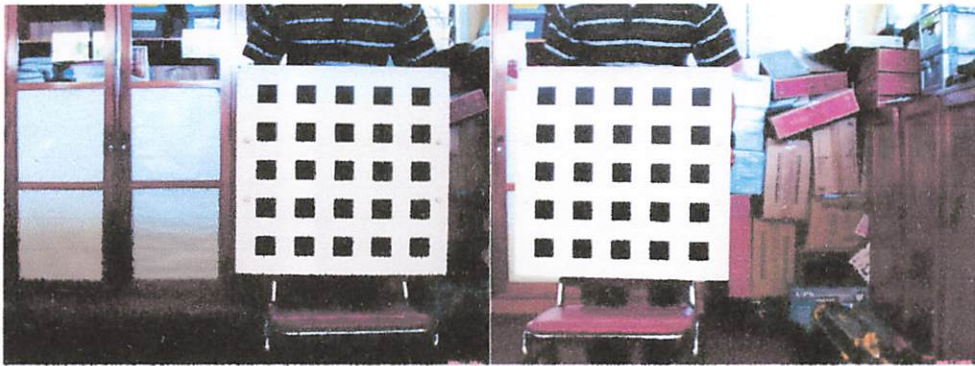


FOTO KIRI

FOTO KANAN

Gambar 4.3. Foto dari kamera IP kiri dan kanan, jarak antara kamera 50cm.

File terdapat di: \DATA FOTO\ 20 Cm\ L 20 cm.jpg & R 20 cm.jpg.



FOTO KIRI

FOTO KANAN

Gambar 4.4. Foto dari kamera IP kiri dan kanan, jarak antara kamera 100cm.

File terdapat di: \DATA FOTO\ 20 Cm\ L 100 cm.jpg & R 100 cm.jpg.

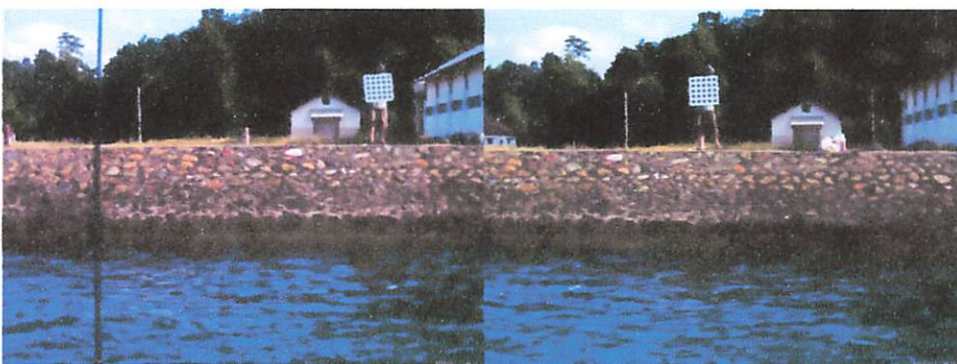


FOTO KIRI

FOTO KANAN

Gambar 4.5. Foto dari kamera IP kiri dan kanan, jarak antara kamera 3.6 M.

File terdapat di: \DATA FOTO\ 3.6m\ L 20 cm.jpg & R 3.6m.jpg.

2. Parameter IO (*interior orientation*) awal yaitu x_0 , y_0 , panjang fokus (f), CCD, Piksel dan ukuran piksel seperti pada tabel (4.3).

Tabel 4.3. Parameter kamera

PARAMETER KAMERA			CCD (mm)	PIKSEL	UKURAN PIKSEL (mm)
FOKUS (mm)	x_0	y_0	5.760	2048	0.0028125
3.100	0.000	0.000	4.320	1536	0.0028125

File terdapat di: DATA HITUNGAN\ 20 cm\ Parameter Kalibrasi 20cm.xlsx\
DATA POINT\ H1-M4.

4.1.3 Data Hasil Perhitungan

4.1.3.1 Konversi Koordinat Piksel

Data perhitungan dalam penelitian ini diperoleh dari hasil konversi *koordinat pixel* dengan menggunakan persamaa 2.15 dan 2.16, menjadi *data koordinat foto* (x , y). sebagai *sampel* dalam penelitian ini digunakan Dua puluh (20) titik.

- a. Dua puluh (20) contoh titik koordinat piksel untuk foto kiri (foto pertama) dan foto kanan (foto kedua).

Tabel 4.4. Nilai koordinat Piksel untuk foto kiri dan kanan

NO	KIRI		KANAN	
	X (<i>pixel</i>)	Y (<i>pixel</i>)	X (<i>pixel</i>)	Y (<i>pixel</i>)
1	1548.000	288.223	897.500	300.170
2	1559.627	288.223	909.170	300.170
3	1559.507	299.913	909.050	311.860
4	1547.957	299.913	897.500	311.860
5	1638.717	283.223	988.260	295.170
6	1649.717	283.053	999.260	295.000
7	1649.727	294.383	999.270	306.330

NO	KIRI		KANAN	
	X (pixel)	Y (pixel)	X (pixel)	Y (pixel)
8	1638.617	294.223	988.160	306.170
9	1595.557	331.053	945.100	343.000
10	1606.797	330.393	956.340	342.340
11	1606.797	341.553	956.340	353.500
12	1595.417	341.253	944.960	353.200
13	1551.957	378.153	901.500	390.100
14	1563.277	378.053	912.820	390.000
15	1563.287	389.103	912.830	401.050
16	1552.017	389.053	901.560	401.000
17	1641.627	373.053	991.170	385.000
18	1653.127	372.883	1002.670	384.830
19	1653.457	383.893	1003.000	395.840
20	1642.297	384.553	991.840	396.500

File terdapat di: DATA HITUNGAN\ 20 cm\ Parameter Kalibrasi 20cm.xlsx\

DATA POINT\ A1-E22.

- b. Sesuai dengan persamaan (2.20) didapat perhitungan konversi dari koordinat *pixel* ke koordinat foto sebagai berikut :

Tabel 4.5. Nilai koordinat foto kiri dan kanan

NO	Foto Kiri		Foto Kanan	
	X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)
1	1.475156	1.347967	-0.354375	1.314366
2	1.507856	1.347967	-0.321553	1.314366
3	1.507518	1.315088	-0.321891	1.281488
4	1.475034	1.315088	-0.354375	1.281488
5	1.730296	1.362029	-0.099113	1.328428
6	1.761234	1.362507	-0.068175	1.328906
7	1.761262	1.330642	-0.068147	1.297041
8	1.730015	1.331092	-0.099394	1.297491
9	1.608909	1.227507	-0.220500	1.193906
10	1.640521	1.229363	-0.188888	1.195763
11	1.640521	1.197976	-0.188888	1.164375
12	1.608515	1.198820	-0.220894	1.165219

NO	Foto Kiri		Foto Kanan	
	X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)
13	1.486284	1.095038	-0.343125	1.061438
14	1.518121	1.095320	-0.311288	1.061719
15	1.518150	1.064242	-0.311259	1.030641
16	1.486453	1.064382	-0.342956	1.030781
17	1.738481	1.109382	-0.090928	1.075781
18	1.770825	1.109860	-0.058584	1.076259
19	1.771753	1.078895	-0.057656	1.045294
20	1.740365	1.077038	-0.089044	1.043438

File terdapat di: DATA HITUNGAN\ 20 cm\ Parameter Kalibrasi 20cm.xlsx\
DATA POINT\ A25-E46.

4.1.3.2 Perhitungan *Relative Orientation*

Untuk mendapatkan nilai matrik rotasi awal maka dilakukan perhitungan *relative orientation* menggunakan program *Relorn*.

Tabel 4.6. *Relative orientation* Pendekatan Dua Buah Foto.

PHOTO ID	ROTASI (RADIANS)			POSISI (cm)		
	Omega	Phi	Kappa	Xo	Yo	Zo
Kiri	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
Kanan	-0.00002	-0.00006	-0.00002	0.99983	0.01840	0.00003

File terdapat di: DATA HITUNGAN\ 20 cm\ Parameter Kalibrasi 20cm.xlsx\
Relative Orientasi\ A33-G36.

4.1.3.3 Perhitungan Matrik Rotasi Foto Kiri dan Kanan

Dari foto kiri dan foto kanan yang telah dihitung nilai omega (ω_0), phi (φ_0) dan kappa (κ_0), maka dapat dihitung matrik rotasi (R) untuk foto kiri (R_L) dan foto kanan (R_R) dengan persamaan (2.5)

$$R_L = \begin{vmatrix} 1.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 1.0000 & 0.0000 \\ 0.0000 & 0.0000 & 1.0000 \end{vmatrix} \quad R_R = \begin{vmatrix} 0.9999 & -0.0055 & 0.0122 \\ 0.0058 & 0.9998 & -0.0216 \\ -0.0121 & 0.0216 & 0.9997 \end{vmatrix}$$

File terdapat di: DATA HITUNGAN\ 20 cm\ Parameter Kalibrasi 20cm.xlsx\

Adjustment EO 1\ A66-I68.

4.1.3.4 Perhitungan IO (*interior Orientation*)

Dalam penelitian ini data yang digunakan adalah foto papan/plat kalibrasi kamera kiri dengan 20 (dua puluh) titik, langkah-langkah perhitungan sebagai berikut.

1. Bentuk dari matriks koefisien A

Untuk mendapatkan nilai dari matriks koefisien A , dapat dilihat

Persamaan (2.13) perhitungan selengkapnya bisa dilihat pada lampiran.

$$A = \begin{vmatrix} -2.3336 & -9.4480 & 0.4537 & 2.6756 & -1.1391 & 1.3378 \\ 2.7407 & 11.0963 & -3.0477 & -0.5307 & -1.3378 & 0.000 \\ -1.3579 & -4.8254 & 1.0253 & 2.6972 & -0.8741 & 1.3486 \\ 2.0950 & 7.4446 & -2.3576 & -1.0839 & -1.3486 & 0.0000 \\ -0.7311 & -2.0903 & 0.4104 & 2.1572 & -0.8511 & 1.0786 \\ 0.9266 & 2.6491 & -1.8359 & -0.4677 & -1.0786 & 0.0000 \\ -1.5485 & -5.2235 & -0.1694 & 2.1356 & -1.1276 & 1.0678 \\ 1.4664 & 4.9466 & -2.4080 & 0.0929 & -1.0678 & 0.0000 \\ 2.4727 & 10.4668 & 0.7807 & 2.8052 & 1.1073 & 1.4026 \\ 3.1320 & 13.2577 & 3.1063 & -0.7015 & -1.4026 & 0.0000 \end{vmatrix}$$

File terdapat di: DATA HITUNGAN\ 20 cm\ Parameter Kalibrasi 20cm.xlsx\

DISTORSI L1\ B54-G93.

2. Nilai matriks pengamatan W

Untuk mendapatkan nilai dari matriks pengamatan W , dapat dilihat Persamaan (2.13) perhitungan selengkapnya bisa dilihat pada lampiran

$$W = \begin{pmatrix} -0.03623 \\ 0.042314 \\ -0.02693 \\ 0.041629 \\ -0.0264 \\ 0.033407 \\ -0.03547 \\ 0.032943 \\ 0.038097 \\ 0.044117 \end{pmatrix}$$

File terdapat di: DATA HITUNGAN\ 20 cm\ Parameter Kalibrasi 20cm.xlsx\
DISTORSI L1\ J54-J93

3. Matriks X

Untuk mendapatkan nilai dari matriks X , dapat dilihat Persamaan (2.13) perhitungan selengkapnya bisa dilihat pada lampiran

$$X = \begin{pmatrix} k1 \\ k2 \\ p1 \\ p2 \\ b1 \\ b2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.05517 \\ 0.009169 \\ 0.000859 \\ -0.00176 \\ 0.000468 \\ 0.000246 \end{pmatrix}$$

File terdapat di: DATA HITUNGAN\ 20 cm\ Parameter Kalibrasi 20cm.xlsx\
DISTORSI L1\ R104-R109

Untuk hitungan yang lebih detail dapat dilihat dilampiran. Untuk proses perhitungan foto kanan dapat dilakukan seperti proses perhitungan foto kiri.

4.1.3.5 Perhitungan EO (*Exterior Orientation*)

1. Nilai *r, s, q*.

Untuk menghitung nilai *R, S, Q* dapat dilihat persamaan (2.9).

Tabel 4.7. Nilai *R, S, Q*. Bentuk dari matriks koefisien *A1*

NO	<i>R mm</i>	<i>S mm</i>	<i>Q mm</i>
1	-22.3984	22.4869	-3.1000
2	-17.4122	22.4869	-3.1000
3	-17.3984	17.4869	-3.1000
4	-22.3984	17.4869	-3.1000
5	17.4703	22.4869	-3.1000
6	22.4953	22.4869	-3.1000
7	22.4953	17.4331	-3.1000
8	17.4703	17.4294	-3.1000
9	-2.4672	2.4869	-3.1000
10	2.5203	2.4869	-3.1000
11	2.5203	-2.5531	-3.1000
12	-2.4672	-2.5594	-3.1000
13	-22.3984	-17.5881	-3.1000
14	-17.4284	-17.5881	-3.1000
15	-17.4284	-22.5919	-3.1000
16	-22.3984	-22.5819	-3.1000
17	17.5453	-17.5519	-3.1000
18	22.5016	-17.5406	-3.1000
19	22.5016	-22.5906	-3.1000
20	17.5391	-22.5831	-3.1000

File terdapat di: DATA HITUNGAN\ 20 cm\ Parameter EO 20cm.xlsx\

Adjustment EO 1\ B78-D97

2. Bentuk dari matriks koefisien *A*

Untuk mendapatkan nilai dari matriks koefisien *A1*, dapat dilihat

Persamaan (2.8) perhitungan selengkapnya bisa dilihat pada lampiran.

$$A1 = \begin{pmatrix} 0.666 & 3.950 & 1.273 & -30.278 & 0.000 & 15.851 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -3.622 & -0.666 & 1.623 & 0.000 & -30.278 & -12.430 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.565 & 3.705 & 1.278 & -30.912 & 0.000 & 13.655 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.598 & 3.446 & 1.812 & -32.427 & 0.132 & 10.811 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -4.158 & -0.612 & 1.035 & 0.061 & -32.748 & -18.383 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.436 & 3.282 & 1.828 & -33.149 & 0.082 & 8.002 & 0 \end{pmatrix}$$

File terdapat di: DATA HITUNGAN\ 20 cm\ Parameter EO 20cm.xlsx\

Adjustment EO 1\ B101-M180

3. Nilai matriks pengamatan L

Untuk menghitung matriks pengamatan L digunakan Persamaan (2.7) yang kemudian menghasilkan susunan matriks sebagai berikut :

$$L = \begin{pmatrix} 0.000009 \\ 0.000406 \\ -0.000117 \\ -0.005047 \\ 0.000083 \\ 0.005441 \\ -0.000003 \\ -0.000187 \\ 0.000168 \\ 0.006286 \end{pmatrix}$$

File terdapat di: DATA HITUNGAN\ 20 cm\ Parameter EO 20cm.xlsx\

Adjustment EO 1\ P101-P180

4. Nilai matriks koreksi X

$$X = \begin{pmatrix} -0.00811747 \\ -0.00345608 \\ -0.00764466 \\ 0.00474838 \\ 0.01143155 \\ 0.00700998 \\ 0.00008856 \\ 0.00002659 \\ 0.00003042 \end{pmatrix}$$

File terdapat di: DATA HITUNGAN\ 20 cm\ Parameter EO 20cm.xlsx\

Adjustment EO 1\ B530-B608

5. Parameter EO terkoreksi

Tabel 4.8. Parameter EO (*Exterior Orientation*) terkoreksi

FOTO	POSISI (cm)			ROTASI (radian)		
	X_0	Y_0	Z_0	Ω	Φ	κ
KIRI	-475.4771	155.2557	42.6573	-0.3223	-0.5357	0.0152
KANAN	-226.8402	130.6208	256.2154	-0.1583	-0.7442	0.0495

File terdapat di: DATA HITUNGAN\ 20 cm\ Parameter EO

20cm.xlsx\ Adjustment EO 1\ G530-P533

Parameter EO terkoreksi ($\Delta\omega$, $\Delta\phi$, $\Delta\kappa$, ΔX_L , ΔY_L , ΔZ_L) yang telah ditambahkan nilai koreksinya.

6. Nilai residu

$$V = \begin{pmatrix} 0.00038242 \\ 0.00000203 \\ 0.00011458 \\ -0.00000243 \\ -0.00004600 \\ -0.00002783 \\ -0.00226188 \\ -0.00043543 \\ 0.00006023 \\ -0.00004733 \\ 0.00025926 \\ -0.00001332 \end{pmatrix}$$

File terdapat di: DATA HITUNGAN\ 20 cm\ Parameter EO

20cm.xlsx\ Adjustment EO 1\ P101-P180

Jika nilai residu belum sesuai maka perlu dilakukan proses iterasi, untuk menghitung nilai residu digunakan Persamaan (2.26).

Untuk data hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

7. Jarak *baseline* dari kamera kiri dan kamera kanan.

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{(X_{0R} - X_{0L})^2 + (Y_{0R} - Y_{0L})^2 + (Z_{0R} - Z_{0L})^2} \\
 &= 203.764 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

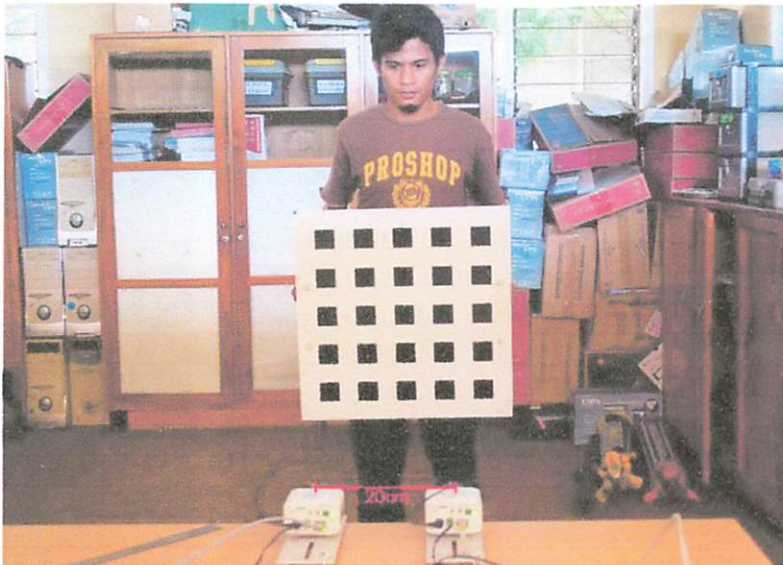
File terdapat di: DATA HITUNGAN\ 20 cm\ Parameter EO

20cm.xlsx\ Adjustment EO 8\ H 539

4.2 Analisis Hasil Penelitian

Dari proses pelaksanaan penelitian yang telah dilakukan baik di laboratorium maupun di lapangan dan dengan menggunakan berbagai jenis data yang telah dikumpulkan. Didapat beberapa parameter IO (*interior orientation*) terdiri dari distorsi radial (k_1, k_2), distorsi tangensial (p_1, p_2) distorsi affinity (b_1, b_2), parameter EO (*exterior orientation*) terdiri dari omega, phi, kapa (ω, ϕ, κ).

4.2.1 Analisis Hasil Untuk Panjang *baseline* 20cm.



Gambar 4.6. jarak *baseline* 20cm

File terdapat di: \DATA FOTO\ 20 Cm\ L 20 cm.jpg & R 20 cm.jpg

Tabel 4.9. Parameter IO (*interior orientation*), *baseline* 20cm

Parameter IO	Kamera Kiri (mm)	Kamera Kanan (mm)
K1	-0.56104	-0.29522
K2	0.05959	0.01478
P1	0.02090	-0.10196
P2	-0.00384	0.00744
B1	0.02090	0.16974
B2	0.00250	-0.08706

File terdapat di: DATA HITUNGAN\ 20 cm\ Parameter Kalibrasi

20cm.xlsx\ DistorsiL\ K113-L119 & DistorsiR\ K113-L119

Tabel 4.10. Parameter EO (*exterior orientation*), *baseline* 20cm

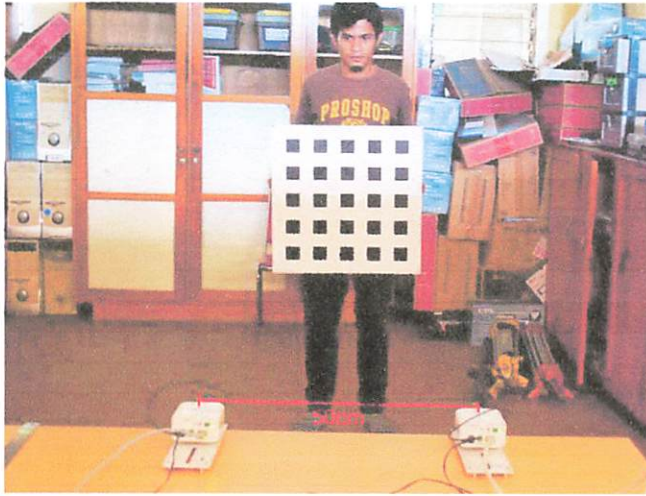
FOTO	POSISI (cm)			ROTASI (radian)		
	Xo	Yo	Zo	Omega	Phi	Kappa
KIRI	0.4193	2.2057	0.2574	-0.0034	0.0198	0.0003
KANAN	19.4914	3.3506	-0.9610	-0.0038	0.0472	0.0025

File terdapat di: DATA HITUNGAN\ 20 cm\ Parameter EO

20cm.xlsx\ Adjustment EO 8\ G530-P533

Dari hasil perhitungan IO (*interior orientation*) dan EO (*exterior orientation*) maka dapat dilakukan proses *intersection* untuk mendapatkan perbandingan antara pengukuran jarak manual papan kalibrasi dengan hasil perhitungan.

4.2.2 Analisa Hasil Untuk Panjang *baseline* 50cm.



Gambar 4.7. jarak *baseline* 50cm

File terdapat di: \DATA FOTO\ 50 Cm\ L 50 cm.jpg & R 50 cm.jpg

Tabel 4.11. Parameter IO (*interior orientation*) untuk *baseline* 50cm

Parameter IO	Kamera Kiri (mm)	Kamera Kanan (mm)
K1	-0.34178	-0.15360
K2	0.03790	0.00916
P1	0.03584	0.00759
P2	-0.00098	0.00145
B1	0.10420	0.01746
B2	-0.04565	0.00699

File terdapat di: DATA HITUNGAN\ 50 cm\ Parameter Kalibrasi

50cm.xlsx\ DistorsiL\ K113-L119 & DistorsiR\ K113-L119

Tabel 4.12. Parameter EO (*exterior orientation*), *baseline* 50cm

FOTO	POSISI (cm)			ROTASI (radian)		
	Xo	Yo	Zo	Omega	Phi	Kappa
KIRI	0.00028	0.00052	0.00020	-0.00001	0.00000	0.00000
KANAN	49.96704	0.84636	-1.59978	-0.00304	0.03636	0.00424

File terdapat di: DATA HITUNGAN\ 50 cm\ Parameter EO

50cm.xlsx\ Adjustment EO 8\ G530-P533

Dari hasil perhitungan IO (*interior orientation*) dan EO (*exterior orientation*) maka dapat dilakukan proses *intersection* untuk mendapatkan perbandingan antara pengukuran jarak manual papan kalibrasi dengan hasil perhitungan.

Terdapat perbedaan jarak *baseline* kamera kiri dan kanan dari pengukuran manual dengan hasil perhitungan.

4.2.3 Analisis Hasil Untuk Panjang *baseline* 100cm.



Gambar 4.8. jarak *baseline* 100cm

File terdapat di: \DATA FOTO\ 100 Cm\ L 100 cm.jpg & R 100 cm.jpg

Tabel 4.13. Parameter IO (*interior orientation*) untuk *baseline* 50cm

Parameter IO	Kamera Kiri (mm)	Kamera Kanan (mm)
K1	-0.10546	-0.13655
K2	0.002061	0.008662
P1	-0.0971	0.005565
P2	0.004498	0.002677
B1	-0.21333	-0.02853
B2	0.003511	-0.0124

File terdapat di: DATA HITUNGAN\ 100 cm\ Parameter Kalibrasi

100cm.xlsx\ DistorsiL\ K113-L119 & DistorsiR\ K113-L119

Tabel 4.14. Parameter EO (*exterior orientation*) baseline 100cm

FOTO	POSISI (cm)			ROTASI (radian)		
	Xo	Yo	Zo	Omega	Phi	Kappa
KIRI	-0.15724	0.15343	0.21182	-0.00174	-0.00214	0.00046
KANAN	99.82897	3.35950	-3.58675	-0.01590	0.05437	0.01126

File terdapat di: DATA HITUNGAN\ Parameter EO 100cm.xlsx\
Adjustment EO 8\ G530-P533

Dari hasil perhitungan IO (*interior orientation*) dan EO (*exterior orientation*) maka dapat dilakukan proses *intersection* untuk mendapatkan perbandingan antara koordinat pengukuran manual papan kalibrasi dengan koordinan hasil pehitungan.

4.2.4. *Back Projection Error*

1. *Back projection error baseline 20 centimeter, data laboratorium.*

Tabel 4.15 *Back projection error baseline 20 centimeter*

NO	Data Papan Kalibrasi (cm)			Hasil Perhitungan (cm)			Selisih (cm)		
	X	Y	Z	X'	Y'	Z'	ΔX	ΔY	ΔZ
1	0.000	0.000	-0.310	0.033	0.021	-0.310	0.033	0.021	0.000
2	4.986	0.000	-0.310	4.961	-0.024	-0.310	-0.025	-0.024	0.000
3	5.000	5.000	-0.310	4.932	4.952	-0.311	-0.068	-0.048	0.001
4	0.000	5.000	-0.310	0.028	5.014	-0.310	0.028	0.014	0.000
5	39.869	0.000	-0.310	39.880	-0.040	-0.311	0.011	-0.040	0.001
6	44.894	0.000	-0.310	44.903	-0.012	-0.310	0.009	-0.012	0.000
7	44.894	5.054	-0.310	44.878	5.082	-0.309	-0.015	0.028	-0.001
8	39.869	5.058	-0.310	39.857	5.097	-0.309	-0.012	0.040	-0.001
9	19.931	20.000	-0.310	19.933	19.999	-0.310	0.002	-0.001	0.000
10	24.919	20.000	-0.310	24.916	20.001	-0.310	-0.003	0.001	0.000
11	24.919	25.040	-0.310	24.930	25.041	-0.309	0.011	0.001	-0.001
12	19.931	25.046	-0.310	19.905	25.059	-0.309	-0.026	0.012	-0.001
13	0.000	40.075	-0.310	0.017	40.055	-0.310	0.017	-0.020	0.000
14	4.970	40.075	-0.310	4.953	40.076	-0.310	-0.017	0.001	0.000
15	4.970	45.079	-0.310	4.968	45.067	-0.310	-0.002	-0.012	0.000

NO	Data Papan Kalibrasi (cm)			Hasil Perhitungan (cm)			Selisih (cm)		
	X	Y	Z	X'	Y'	Z'	ΔX	ΔY	ΔZ
16	0.000	45.069	-0.310	-0.020	45.071	-0.310	-0.020	0.002	0.000
17	39.944	40.039	-0.310	39.942	40.054	-0.310	-0.002	0.015	0.000
18	44.900	40.028	-0.310	44.910	40.059	-0.311	0.010	0.032	0.001
19	44.900	45.078	-0.310	44.890	45.072	-0.310	-0.010	-0.005	0.000
20	39.938	45.070	-0.310	39.931	45.067	-0.310	-0.006	-0.003	0.000

File terdapat di: DATA HITUNGAN\ INTERSEC 20 cm.xlsx \ Iter Intersect
6\ R253-Z273

Dilihat dari hasil perhitungan kalibrasi kamera dengan pengukuran manual papan kalibrasi dapat dinilai bahwa selisih koordinat yang dihasilkan dari perhitungan kalibrasi kamera dengan pengukuran manual papan kalibrasi. Nilai rata-rata $\Delta X = 0.01635\text{cm}$ $\Delta Y = 0.0166\text{cm}$ $\Delta Z = 0.00035\text{cm}$

2. *Back projection error baseline 100 centimeter, data laboratorium.*

Tabel 4.16 *Back projection error baseline 100 centimeter*

NO	Data Papan Kalibrasi (cm)			Hasil Perhitungan (cm)			Selisih (cm)		
	X	Y	Z	X'	Y'	Z'	ΔX	ΔY	ΔZ
1	0.000	0.000	-0.310	-0.149	0.394	-0.310	0.149	-0.394	0.000
2	4.986	0.000	-0.310	4.645	0.251	-0.310	0.341	-0.251	0.000
3	5.000	5.000	-0.310	4.784	5.170	-0.319	0.216	-0.170	0.009
4	0.000	5.000	-0.310	-0.310	5.162	-0.316	0.310	-0.162	0.006
5	39.869	0.000	-0.310	40.144	0.270	-0.300	-0.275	-0.270	-0.010
6	44.894	0.000	-0.310	44.971	0.277	-0.324	-0.077	-0.277	0.014
7	44.894	5.054	-0.310	45.048	5.106	-0.327	-0.155	-0.053	0.017
8	39.869	5.058	-0.310	40.254	5.144	-0.308	-0.385	-0.086	-0.002
9	19.931	20.000	-0.310	19.948	20.039	-0.290	-0.016	-0.039	-0.020
10	24.919	20.000	-0.310	24.953	20.065	-0.288	-0.034	-0.065	-0.022
11	24.919	25.040	-0.310	24.918	24.988	-0.300	0.001	0.052	-0.010
12	19.931	25.046	-0.310	19.968	24.996	-0.292	-0.037	0.051	-0.018
13	0.000	40.075	-0.310	-0.298	39.989	-0.318	0.298	0.086	0.008
14	4.970	40.075	-0.310	4.689	39.851	-0.303	0.281	0.224	-0.007
15	4.970	45.079	-0.310	4.831	44.817	-0.308	0.139	0.262	-0.002
16	0.000	45.069	-0.310	-0.275	44.886	-0.320	0.275	0.183	0.010
17	39.944	40.039	-0.310	40.209	39.889	-0.316	-0.266	0.150	0.006
18	44.900	40.028	-0.310	45.158	39.861	-0.311	-0.258	0.166	0.001
19	44.900	45.078	-0.310	45.197	44.778	-0.320	-0.297	0.300	0.010
20	39.938	45.070	-0.310	40.149	44.777	-0.320	-0.211	0.293	0.010

File terdapat di: DATA HITUNGAN\ INTERSEC 100 cm.xlsx \ Iter Intersect 6\ R253-Z273

Dilihat dari hasil perhitungan kalibrasi kamera dengan pengukuran manual papan kalibrasi dapat dinilai bahwa selisih koordinat yang dihasilkan dari perhitungan kalibrasi kamera dengan pengukuran manual papan kalibrasi. Nilai rata-rata $\Delta X = 0.20105$ cm., $\Delta Y = 0.1767$ cm., $\Delta Z = 0.0091$ cm.

3. *Back projection error baseline 3.6 meter, data lapangan.*

Tabel 4.17 *Back projection error baseline 3.6 meter.*

NO	Data Papan Kalibrasi (cm)			Hasil Perhitungan (cm)			Selisih (cm)		
	X	Y	Z	X'	Y'	Z'	ΔX	ΔY	ΔZ
1	0.000	0.000	-0.310	0.001	0.118	-3.090	0.001	0.118	-0.001
2	4.986	0.000	-0.310	5.088	0.239	-3.101	0.102	0.239	0.000
3	5.000	5.000	-0.310	4.932	5.344	-3.101	-0.068	0.344	0.000
4	0.000	5.000	-0.310	-0.137	5.217	-3.101	-0.137	0.217	0.000
5	39.869	0.000	-0.310	40.123	-0.113	-3.101	0.254	-0.113	0.000
6	44.894	0.000	-0.310	45.071	-0.031	-3.102	0.178	-0.031	0.000
7	44.894	5.054	-0.310	44.941	5.011	-3.102	0.048	-0.043	0.000
8	39.869	5.058	-0.310	39.967	4.848	-3.102	0.099	-0.209	0.000
9	19.931	20.000	-0.310	20.076	20.078	-3.100	0.145	0.078	0.000
10	24.919	20.000	-0.310	25.068	20.041	-3.100	0.149	0.041	0.000
11	24.919	25.040	-0.310	24.937	25.033	-3.100	0.018	-0.007	0.000
12	19.931	25.046	-0.310	19.916	24.835	-3.100	-0.015	-0.211	0.000
13	0.000	40.075	-0.310	-0.063	40.111	-3.099	-0.063	0.036	0.000
14	4.970	40.075	-0.310	4.936	40.212	-3.099	-0.034	0.137	0.000
15	4.970	45.079	-0.310	4.809	45.159	-3.099	-0.161	0.080	0.000
16	0.000	45.069	-0.310	-0.177	45.016	-3.099	-0.177	-0.053	0.000
17	39.944	40.039	-0.310	39.821	39.849	-3.101	-0.122	-0.189	0.000
18	44.900	40.028	-0.310	44.861	39.930	-3.101	-0.039	-0.098	0.000
19	44.900	45.078	-0.310	44.811	44.890	-3.101	-0.089	-0.188	0.000
20	39.938	45.070	-0.310	39.850	44.923	-3.100	-0.087	-0.147	0.000

File terdapat di: DATA HITUNGAN\ INTERSEC 3.6 M.xlsx \ Iter Intersect 6\ R253-Z273

Dilihat dari hasil perhitungan kalibrasi kamera dengan pengukuran manual papan kalibrasi dapat dinilai bahwa selisih koordinat yang dihasilkan dari perhitungan kalibrasi kamera dengan pengukuran manual papan kalibrasi. Nilai rata-rata $\Delta X = 0.0993$ cm., $\Delta Y = 0.12895$ cm., $\Delta Z = 0.00005$ cm.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi penelitian dengan judul “Teknik Kalibrasi Kamera IP Stereo Dengan Papan Kalibrasi 2D dan 3D Pada Wahana Terapung”, Studi Kasus : Pantai Sendang Biru, Kecamatan Sumber Wetan, Kabupaten Malang, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil perhitungan didapat nilai distorsi dari kamera foto kiri dan kanan, distorsi *radial* (k_1, k_2), distorsi *tangensial* (p_1, p_2) dan parameter distorsi *affinity* (b_1, b_2).
2. Dari hasil perhitungan didapat nilai parameter rotasi omega, phi dan kappa (ω, φ dan κ), dan nilai parameter posisi X_0, Y_0, Z_0 .
3. Validasi rata-rata *baseline* 20 cm, nilai koordinat hasil perhitungan dengan pengukuran manual papan kalibrasi. $\Delta X = 0.01635\text{cm}$ $\Delta Y = 0.0166\text{cm}$ $\Delta Z = 0.00035\text{cm}$.
4. Validasi rata-rata *baseline* 100 cm, nilai koordinat hasil perhitungan dengan pengukuran manual papan kalibrasi $\Delta X = 0.20105\text{ cm.}$, $\Delta Y = 0.1767\text{ cm.}$, $\Delta Z = 0.0091\text{ cm.}$
5. Validasi rata-rata *baseline* 3,6 m, nilai koordinat hasil perhitungan dengan pengukuran manual papan kalibrasi $\Delta X = 0.0993\text{ cm.}$, $\Delta Y = 0.12895\text{ cm.}$, $\Delta Z = 0.00005\text{ cm.}$

6. RMSE (*root mean square error*) baseline 20 cm, data laboratorium = 0.004249 cm.
7. RMSE (*root mean square error*) baseline 100 cm, data laboratorium = 0.13908 cm.
8. RMSE (*root mean square error*) baseline 100 cm, data laboratorium = 0.16273 cm.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian “ Teknik Kalibrasi Kamera IP Stereo Dengan Papan Kalibrasi 2D dan 3D Pada Wahana Terapung”, Studi Kasus : Pantai Sendang Biru, Kecamatan Sumber Wetan, Kabupaten Malang, antara lain:

1. Kamera IP yang digunakan tidak baik untuk jarak >2 Meter
2. Untuk hasil maksimal sebaiknya Jarak dari kamera kiri ke kanan maksimal 100cm.
3. Sebaiknya menggunakan kamera yang beresolusi tinggi.
4. Proses pengambilan data sebaiknya dilakukan pada siang hari, karena proses pencahayaan sangat berpengaruh dengan kamera IP.
5. Bagi peneliti yang ingin melanjutkan penelitian ini, disarankan untuk menggunakan bahasa pemrograman C#.

DAFTAR PUSTAKA

- Atkinson, K.B. 1999. *Close Range Photogrammetry and Mechine Vision*. Whittles Publishing.
- Brown, D. C. (1976). *The Bundle Method of Photogrammetric Triangulation*. Melbourne, Florida, Geodetic Services, Inc.: 95.
- Cooper, M.A.R. and Robson, S., 2001. *Theory Of Close Range Photogrammetry*. Wittles Publishing, London.
- Dorstel, C. 1996. Digital Photogrammetry. To be published in the Proceedings of XVIII ISPRS-Congress, Vienna, Australia.
- Farid, M. 2005 *Pembangunan Sistem Perolehan Imej Fotogrametri Digital Jarak Dekat Bagi Pengukuran Craniofacial*, Fakulti Kejuruteraan Dan Sains Geoinformasi, Universiti Teknologi Malaysia.
- Fryer, J,G 1989. Camera Calibration in Non-Topographic Photogrammetry. In: Ed. H.M. Karara, *Non-Topographic Photogrammetry*. American Seociety for Photogrammetry and Remote Sensing, Falls Church, Virginia.
- Fraser, C. S. (1997). Photogrammetric Orientation : *Transformation from Image to Object Space*. Photogrammetry 451-447. Melbourne, The University of Melbourne.
- Fraser, C. S. 2006a. *Evolution of Network Orientation procedures*. ISPRS. XXXVI. 114-120.
- Geosystem, L., 2006. *Leica Photogrammetry Suite Project Manager*, Leica Geosystems Geospatial Imaging, USA.
- Hanifa, 2007. *Studi Penggunaan Kamera Digital Low-Cost Non Metric Auto-Focus Untuk Pemantauan Deformasi*, Program Studi Teknik Geodesi dan Geoinformatika, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung.
- Karara, H. M. 1989 *Non-Topographic Photogrammetry : Second Edition*, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- Mikhail, J. S. Bethel, et al. (2001). *Introduction To Modern Photogrammetry*. New York, John Wiley & Sons, Inc.
- Photometrix, 2004. Version 6.01. User Manual Australis. Digital Close Range Photogrammetric Image Measurmet. Australia.
- Ruther, H., 1989/ *An Overview of Software in Non-topographic Photogrammetry*. In : *Non-topographic Photogrammetry*. 2nd Edition. American Society for

Photogrammetry and Remote Sensing. Falls Church, Virginia, USA.
pp129-145.

Schut, G., H. (1980). "*Block Adjustment of Bundles.*" *The Canadian Surveyor* 34(2): 139-152.

Shirkhani, A., D. M. Varshosaz, et al. (2006). *3D Coordinate Measurement of Dam by Close Range Photogrammetry.* Department of Photogrammetry and Remote Sensing. Tehran, K.N. Toosi University of Technology.

Spie, 1992. *Stereo Camera Calibration with Relative Orientation Constraints*, Volume 1820. The Ohio State University 1216 Kinnear Rd Columbus, Ohio, USA.

Tanzil, A. 2010. Penentuan nilai orientasi awal kamera dan koordinat tiga-dimensi menggunakan foto stereo. Jurusan Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan.

Wolf, P. R. 1980. *Adjustment Computations (Practical Least Square for Surveyors).* Madison Wisconsin

Wolf, P. R. (1993). *Element of Photogrammetry With Air Photo Interpretation and Remote Sensing*, Second edition. Madison, The University of Wisconsin.

Wolf, P. R. and B. A. Dewitt (2000). *Element of Photogrammetry With application in GIS 3rd Edition.* New York, McGraw-Hill companies.

LAMPIRAN

