

SKRIPSI

DESAIN SISTEM PEMETAAN CEPAT (RAPID MAPPING)

DENGAN MENGINTEGRASIKAN SENSOR CCTV-GPS

(Aplikasi Metode Photogrametry Untuk Survey-Pemetaan Terpadu Jalan Raya)



MILIK
PERPUSTAKAAN
ITN MALANG

Disusun Oleh :

Wayan Ginarta 05.25.007

**JURUSAN TEKNIK GEODESI S-I
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
MALANG
2010**

SKRIPSI

DESAIN SISTEM PENYETAAN CEPAT (QUICK RESPONSE)
DENGAN MENYERANGKAN KEMERDIAAN DATA
- Dalam bentuk Proposal dan Laporan Akhir

MILIK
PERPUSTAKAAN
ITM MALANG

Disusun oleh :
1. Wahyu Nugroho 08.33.001

JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL
MALANG
2018

LEMBAR PENGESAHAN

Desain Sistem Pemetaan Cepat (Rapid Mapping) Dengan Mengintegrasikan Sensor CCTV-GPS

(Aplikasi Metode Photogrametry Untuk Survey-Pemetaan Terpadu Jalan Raya)

TUGAS AKHIR

Dipertahankan di hadapan Panitia Penguji Skripsi Jurusan Teknik Geodesi,
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang.
Dinyatakan Lulus dan diterima untuk memenuhi syarat guna memperoleh gelar
Sarjana Strata Satu (S-1) Teknik Geodesi.

Hari/tanggal : Sabtu, 21 Agustus 2010

Disusun oleh :

I Wayan Ginarta

05.25.007

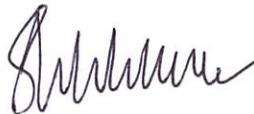
Panitia Ujian Tugas Akhir

Ketua



Hery Purwanto, ST, M.Sc

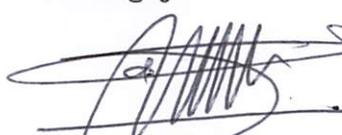
Sekretaris



Silvester Sari Sai, ST, MT

Anggota Penguji

Penguji I



Ir. Agus Darpono, MT

Penguji II



Hery Purwanto, ST, M.Sc

Penguji III



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

JURUSAN TEKNIK GEODESI

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL

MALANG

2010

**LEMBAR PERSETUJUAN
TUGAS AKHIR**

**Desain Sistem Pemetaan Cepat (Rapid Mapping) Dengan Mengintegrasikan
Sensor CCTV-GPS**

(Aplikasi Metode Photogrametry Untuk Survey-Pemetaan Terpadu Jalan Raya)

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Geodesi
Strata Satu (S-1)
Institut Teknologi Nasional Malang

Disusun Oleh :

I Wayan Ginarta

05.25.007

Meyetujui,

Dosen Pembimbing I



Ir. Leo Pantimena, M.Sc

Dosen Pembimbing II



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

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Geodesi S-1



Hery Purwanto, ST, M.Sc

Abstraksi

Mobile Mapping Sistem (MMS) merupakan sebuah sistem Survei-Pemetaan Terpadu Jalan Raya yang bertumpu pada 'georeferencing' tentang geografi dan topografi dalam fotogrametri digital dan membuat sebuah peta digital dengan menggunakan kamera CCTV dan didukung oleh teknik pengukuran GPS dalam penentuan posisi (Wong, 2006). Keunggulan dari sistem MMS adalah dapat secara langsung menggeoreferensikan sensor pemetaan (Wong, 2006). Sensor pemetaan tersebut direferensikan pada saat posisi dan relatif orientasi suatu pemetaan diketahui koordinatnya. Georeferensi dapat digunakan untuk menentukan posisi titik yang disurvei dan menyamakan sistem koordinat dengan bidang peta, hal itu dilakukan oleh sistem navigasi MMS langsung pada waktu pengukuran dan bertujuan untuk mengetahui posisi dan orientasi.

Kata kunci : *Mobile Mapping Sistem (MMS), Georeferensi, CCTV dan GPS*

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : **I Wayan Ginarta**

NIM : **05.25.007**

Program Studi : **Teknik Geodesi S-1**

Fakultas : **Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi saya dengan judul “**Desain Sistem Pemetaan Cepat (Rapid Mapping) Dengan Mengintegrasikan Sensor CCTV-GPS (Aplikasi Metode Photogrametry Untuk Survey-Pemetaan Terpadu Jalan Raya)**” adalah hasil karya saya sendiri, bukan merupakan duplikat serta tidak mengutip atau menyadur dari hasil karya orang lain kecuali disebutkan sumbernya.

Malang, September 2010

Yang membuat pernyataan

I Wayan Ginarta
05.25.007

KATA PENGANTAR

Tuhan-ku, kuingin panjatan rasa syukur yang tak terhingga kupersembahkan pada-Mu. Kutunduk dan bersujud, mulai mengucap syukur atas semua jawaban dari lelahnya jiwa dan beratnya langkah ini untuk menyelesaikan kewajibanku sebagai seorang mahasiswa. Cara-Mu telah lancarkan aku dalam penyelesaian Tugas Akhir yang berjudul:

DESAIN SISTEM PEMETAAN CEPAT (RAPID MAPPING) DENGAN MENGINTEGRASIKAN SENSOR CCTV-GPS

(Aplikasi Metode Photogrametry Untuk Survey-Pemetaan Terpadu Jalan Raya)

Dan tulisan ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Geodesi di Institut Teknologi Nasional Malang.

Dengan segenap kesantunan dan kerendahan hati, tulisan ini turut mengantarkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya untuk setiap orang yang telah memberikan semua hal yang terbaik dan dukungan yang tak terbalaskan.

1. Hery Purwanto, ST. MSc. selaku ketua jurusan Teknik Geodesi.
2. DR. Edwin Tjahjadi, ST. M.Geo.Sc. selaku dosen pembimbing dan pemberi ide untuk mengangkat serta mengembangkan penelitian ini.
3. Ir. Leo Pantimena, MSc. yang selaku dosen pembimbing dalam penulisan Tugas Akhir ini.
4. Kelompok Rapid Mapping dan Deformasi yang merupakan bagian dari penghuni Lab. SIG yang telah banyak membantu dan melancarkan tugas ini.

Ini hanyalah sebuah tulisan yang tak berdasar dan bermaksud untuk memberikan nuansa baru dalam pengembangan ilmu fotogrametri di jurusan geodesi, dan dengan segala kebijakan dan segala hormat kami terhadap semua pihak yang tersakiti dan dikecewakan dengan ketidakwarasan tulisan ini, kami mohon maaf dan berharap ketulusan hati dari saudara sekalian tuk memberkatinya.

Malang, 28 Agustus 2010

Penyusun

KATA PENGANTAR

Tuhan-ku, kuingin panjatan rasa syukur yang tak terhingga kupersembahkan pada-Mu. Kutunduk dan bersujud, mulai mengucap syukur atas semua jawaban dari lelahnya jiwa dan beratnya langkah ini untuk menyelesaikan kewajibanku sebagai seorang mahasiswa. Cara-Mu telah lancarkan aku dalam penyelesaian Tugas Akhir yang berjudul:

DESAIN SISTEM PEMETAAN CEPAT (RAPID MAPPING) DENGAN MENGINTEGRASIKAN SENSOR CCTV-GPS

(Aplikasi Metode Photogrametry Untuk Survey-Pemetaan Terpadu Jalan Raya)

Dan tulisan ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Geodesi di Institut Teknologi Nasional Malang.

Dengan segenap kesantunan dan kerendahan hati, tulisan ini turut mengantarkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya untuk setiap orang yang telah memberikan semua hal yang terbaik dan dukungan yang tak terbalaskan.

1. Hery Purwanto, ST. MSc. selaku ketua jurusan Teknik Geodesi.
2. DR. Edwin Tjahjadi, ST. M.Geom.Sc. selaku dosen pembimbing dan pemberi ide untuk mengangkat serta mengembangkan penelitian ini.
3. Ir. Leo Pantimena, MSc. yang selaku dosen pembimbing dalam penulisan Tugas Akhir ini.
4. Kelompok Rapid Mapping dan Deformasi yang merupakan bagian dari penghuni Lab. SIG yang telah banyak membantu dan melancarkan tugas ini.

Ini hanyalah sebuah tulisan yang tak berdasar dan bermaksud untuk memberikan nuansa baru dalam pengembangan ilmu fotogrametri di jurusan geodesi, dan dengan segala kebijakan dan segala hormat kami terhadap semua pihak yang tersakiti dan dikecewakan dengan ketidakwarasan tulisan ini, kami mohon maaf dan berharap ketulusan hati dari saudara sekalian tuk memberkatinya.

Malang, 28 Agustus 2010

Penyusun

Persembahan Dari Hati

Tuhan-ku, kuingin panjatan rasa syukur yang tak terhingga kupersembahkan pada-Mu. Kutunduk dan bersujud, mulai mengucap syukur atas semua jawaban dari lelahnya jiwa dan beratnya langkah ini untuk menyelesaikan kewajibanku sebagai seorang mahasiswa. Cara-Mu telah lancarkan aku dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, dan dengan ini penulis dapat menyelesaikan studi di kampus tercinta “ITN Malang”, serta dapat melanjutkan setengah kehidupan lagi hingga batas waktu yang Kau tentukan.

Dengan segenap kesantunan dan kerendahan hati, tulisan ini turut mengantarkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya untuk setiap orang yang telah memberikan semua hal yang terbaik dan dukungan yang tak terbalaskan.

1. Untuk Ayah dan Ibu-ku tercinta,

Dengan tetesan air mata yang tak tertahan pada renungan malam Geodesi Minded 2005 yang menyadarkanku atas keberadaan kalian, serta bayangan wajah kalian yang selalu mengantarkan rasa rindu ini dari kejauhan pada setiap kebersamaan yang kita lewati. Untuk yang terakhir, nama kalian kutuliskan pada tugas terakhirku sebagai mahasiswa dan turut mengantarkan rasa terimakasih yang selama ini anakmu dirantau. Dari semua ungkapan dan pengakuan seorang anak di setiap laporan yang kutulis, mungkin tak terdengar, tak terbaca, tak tersentuh, dan tak terpikirkan. Tapi aku selalu berharap, Tuhan dan malam dapat mengantarkan semua ketulusan perasaan yang tak pernah

aku ungkap langsung dari mulut ini, hingga disana kalian dapat merasakannya. Maaf atas segala dosa dan kesalahan dari setiap tindakan dan kata, hingga membuat Ibu menangis dan Ayah marah serta bercampur dengan kekecewaan yang mendalam memiliki anak sepertiku. Tersenyumlah Ayah dan Ibu-ku tercinta, karena dengan senyum kalian semoga dapat tertebus sedikit dosa seorang anak. Dan dengan ini aku turut sertakan; seorang Nenek yang selalu menungguku pulang dengan sisa ketuaannya, kedua adikku (Komang dan Ratna) sebagai penyambung lidah antara aku dengan Ayah dan Ibu. Terimakasih karena selama ini kalian bertiga telah membela segala kekonyolanku di depan mereka, dan maaf karena selama ini aku selalu jadi yang utama diantara kalian berdua (Komang dan Ratna).

Untuk kalian Toga dan Ijasah ini aku persembahkan....

2. Kepada Pak Edwin,

Sosok dosen yang baru saya kenal dengan sebuah ilmu yang baru saya tahu. Dari Bapak saya belajar hal baru tentang Fotogrametri, dan Bapak telah memberikan saya kepercayaan yang besar untuk membuat terobosan baru di Geodesi ITN ini. Terima Kasih untuk semua yang berharga itu, mungkin tanpa hal tersebut saya akan selalu menjadi orang kecil yang tak tahu hal-hal besar yang terjadi di luar sana.

3. Kepada Pak Hery

Sebuah fragmen yang tak pernah lelah memberikan hal yang terbaik untuk saya, dari ilmu hingga wejangan yang selalu melekat di jiwa saya. Anda yang membawa awal perubahan di Geodesi ITN yang dapat saya rasakan, dan anda telah banyak membantu dalam kegiatan penyelesaian tugas akhir ini. Di ITN anda adalah seorang dosen, tapi diluar sana anda adalah seorang bapak yang senantiasa memberi saya makan selama merantau disini. Saya rasa tak cukup terima kasih ini untuk semua itu, tapi saya pula tak bisa memberikan yang lebih dari itu. Hanya tersisa rasa hormat dan santun sebagai balasan dari semua budi tersebut untuk anda...

4. Untuk Keluarga Besar Geodesi ITN Malang

Mungkin hanya dengan sebuah goresan tangan yang tak berbekas ini aku ucapkan rasa terima kasih untuk kalian yang pernah ada dan yang masih ada dalam keterikatan Geodesi ITN Malang. Kalian telah memberikan semangat baru di setiap nafas Geodesi Minded, meskipun penyiksaan melebihi latihan tempur dan bertubi-tubi tapi itulah inti dari GM. Terima kasih dengan sebuah konsep Geodesi Minded yang membangkitkan semangat rasa saling memiliki dan rasa sepenanggungan. Disini kita bertemu, dan semoga tak disini rasa memiliki itu berakhir. Terimakasih untuk semua dukungan dan rasa yang kalian berikan padaku, serta kebersamaan yang hanya tinggal kenangan.

5. Untuk Dua Belas Saudaraku, Geodesi'05

Dengan terselesaikan tulisan ini, berakhir pula perjuangan kita bersama-sama. Pertemuan kita yang secara tak sengaja telah membawa kita pada setiap kenangan yang mungkin tak semuanya dapat diabadikan dalam lembaran album. Dan foto yang kita miliki sekitar 31GB tak mungkin dapat mewakili setiap kesusahan dan kesenangan yang kita lewati, tapi itu sudah cukup untuk mengabadikan persahabatan kita selama ini. Dalam tulisan terakhir ini aku ucapkan terimakasih pada kalian semua, dan maaf atas semua kata dalam ejekan atau amarah serta tindakan di setiap kegilaan, semoga kalian tak pernah merasa lelah berlari bersamaku di sini, di Geodesi ITN Malang. Dan bila besok kita tak bisa melihat matahari dari tempat yang sama serta tak menginjak bumi yang sama pula, persahabatan ini akan selalu aku simpan di setiap resapan udara dalam raga dan kita akan selalu ada dengan semangat Geodesi '05. Selamat berjuang sahabatku semua dan selamat menyapa matahari di ufuk baru tempat kalian berpijak. Terima kasih Tuhan, Engkau telah anugerahkan mereka untuk temani kehidupanku di ITN.

6. Yang terakhir untuk Dewi Malamku,

Terimakasih atas keberadaanmu disisiku, atas segala rasa dan karsa yang menciptakan sebuah kasih dan dukungan yang penuh kesabaran. Engkau selalu datang menggantikan siang, membasuh muka dan menjauhkan aku dari teriknya hari, serta memberikan inspirasi dalam

setiap sunyinya kegelapan. Bisikanmu dari kejauhan, bantu aku melewati ini semua. Cerita ini ada karna kamu, dan akan tetap ada untuk rasakan itu semua.

Ini hanyalah sebuah tulisan yang tak berdasar dan bermaksud untuk menuangkan rasa hati yang tertinggal di antara kebisuan dinding kamar, dan dengan segala kebijakan dan segala hormat saya terhadap semua pihak yang tersakiti dan dikecewakan dengan ketidakwarasan tulisan ini, saya mohon maaf dan berharap ketulusan hati dari saudara sekalian tuk memberkatinya.

Pojok Kamar Joyo Grand 6/97
15 Maret 2011



Waterpass



Total Station



Photogrammetry

DAFTAR ISI

Lembar Judul	
Lembar Pengesahan	i
Lembar Persetujuan	ii
Abstraksi	iii
Pernyataan Keaslian Skripsi	iv
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Tabel	x
Daftar Gambar	xi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Tinjauan Pustaka	4

BAB II DASAR TEORI

2.1 Pendahuluan	6
2.2 Mobile Mapping System (MMS)	6
2.2.1 Gambaran Tentang MMS	7
2.2.2 Sejarah Perkembangan MMS.....	9
2.3 Konsep Penentuan Posisi	13
2.4 Proyeksi Peta dan Sistem Koordinat	17
2.4.1 Proyeksi Peta.....	17
2.4.2 Sistem Koordinat.....	19
2.5 Image Matching	21
2.5.1 Area-Based Matching	22
2.5.1.1 Teknik Cross-Correlation.....	22
2.5.1.2 Teknik Least-Square Matching (LSM).....	26
2.5.1.2.1 Prosedur Perhitungan LSM	27

2.5.1.2.2 Nilai pendekatan yang disarankan	33
2.5.2 Feature-Based Matching	34
2.6 Kalibrasi Kamera.....	34
2.6.1 Distorsi Radial	35
2.6.2 Distorsi Tangensial	37
2.6.3 Distorsi Affinity	38
2.7 Resection dan Intersection	39
2.7.1 Resection.....	39
2.7.2 Intersection.....	41
2.8 Penyamaan Sistem Koordinat Antar Model	42
2.8.1 Konversi Koordinat	43
2.8.2 Macam-macam Radius Kurva.....	44
2.8.3 Konversi Koordinat Geodetik ke Koordinat Kartesian	45
2.8.4 Konversi koordinat Kartesian ke Koordinat Geodetik	45
2.8.5 Konversi Koordinat Geodetik ke Koordinat Grid Peta.....	47
2.8.6 Absolut Orientasi.....	49
2.8.6.1 Transformasi Koordinat Konform 3 Dimensi	50
2.8.6.1.1 Faktor Rotasi.....	51
2.8.6.1.2 Skala dan Translasi	57
2.8.6.2 Penentuan Nilai Pendekatan Parameter Transformasi	58
2.8.6.2.1 Nilai Pendekatan Faktor Skala.....	59
2.8.6.2.2 Nilai Pendekatan Faktor Rotasi	59
2.8.6.2 Proses Perataan Parameter Transformasi	65

BAB III PELAKSANAAN PENELITIAN

3.1 Pendahuluan	69
3.2 Persiapan Penelitian	69
3.3 Pelaksanaan Penelitian	72
3.4 Langkah Pengerjaan	76
3.4.1 Kalibrasi Kamera.....	76
3.4.2 Sistem Desain	78
3.4.3 Proses Pengukuran.....	80
3.4.4 Prosesing Data Untuk Penentuan Titik Pada Foto Stereo.....	82

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perhitungan	83
4.1.1 Data Kalibrasi Kamera.....	83
4.1.2 Data Pengukuran Jalan Raya Menggunakan CCTV	85
4.1.3 Data Pengukuran Menggunakan Total Station (TS)	87
4.1.4 Hasil Transpormasi Koordinat Foto ke Sistem Lokal	88
4.2 Analisa Hasil Pengukuran.....	96
4.2.1 Analisa Dari Perbandingan Koordinat Yang Dihasilkan.....	98
4.2.2 Analisa Hasil Jarak Antar Titik.....	98
4.2.3 Analisa Hasil Ketelitian Objek.....	100
4.3 Penyajian Hasil.....	101

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.3 Kesimpulan	102
5.2 Saran.....	104

Daftar Pustaka

Lampiran A

Lampiran B

Lampiran C

Lampiran D

DAFTAR TABEL

<i>Tabel 1.1: Perbandingan Teknik Pengumpulan Data Spasial.....</i>	<i>2</i>
<i>Tabel 2.1: Implementasi dari Land-base Mobile Mapping System.....</i>	<i>12</i>
<i>Tabel 2.2: Akurasi GPS pada Baseline 10 km</i>	<i>15</i>
<i>Tabel 2.3: Desain matrikss least-square.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabel 2.4: Perbandingan antar sistem koordinat.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabel 4.1: Data Koordinat Objek Space.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabel 4.2: Data Koordinat Hasil Total Station dengan Sistem Lokal.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabel 4.3: Komparasi Hasil Dalam Sistem Koordinat Lokal Dari Objek Space Point.....</i>	<i>97</i>
<i>Tabel 4.4: Data Pengukuran Lebar Jalan</i>	<i>99</i>
<i>Tabel 4.5: Data Ukuran Pada Sisi Kiri Jalan.....</i>	<i>99</i>
<i>Tabel 4.6: Data Ukuran Pada Sisi Kanan Jalan.....</i>	<i>99</i>
<i>Tabel 4.7: Hasil Dari Pengolahan Data Foto.....</i>	<i>100</i>

DAFTAR GAMBAR

<i>Gambar 2.1 Metode Penentuan Posisi dengan GPS</i>	14
<i>Gambar 2.2 Penentuan Posisi Mobil Terhadap Arah Utara</i>	16
<i>Gambar 2.3 Sistem Koordinat Kartesian dan Geodetik</i>	20
<i>Gambar 2.4 Sistem Koordinat Kartesian Pada Toposentrik</i>	21
<i>Gambar 2.5 Contoh dua buah foto dalam Bentuk Visual</i>	25
<i>Gambar 2.6 Representatif foto dalam bentuk matriks</i>	25
<i>Gambar 2.7 Konsep Area-Based Matching</i>	28
<i>Gambar 2.8 Permodelan dari Radial Distortion</i>	37
<i>Gambar 2.9 Distorsi Tangensial</i>	38
<i>Gambar 2.10 Reseksi foto pada Rapid Mapping</i>	41
<i>Gambar 2.11 Sistem koordinat 3D XYZ dan xyz arah kanan</i>	50
<i>Gambar 2.12 Rotasi ketiga sudut</i>	52
<i>Gambar 2.13 Rotasi phi pada sumbu putar y1</i>	53
<i>Gambar 2.14 Rotasi kappa pada sumbu putar z2</i>	54
<i>Gambar 2.15 Tinggi dari sisi yang terpanjang</i>	60
<i>Gambar 3.1 Papan Kalibrasi</i>	70
<i>Gambar 3.2 GPS Differential</i>	71
<i>Gambar 3.3 Radio Link PDL Pasific crash base</i>	71
<i>Gambar 3.4 Radio Link EDL Pasific crash rover</i>	71
<i>Gambar 3.5 Kamera CCTV</i>	71
<i>Gambar 3.6 Frame Grabber</i>	71
<i>Gambar 3.7 Diagram Alir Persiapan Pengukuran dan Kalibrasi Kamera</i>	73
<i>Gambar 3.8 Diagram Alir Proses Pengambilan Data</i>	74
<i>Gambar 3.9 Diagram Alir Pada Prosesing Data</i>	39
<i>Gambar 3.10 (a): Posisi Papan 1; (b): Posisi Papan 2; (c): Posisi Papan 3; (d): Posisi Papan 4</i>	78
<i>Gambar 3.11 Sistem Desain Pemetaan Cepat yang Terpasang pada Kap Mobil</i>	79

<i>Gambar 3.12 (kiri): Stasiun DGPS (base station); (kanan-atas): Sistem Pemetaan Cepat yang Dipasang Pada Mobil; (kanan-bawah): Laptop sebagai alat monitoring dan controller dalam pengambilan data posisi dan gambar</i>	<i>81</i>
<i>Gambar 3.13 Ilustrasi foto-foto yang direkam dari kamera kiri dan kanan.....</i>	<i>81</i>
<i>Gambar 4.1 Data Koordinat Papan Kalibrasi.....</i>	<i>83</i>
<i>Gambar 4.2 Kalibrasi kamera dengan foto stereo dari papan kalibrasi</i>	<i>84</i>
<i>Gambar 4.3 Output Program Untuk Foto Stereo.....</i>	<i>85</i>
<i>Gambar 4.4 Proses data foto stereo pada jalan.....</i>	<i>86</i>
<i>Gambar 4.5 Bentuk Strength of Figure dari titik kontrol</i>	<i>89</i>
<i>Gambar 4.6 Ilustrasi foto-foto yang direkam dari kamera kiri dan kanan</i>	<i>96</i>
<i>Gambar 4.7 Ilustrasi ukuran jarak pada jalan yang disurvei.....</i>	<i>98</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di Indonesia, pembangunan teknologi sistem pemetaan dengan *Mobile Mapping Sistem (MMS)* masih berada di peringkat awal. *Mobile Mapping Sistem (MMS)* sendiri merupakan sebuah sistem Survei-Pemetaan Terpadu Jalan Raya yang bertumpu pada 'georeferencing' tentang geografi dan topografi dalam fotogrametri digital dan membuat sebuah peta digital dengan menggunakan kamera CCTV dan didukung oleh teknik pengukuran GPS dalam penentuan posisi (Wong, 2006). Sistem ini mengintegrasikan peralatan GPS dan kamera CCD (*Charge Coupled Device*) yang dikombinasikan pada sebuah mobil dalam melakukan pengukuran. Keunikan sistem ini terdapat pada kemampuannya untuk melakukan 'georeference' pada kamera CCTV dengan GPS. Biasanya dalam perencanaan dan pemetaan jalan raya menggunakan alat ukur konvensional, seperti menggunakan alat ukur *Theodolite* ataupun *Total Station*.

Dalam hal ini, *Mobile Mapping Sistem (MMS)* adalah suatu teknologi yang kemungkinan dapat menjadi jalan keluar terbaik dalam melakukan pengumpulan data. Kelebihan dari sistem ini terdapat pada penghematan biaya dan efisiensi waktu dalam pengumpulan data, serta sistem ini memiliki kelebihan tambahan; dimana, informasi data spasial dan data atribut dapat dijadikan determinan dari data penginderaan jauh yang selanjutnya data tersebut dijadikan arsip dan revisi dalam penambahan data tanpa perlu melakukan pengukuran lagi ke lapangan. Dari hal tersebut dapat disimpulkan, keunggulan *Mobile Mapping Sistem (MMS)* yang

paling utama adalah bisa mendapatkan data dengan cepat dan dengan biaya yang minimal.

Adapun perbandingan dari teknik-teknik pengumpulan data spasial dalam bidang pemetaan dapat ditunjukkan oleh tabel di bawah ini :

Tabel 1.1 : Perbandingan Teknik Pengumpulan Data Spasial

Teknik pemetaan	Kekurangan	Keuntungan
Close-Range Photogrammetry	<ul style="list-style-type: none"> - Penentuan titik kontrol sangat susah dan mahal 	<ul style="list-style-type: none"> - Pengumpulan data yang cepat - Data bisa dijadikan arsip dan dapat direvisi
Pemetaan Terestris	<ul style="list-style-type: none"> - Membutuhkan banyak pekerja dan lambat - Tidak cocok untuk pemetaan wilayah yang luas 	<ul style="list-style-type: none"> - Keakurasian data relatif yang cukup tinggi
Survei GPS	<ul style="list-style-type: none"> - Tidak cocok untuk pengukuran di pusat kota atau area hutan - Kurang efektif untuk pemetaan wilayah yang sangat luas 	<ul style="list-style-type: none"> - Membutuhkan keahlian yang sedikit - Memiliki akurasi data relative dan absolute yang tinggi
Aerial Photogrammetry	<ul style="list-style-type: none"> - Penetapan titik kontrol yang sulit dan mahal - Hasil survei yang tidak sempurna - Tergolong sistem yang sangat mahal - Bergantung pada cuaca 	<ul style="list-style-type: none"> - Perolehan data yang cepat - Pengumpulan data dapat secara otomatis - Datanya sebuah arsip dan dapat direvisi
Mobile Mapping Sistem (MMS)	<ul style="list-style-type: none"> - Perencanaan awal sistem ini memerlukan biaya banyak 	<ul style="list-style-type: none"> - Memerlukan titik kontrol yang sedikit dan hampir tidak - Pengumpulan data yang sangat cepat, pada wilayah survei yang luas sekalipun - Memiliki akusisi data yang efektif - Data berupa arsip dan dapat direvisi

1.2 Identifikasi Masalah

Seperti yang telah dijelaskan pada latar belakang, permasalahan yang akan diidentifikasi dalam penulisan ini adalah bagaimana proses pengambilan data dengan menggunakan sistem pemetaan cepat (*rapid mapping*), hingga proses analisa data serta menganalisa segala kekurangan dan kelebihan dari penggunaan sistem ini.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan pembahasan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah mengintegrasikan sensor CCTV dengan GPS dan menganalisa hubungan antar algoritma pada setiap tahapan yang dilakukan dari proses pengkalibrasian kamera CCTV, *image matching*, *resection*, *intersection*, hingga menghasilkan sebuah foto yang mengandung koordinat dalam sistem GPS. Pada proses ini menggunakan perangkat lunak Microsoft Exel 2003 untuk verifikasi hasil pengintegrasian dari berbagai sub-sistem prosesing data (dalam hal ini adalah algoritma).

1.4 Tujuan Penelitian

Terdapat 2 (dua) hal yang ingin dicapai dalam penelitian ini, adapun ke tiga hal tersebut adalah sebagai berikut:

1. Mengintegrasikan sensor CCTV dengan GPS dalam penentuan koordinat CCTV.
2. Analisa sistem pemetaan cepat (*Rapid Mapping*) dari segi efisiensi waktu dan biaya, serta keakurasian data yang dihasilkan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dilakukannya penelitian ini adalah untuk menganalisa sistem pemetaan cepat (*rapid mapping*) agar dapat digunakan dengan baik dan memberikan kontribusi yang mendalam pada bidang ilmu fotogrametri dan dalam bidang survei pemetaan jalan raya di Indonesia. Dan dari hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah referensi baru bagi para pembaca, mengingat penelitian ini merupakan ilmu yang bisa dibilang masih berada di peringkat awal dalam penggunaannya.

1.6 Tinjauan Pustaka

Beberapa tinjauan pustaka telah dilakukan dalam menyusun penelitian ini, guna mengumpulkan informasi mengenai analisa tentang metode pengukuran menggunakan *Mobile Mapping System* (MMS) yang didasarkan atas berbagai riset oleh para ilmuan dalam bidang fotogrametri antara lain :

Menurut (Ellum, 2001) selama 20 tahun lebih ini perkembangan permintaan terhadap data spasial semakin meningkat, sedangkan cara memperoleh data tersebut tidak terjadi peningkatan dari segi efisiensi waktu dan ketelitian, serta biaya yang lebih murah. Dan untuk pertama kali, *Mobile Mapping System* (MMS) dibangun dan dioperasikan oleh Pusat Pemetaan di Universitas Ohio (Ellum, 2001). Pada waktu itu sistem ini dikenal dengan sebutan GPSVan, yang mengintegrasikan antara receiver GPS, dua buah CCD kamera digital, dua buah kamera video warna, dan beberapa sensor perekam (Goad, 1991; Novak, 1991).

Dan penelitian ini tidak jauh berbeda dengan sistem yang sedang berkembang di negara lain serta memiliki banyak kemiripan dalam hal integrasi

terhadap alat survei lain dan metode pengambilan datanya. Karena sistem ini berdasarkan pengembangan dari ilmu fotogrametri, maka pada hakekatnya alat yang digunakan dari semua metode MMS yang berkembang adalah berupa kamera digital (baik yang menghasilkan video ataupun foto).

Dari tinjauan pustaka diatas dan dari penjelasan tentang latar belakang serta maksud dan tujuan dilakukannya penelitian ini, maka pada Bab-2 akan dibahas lebih jauh tentang sejarah perkembangan MMS dan keunggulannya, metode-metode yang digunakan dalam pengolahan data, sampai dengan metode penentuan posisi serta penyamaan sistem koordinat tiap-tiap model.

Pada bab-3, dijelaskan tentang hal-hal yang ditempuh atau dilakukan dalam penelitian ini, baik dari proses persiapan pengumpulan bahan sebagai awal penelitian, pengkalibrasian kamera, sampai dengan pengintegrasian kamera dengan GPS serta proses pengambilan data di lapangan. Kemudian setelah itu akan dilanjutkan ke bab-4 yang menjelaskan tentang analisa data-data yang didapatkan dari pengukuran di lapangan, yang kemudian diolah dan diverifikasi dari segi ketelitian yang dihasilkan dari prosesing data dan efisiensi waktu yang dapat dibandingkan dengan metode pengukuran yang lain. Sedangkan untuk yang terakhir yaitu bab-5, akan disimpulkan secara keseluruhan dari pelaksanaan penelitian ini serta saran-saran yang diperlukan untuk pengembangan sistem ini dengan lebih baik.

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Pendahuluan

Pada bab ini akan dibahas mengenai dasar-dasar pemikiran untuk mendukung teori yang digunakan dalam melaksanakan penelitian ini. Dari beberapa dasar teori tersebut, akan lebih banyak dikutip dari artikel-artikel serta pendapat para ahli yang berkaitan dengan konsep penelitian.

Tulisan ini merupakan pembahasan tentang pengevaluasian seluruh sistem pemetaan cepat dengan video kamera dan GPS, yang akan menerangkan konsep-konsep penelitian secara keseluruhan, baik dari sejarah perkembangan dilakukannya *Mobile Mapping System* (MMS), metode-metode yang digunakan untuk pengolahan data, sampai dengan metode penentuan posisi secara global (GPS) serta penyamaan sistem koordinat dari tiap-tiap model.

2.2 Mobile Mapping Sistem (MMS)

Selama 20 tahun lebih kita sudah melihat perkembangan atas permintaan data geo-spasial, dan permintaan tersebut dilayani atau didapatkan dengan banyak cara, dalam hal ini metode pengukuran (Ellum, 2001). Tapi bagaimanapun, dari permintaan yang sangat besar tersebut, maka akan berefek pada peningkatan cara-cara pengambilan data yang memiliki tingkat ketelitian lebih akurat, pengambilan data dengan cepat, dan komponen yang paling penting adalah harga yang lebih murah (Ellum, and El-Sheimy, 2002).

Dari metode pengambilan data yang telah ada maupun yang sedang berkembang, seperti pengambilan data dengan metode terestris, fotogrametri, penginderaan jauh, sampai dengan penentuan posisi dengan GPS (*Global Positioning System*). Kita ketahui metode tersebut belum dapat memenuhi permintaan terhadap data spasial yang begitu banyak dan menginginkan hasil yang cepat, serta harga dari metode tersebut bisa dibilang mahal. Untuk itulah mulai dikembangkan pengambilan data dengan *Mobile Mapping System* (MMS) (Ellum, 2001).

2.2.1 Gambaran Tentang MMS

Mobile Mapping System merupakan suatu sistem yang mengintegrasikan sensor navigasi dan CCTV secara bersama-sama dengan sensor yang digunakan untuk pengamatan titik yang jauh. Semua sensor tersebut diletakkan bersama-sama di atas kap kendaraan yang akan digunakan, sensor navigasi digunakan untuk orientasi dan posisi dari kendaraan, sedangkan sensor CCTV digunakan untuk penentuan posisi dari titik-titik yang disurvei. Sensor yang digunakan untuk penentuan posisi dari jarak jauh sebagian besar adalah sensor fotografi, dan dengan begitu secara otomatis akan mereferensikan sensor gambar (El-Sheimy, 1999). Dimana terdapat sensor tambahan seperti *laser rangefinder* (Reed et al., 1996; Li et al., 1999) ataupun *laser scanner* (Li et al., 2001), juga dapat digunakan pada MMS dan oleh karena itu terminologi sensor pemetaan menjadi semakin umum (Li, 1997) atau relatif digunakan pada saat pengamatan obyek yang jauh (Novak, 1995).

Keunggulan dari sistem MMS adalah dapat secara langsung menggeoreferensikan sensor pemetaan (Wong, 2006). Sensor pemetaan tersebut direferensikan pada saat posisi dan relatif orientasi suatu pemetaan diketahui koordinatnya. Georeferensi dapat digunakan untuk menentukan posisi titik yang disurvei dan menyamakan sistem koordinat dengan bidang peta, hal itu dilakukan oleh sistem navigasi MMS langsung pada waktu pengukuran dan bertujuan untuk mengetahui posisi dan orientasi. Hal ini jelas berbeda dengan metode pengukuran tradisional yang menggeoreferensikan posisi dan orientasi secara tidak langsung, atau dengan melakukan pengikatan pada titik kontrol tetap.

Selain hal tersebut, yang membedakan survei lapangan dengan metode MMS adalah dalam hal penghematan waktu dan biaya, serta terdapat keuntungan lain dalam hal akuisisi data spasial (Ellum, 2001), seperti :

- Informasi data spasial dan atribut dapat ditentukan langsung pada saat pengukuran,
- Data tersebut bisa menjadi sebuah file arsip dan dapat dikoreksi tanpa harus turun lagi ke lapangan,
- Tingkat kemampuan pengukuran lebih cepat dan efisien,
- Perekaman data terhadap obyek yang disurvei direkam secara otomatis, dan
- Mengurangi waktu untuk prosesing data koordinat.

2.2.2 Sejarah Perkembangan MMS

Untuk pertama kali, *Mobile Mapping System* (MMS) dibangun dan dioperasikan oleh Pusat Pemetaan di Universitas Ohio (Ellum, 2001). Pada waktu itu sistem ini dikenal dengan sebutan GPSVan, yang mengintegrasikan antara receiver GPS, dua buah CCD kamera digital, dua buah kamera video warna, dan beberapa sensor perekam (Goad, 1991; Novak, 1991). Semua komponen tersebut diletakkan di atas kap mobil Van, dan GPS menyediakan posisi dari kamera sedangkan gambaran situasi didapat dari hasil perekaman data oleh CCD kamera. Hal tersebut digunakan untuk menentukan posisi relatif titik-titik yang di survei, sedangkan sensor perekam digunakan untuk menyediakan informasi dari stasiun pengambilan. Informasi yang diterbitkan adalah untuk menguji ketelitian orientasi dari perhitungan hasil perekaman GPSVan dan ketelitian yang lemah dari sensor yang sama menyatakan bahwa penyajian informasi orientasi dengan kualitas marjinal yang paling baik. Dua kamera video digunakan hanya untuk tujuan pengarsipan dan untuk identifikasi atribut bantuan, bukan untuk penentuan posisi relatif dari hasil perekaman gambar. Dengan menggunakan teknik *Bundle Adjustment* untuk orientasi relatif, GPSVan dapat mencapai akurasi relatif obyek space sekitar 10cm. Sayangnya, karena hanya menggunakan *carrier-smoothed code-differential*, akurasi absolute obyek space terbatas sampai 1-3 m.

GPSVan telah berhasil mengilustrasikan bagaimana *Land Base Multi Sensor System* dapat meningkatkan efisiensi waktu dari pengumpulan data pemetaan. Tapi bagaimanapun, untuk menghasilkan akurasi absolut dari *object space point*

tidak bisa dihasilkan oleh banyak aplikasi, terutama bila dibandingkan dengan kemajuan teknologi. Oleh karena itu, pengembangan lebih lanjut *land-base MMS* di fokuskan pada peningkatan kehandalan sistem dan ketelitian absolut *object space point*. Teknik yang jelas dan nyata untuk meningkatkan ketelitian absolut adalah menggunakan metode *GPS carrier-phase differential*, sedangkan pilihan yang jelas untuk sensor perhitungan yang lebih akurat dengan ketepatan yang tinggi menggunakan *IMU (Inertial Measurement Unit)*. Penggunaan *IMU* memiliki keuntungan tambahan bila dibandingkan dengan sensor lain, yaitu dapat menghasilkan ketelitian yang tinggi untuk informasi orientasi dari stasiun pengamatan. Pada pengembangan lebih lanjut dari *land-base MMS* yang didasarkan pada *GPS*Van ataupun termasuk riset yang sama (mencakup sistem *NAVSYS GPS/Inertial Mapping (GIM)* dan *LambdaTechs GPSVision*), semuanya menggunakan *IMU* untuk sensor perekaman (Coetsee et al., 1994; He et al., 1996). Kemudian untuk implementasi dari *land-base MMS* itu sendiri menambahkan *dual-frekuensi carrier-phase GPS differential*, *IMU* yang lebih akurat, dan teknik pengolahan yang lebih canggih. Contoh dari beberapa sistem tersebut meliputi sistem *VISATTM*, *KiSSTM*, *GI-EYETM*. Sistem *VISAT* sudah berada dalam tahap akhir dan telah terkemuka, karena mempergunakan sensor gambar dalam jumlah yang banyak. Dimana *land-base MMS* yang sebelumnya merupakan sebuah sistem *stereo vision* sederhana yang menggunakan dua buah kamera di depan, sementara *VISAT* telah menggunakan delapan buah kamera sehingga menjadikan pengumpulan data lebih fleksibel dan sistem pengukurannya

lebih baik, serta VISAT juga telah menghasilkan ketelitian absolut *obyek space point* yang belum dapat dicapai sebelumnya.

Sedangkan akibat dari pengembangan sistem VISAT dan MMS yang lain ditunjukkan dengan berlangsungnya pengoperasian tentang multi-sensor, dan berlangsungnya penggunaan sistem MMS untuk hal komersil terlihat di sejumlah perusahaan yang sukses (Ellum, 2001). Satu hal yang terpenting adalah *land-base* MMS sudah mampu melebihi foto udara, karena sudah menggunakan kamera digital sebagai sensor jarak jauh. Hal ini mungkin karena jarak antara kamera ke obyek jauh lebih kecil daripada melakukan pemotretan dari udara dan resolusi yang lemah pada CCD yang tidak dapat digunakan pada aplikasi areal tanpa suatu kemunduran yang tidak dapat diterima dalam akurasi. Tentu saja baru-baru ini resolusi dari CCD dapat meningkatkan level yang dapat digunakan dalam sistem pemetaan udara. Penggunaan kamera digital pada sistem ini jelas menguntungkan, karena dapat menghapuskan persyaratan untuk meneliti foto dan juga dapat mengurangi koleksi data mentah serta penghematan waktu dalam mengekstrakkan data. Sensor digital secara otomatis menyederhanakan mengekstrakkan corak dan titik, serta pertimbangan lain adalah penyimpanan data yang lebih fleksibel.

Untuk lebih jelasnya perkembangan dari *land-base* MMS ditunjukkan oleh tabel 2.1 sesuai dengan pertimbangan dari sistem navigasi dan kendaraan yang digunakan untuk menjalankan sistem tersebut.

Tabel 2.1: Implementasi dari *Land-base Mobile Mapping System*

Nama	Pengembang	Kendaraan	Sensor Navigasi	Sensor Pemetaan	Referensi
GPSVan TM	Ohio State University	<i>Van & Kereta</i>	<i>GPS, 2 gyros, 2 odometer</i>	<i>2 digital kamera CCD monocrome, 2 kamera VHS warna (untuk pengarsipan)</i>	Novak (1990) Goad (1991) Novak (1991)
VISAT TM	University of Calgary	<i>Van</i>	<i>GPS dual frekuensi, navigasi IMU</i>	<i>8 kamera CCD monocrome, 1 kamera VHS warna (untuk pengarsipan)</i>	Schwarz et al. (1993) El-Sheimy & Schwarz (1996)
GIM TM	NAVSYS corp.	<i>Truck</i>	<i>GPS, Low-cost IMU</i>	<i>1 kamera CCD 1 kamera VHS</i>	Coetsee et al. (1994)
KiSS TM	University of the Federal Armed Forces Munich	<i>Van</i>	<i>GPS, 3 ring-laser gyro, odometer, barometer, inclinometer, compas</i>	<i>2 kamera CCD monocrome, 1 kamera VHS warna</i>	Hock et al. (1995) Sternberg et al. (2001)
GI-EYE TM	NAVSYS Corp.	<i>Berbagai kendaraan</i>	<i>GPS, low-cost IMU</i>	<i>1 kamera CCD</i>	Brown (1998)
GPSVision TM	Lamda Tech Int. Inc.	<i>Van</i>	<i>GPS, navigation-grade IMU</i>	<i>2 kamera CCD warna</i>	Lamda Tech (2001)
Laser Scanner MMS	Wuhan Technical University	<i>Truck</i>	<i>GPS</i>	<i>Kamera CCD, laser scanner</i>	Li et al. (2001)

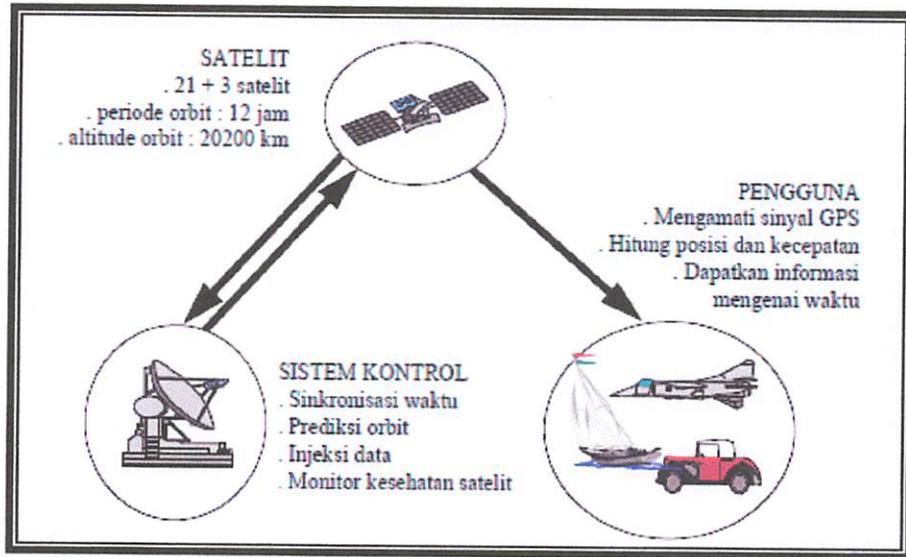
2.3 Konsep Penentuan Posisi

Pada sub-bab sebelumnya, telah dibahas tentang prinsip dari MMS yang merupakan sebuah sistem dengan kombinasi dari sensor pemotretan dipadukan dengan GPS untuk penentuan posisinya. Dalam perkembangannya, MMS tidak hanya menggunakan sensor GPS untuk penentuan posisi, akan tetapi banyak penelitian yang menggunakan alat tambahan seperti kompas dan inclinometer untuk mengetahui sudut putaran dan azimuth dari posisi kedudukan alat survei. Akan tetapi pada tulisan ini akan hanya dijelaskan tentang prinsip penentuan posisi menggunakan GPS sebagai sensor navigasinya.

GPS atau *NAVSTAR GPS* merupakan singkatan dari *The Navigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System* adalah radio navigasi satelit milik Departemen Pertahanan Amerika Serikat. Sistem ini digunakan untuk keperluan penentuan posisi dan kecepatan dalam koordinat 3 dimensi teliti secara *global* dalam segala cuaca dan waktu (*Easton, 1980*). Pada pengembangan *mobile mapping system*, GPS merupakan sarana pendukung pertama dari pengembangan segala jenis sistem ini. Hal itu jelas nyata terbukti karena tidak ada sistem lain untuk penentuan posisi yang lebih fleksibel, tepat, dan akurat untuk digabungkan dengan MMS (*Li, 1997*).

Pada penelitian ini metode pengamatan titik yang akan ditentukan posisinya adalah dengan tipe bergerak (*kinematic positioning*) karena salah satu receiver GPS diletakkan di atas mobil untuk mengamati posisi titik-titik yang akan disurvei. Posisi titik tersebut ditentukan dengan menggunakan teknik pengamatan terhadap titik lain yang telah diketahui koordinatnya (*monitor station*) dengan menggunakan *differential*

(relative) positioning yang menggunakan minimal dua receiver GPS. Teknik tersebut menggunakan data *pseudorange* dengan sistem penentuan posisi secara *instan (real time)* dengan ketelitian tipikal 1-5 m.



Gambar 2.1 Metode Penentuan Posisi dengan GPS

Untuk ketelitian yang diinginkan pada pengamatan dengan menggunakan GPS akan tergantung pada type receiver berdasarkan data yang diterima dan metode yang digunakan pada waktu pengamatan. Berdasarkan penjelasan diatas, pada kesempatan ini akan menggunakan type receiver navigasi dengan metode pengamatan yaitu *kinematic* (bergerak). Untuk lebih jelasnya, berikut adalah hasil ketelitian yang dihasilkan oleh pengamatan GPS yang dilakukan pada baseline dengan jarak 10 km menggunakan tipe receiver yang berbeda.

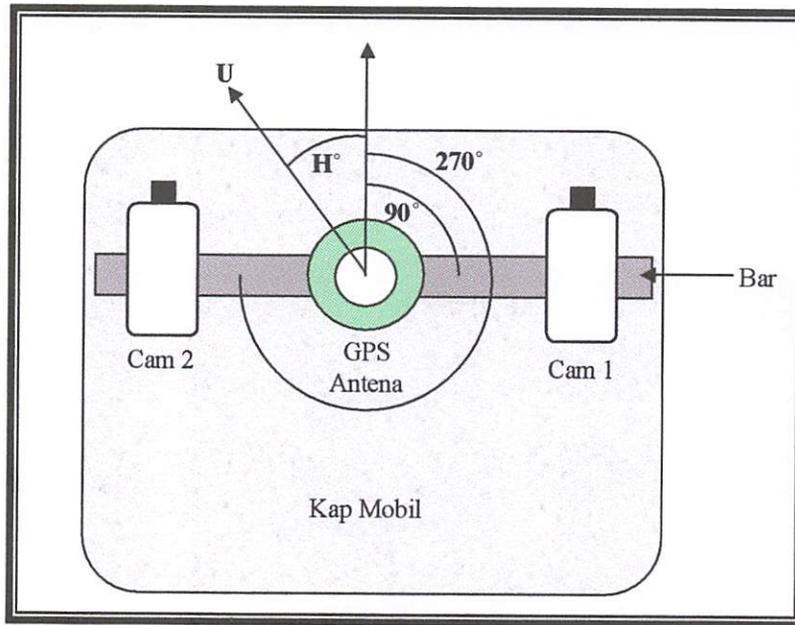
Tabel 2.2: Akurasi GPS pada Baseline 10 km

Tipe receiver GPS	Tingkat Akurasi	
	Horizontal (2DRMS)	Vertical (RMS)
Code Differential (<i>Narrow Correlator, Carrier-phase smoothing</i>)	0.75 m	1.0 m
L1 Carrier-phase RTK (<i>Float ambiguities</i>)	0.18 m	0.25 m
L1/L2 Carrier-phase RTK (<i>Fixed ambiguities</i>)	0.03 m	0.05 m
L1 and L1/L2 Post-mission Kinematic	0.02 m	0.03 m
L1 Precise ephemeris (<i>with Ionospheric Modelling</i>)	1.0 m	3.0 m

Sumber : Novatel (1997), Schwarz dan El-Sheimy (1999), Lachapelle et al. (1994)

Dalam hal ini posisi yang diberikan oleh GPS adalah posisi 3 dimensi (X,Y,Z ataupun ϕ, λ, h) yang dinyatakan dalam datum *WGS (World Geodetic System) 1984*, dan dari penjelasan sebelumnya bahwa posisi tersebut direkam dengan metode *differential* dan dengan sistem kinematik, yang berarti receiver GPS akan terus merekam posisi titik-titik sesuai dengan pergerakan mobil. Pada saat yang sama, sensor kamera pun akan bekerja merekam gambar obyek yang disurvei.

Pada penelitian ini, rancangan untuk pemasangan CCTV dan GPS akan diletakkan pada bar yang telah didesain dengan kedudukan GPS berada ditengah dan diantara dua buah CCTV yang posisinya telah disejajarkan dengan jarak yang ditentukan. Jarak ketiga sensor tersebut dibuat sama dan diukur secara teliti, baik jarak antara kamera 1 dengan GPS dan jarak antara GPS dengan kamera 2. Adapun konsep yang dipakai dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.2 Penentuan Posisi Mobil Terhadap Arah Utara
(diilustrasikan untuk desain pada saat pengambilan data)

Persamaan :

$$\text{Northing Cam 1} = N_{\text{GPS}} + \text{offset} * \cos (H^{\circ} + 90^{\circ})$$

$$\text{Easting Cam 1} = E_{\text{GPS}} + \text{offset} * \sin (H^{\circ} + 90^{\circ})$$

$$\text{Northing Cam 2} = N_{\text{GPS}} + \text{offset} * \cos (H^{\circ} + 270^{\circ})$$

$$\text{Easting Cam 2} = E_{\text{GPS}} + \text{offset} * \sin (H^{\circ} + 270^{\circ})$$

Dari pengukuran *baseline* atau jarak offset antara ketiga sensor tersebut, maka dapat diasumsikan koordinat posisi sensor kamera dan GPS akan berada dalam satu sistem, yaitu sistem GPS (WGS-84). Dari penyamaan sistem koordinat tersebut akan mempermudah dalam prosesi data nantinya.

2.4 Proyeksi Peta dan Sistem Koordinat

Setiap kita berbicara tentang geodesi, maka kita akan membicarakan koordinat, dan setiap membicarakan koordinat, maka secara otomatis kita akan mengacu pada sistem proyeksi. Adanya sistem koordinat dan sistem proyeksi disebabkan oleh bentuk bumi yang tidak rata, dan memerlukan suatu metode atau sistem untuk mendefinisikan bentuk bumi. Begitu banyak sistem koordinat dan sistem proyeksi yang berkembang (khususnya di Indonesia), dan sistem tersebut memiliki kepentingan dan pengguna yang berbeda. Pada kesempatan ini akan dijelaskan beberapa sistem koordinat dan sistem proyeksi yang berkembang di Indonesia dan yang akan kita gunakan dalam penelitian ini.

2.4.1 Proyeksi Peta

Proyeksi Peta adalah prosedur matematis yang memungkinkan hasil pengukuran yang dilakukan di permukaan bumi fisis bisa digambarkan diatas bidang datar (peta) (UNDP, 2007). Karena permukaan bumi fisis tidak teratur maka akan sulit untuk melakukan perhitungan-perhitungan langsung dari pengukuran, untuk itu diperlukan pendekatan secara matematis (model) dari fisis bumi tersebut (Ridho, 2009). Model matematis bumi yang digunakan adalah elipsoid putaran dengan besaran tertentu, maka secara matematis proyeksi peta dilakukan dari permukaan elipsoid putaran ke permukaan bidang datar.

Macam-macam proyeksi peta menurut kriterianya (UNDP, 2007):

a. Berdasarkan sifat asli yang dipertahankan :

- Proyeksi Ekuivalen adalah luas daerah dipertahankan sama, artinya luas di atas peta sama dengan luas di atas muka bumi setelah dikalikan skala.
- Proyeksi Konform artinya bentuk-bentuk atau sudut-sudut pada peta dipertahankan sama dengan bentuk aslinya.
- Proyeksi Ekuidistan artinya jarak-jarak di peta sama dengan jarak di muka bumi setelah dikalikan skala.

b. Berdasarkan kedudukan sumbu simetris :

- Proyeksi Normal (*Polar*), apabila sumbu simetrisnya berhimpit dengan sumbu bumi.
- Proyeksi Miring (*Oblique*), apabila sumbu simetrisnya membentuk sudut terhadap sumbu bumi.
- Proyeksi Transversal (*Equatorial*), apabila sumbu simetrisnya tegak lurus pada sumbu bumi atau terletak di bidang ekuator.

c. Berdasarkan bidang asal proyeksi yang digunakan (UNDP, 2007):

- Proyeksi Azimuthal. Bidang proyeksi yang digunakan adalah bidang datar. Sumbu simetri dari proyeksi ini adalah garis yang melalui pusat bumi dan tegak lurus terhadap bidang proyeksi.

- Proyeksi Kerucut (Conic). Bidang proyeksi yang digunakan adalah kerucut. Sumbu simetri dari proyeksi ini adalah sumbu dari kerucut yang melalui pusat bumi.
- Proyeksi Silinder (Cylindrical). Bidang proyeksi yang digunakan adalah silinder. Sumbu simetri dari proyeksi ini adalah sumbu dari silinder yang melalui pusat bumi.

Dari berbagai macam sistem proyeksi yang disebutkan di atas, yang umum dipakai di Indonesia untuk kepentingan pemetaan adalah Proyeksi Silinder Melintang yang diperkenalkan oleh Mercator dan bersifat *universal*, maka sering disebut dengan Universal Transverse Mercator (UTM). Sistem ini telah dibakukan oleh BAKOSURTANAL sebagai sistem pemetaan nasional.

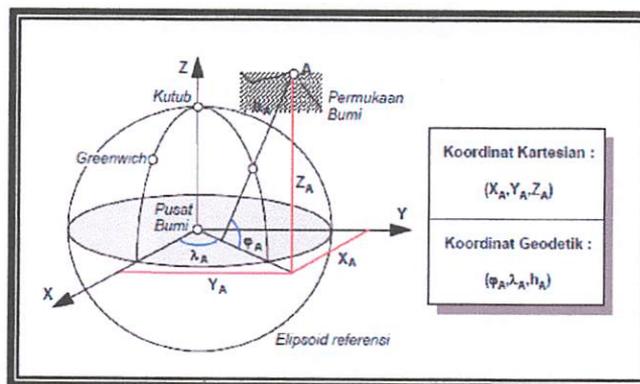
2.4.2 Sistem Koordinat

Untuk menyatakan besaran geometrik yang digunakan dalam menentukan posisi suatu titik tertentu dengan mengukur besaran vektor terhadap satu posisi acuan yang telah terdefiniskan diperlukan suatu sistem koordinat. Setiap sistem koordinat dinyatakan atas skala, titik referensi relatif ke sistem koordinat referensi, dan orientasinya dilihat dari sistem koordinat referensi tersebut. Penggunaan sistem koordinat tersebut tergantung pada keperluan dan metode pengukuran yang digunakan, seperti yang terjadi pada penelitian yang dilakukan untuk pengembangan MMS. Dari dua sensor yang digunakan (sensor kamera dan sensor GPS) menghasilkan koordinat dengan sistem yang berbeda. Untuk sensor

kamera menghasilkan koordinat pixel atau koordinat foto, sedangkan sensor GPS menghasilkan koordinat geodetik.

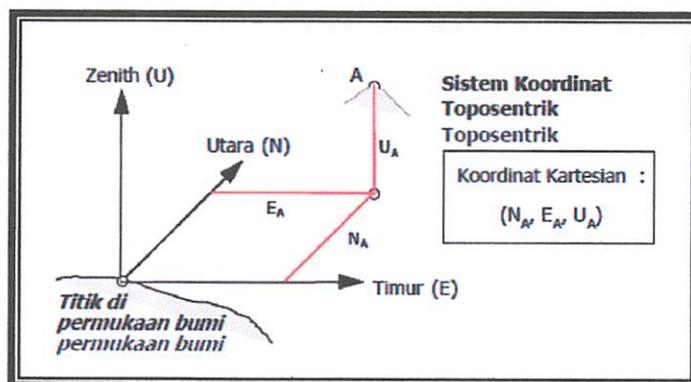
Posisi suatu titik di permukaan bumi umumnya ditetapkan dalam/terhadap suatu sistem koordinat terestris. Titik nol dari sistem koordinat terestris ini dapat berlokasi di titik pusat massa bumi (sistem koordinat geosentrik), maupun di salah satu titik di permukaan bumi (sistem koordinat toposentrik). Pada umumnya sistem koordinat yang digunakan untuk menyatakan posisi 3D suatu titik di permukaan bumi adalah dengan sistem koordinat geosentrik. Tergantung dari parameter-parameter pendefinisi koordinat yang digunakan, dikenal dua sistem koordinat yang umum digunakan, yaitu sistem koordinat Kartesian (X, Y, Z) dan sistem koordinat Geodetik (L, B, h).

Koordinat kartesian merupakan sistem koordinat yang terdiri dari tiga salib sumbu yang saling tegak lurus, sedangkan koordinat geodetik adalah sistem koordinat yang didefinisikan dengan referensi elipsoid dan bidang datum tertentu serta hubungannya dengan geometris bumi. Dalam hal ini kita hanya berbicara tentang sistem koordinat 3 dimensi, dan dari kedua sistem koordinat tersebut dapat digambarkan sebagai berikut (UNDP, 2007):



Gambar 2.3 Sistem Koordinat Kartesian dan Geodetik

Koordinat 3D suatu titik juga bisa dinyatakan dalam suatu sistem koordinat toposentrik, yaitu umumnya dalam bentuk sistem koordinat Kartesian (N,E,U) yang diilustrasikan pada gambar berikut (UNDP, 2007):



Gambar 2.4 Sistem Koordinat Kartesian Pada Toposentrik

Posisi suatu titik juga dapat dinyatakan dalam sistem koordinat Lokal atau Proyek dengan titik acuan berupa patok, paku, dan lain-lain, serta dinyatakan dalam sistem proyeksi lokal. Sistem koordinat ini diasumsikan dengan nilai koordinat (x, y, z) sembarang dan arah utara grid yang sembarang pula.

Perbedaan sistem koordinat tersebut akan dilakukan proses komputasi untuk dapat dijadikan dalam satu sistem (sistem koordinat tunggal), karena hal tersebut diperlukan pada saat penggambaran hasil survei yang dilakukan. Penyamaan sistem koordinat tersebut dilakukan dengan transformasi koordinat dan akan dibahas pada sub-bab berikutnya.

2.5 Image Matching

Image matching adalah proses untuk menemukan titik yang bersesuaian pada satu atau lebih pada dua buah foto (Schenk, 1999). Ada sejumlah metode *image matching* yang dapat dipakai untuk keperluan proses restitusi foto yang selama ini

diketahui orang. Schenk (1999) menguraikan dengan rinci ketiga metode yang sejauh ini banyak digunakan. Ketiga metode yang dimaksud adalah *area-based*, *feature-based*, dan *symbolic*. Dalam penelitian ini akan akan dititik beratkan pada pembahasan mengenai penentuan titik konjugasi pada foto yang bertampalan (*image matching*) dengan metode *area-based*.

2.5.1 Area-Based Matching

Area-based matching merupakan metode yang digunakan dalam menentukan ketepatan obyek (*image matching*) antar dua buah foto yang *overlap*. *Area-based matching* mendasarkan hubungan antara dua *image* menurut kesamaan derajat keabuan (*gray level*). Teknik yang sering digunakan pada metode ini adalah teknik korelasi silang (*Cross Correlation*) dan *Least Square Matching* (LSM). *Area-based matching* menggunakan hubungan korelasi antara dua obyek pada dua foto atau lebih. Kelemahan dari *area-based matching* dengan menggunakan teknik *cross correlation* adalah obyek yang melalui proses *matching* belum tentu bersesuaian, karena hanya mendeteksi obyek berdasarkan kesamaan nilai spektralnya (Schenk, 1999).

2.5.1.1 Teknik Cross-Correlation

Prinsip teknik *cross-correlation* adalah mencari pasangan titik piksel antara foto referensi/foto kiri dengan foto pasangan/foto kanan. Pada foto kiri ditentukan jendela sasaran yang memuat titik piksel yang akan dicari pasangannya pada foto kanan. Pada foto kanan ditentukan daerah selidik

yang mempunyai ukuran lebih besar dari pada daerah sasaran. Pada daerah sasaran dibentuk pula jendela/daerah sub selidik (*search window*) dengan ukuran yang sama dengan jendela/daerah sasaran (*matching window*). Misal ukuran 5 piksel x 5 piksel. *Search window* ini bergerak (*moving window*) dengan *increment* 1 piksel sepanjang setiap baris dan kolom di daerah selidik. Dihitung nilai korelasi (δ) antara *matching window* dengan *search window*. Nilai korelasi antara dua kelompok data *gray value* dihitung berdasarkan rumus matematis pada persamaan berikut (Schenk, 1999) :

$$\rho = \frac{\sigma_{LR}}{\sigma_L \sigma_R} \quad (2.1)$$

Keterangan :

ρ = Nilai korelasi ($-1 \leq \rho \leq +1$)

σ_{LR} = Kovarian nilai *gray value* pada foto L dan R

σ_L = Standar deviasi pada foto L (*template*)

σ_R = Standar deviasi pada foto R (*matching window*)

Untuk pendekatan pada obyek dalam proses korelasi maka diberikan fungsi $g_L(x, y)$, $g_R(x, y)$ untuk foto kiri dan kanan (*template* dan *matching window*) dan artinya g_L , g_R dan persamaanya adalah :

$$g_L = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g_L(x_i, y_j)}{n.m} \quad (2.2)$$

$$g_R = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g_R(x_i, y_j)}{n.m} \quad (2.3)$$

$$\sigma_L = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g_L(x_i, y_j) - \bar{g}_L}{n.m - 1}} \quad (2.4)$$

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m g_R(x_i, y_j) - \bar{g}_R}{n.m - 1}} \quad (2.5)$$

$$\sigma_{LR} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m ((g_L(x_i, y_j) - \bar{g}_L)(g_R(x_i, y_j) - \bar{g}_R))}{n.m - 1}} \quad (2.6)$$

Keterangan :

\bar{g}_L = nilai rata-rata *gray value* pada *template*

\bar{g}_R = nilai rata-rata *gray value* pada *matching window*

σ_L = standar deviasi pada foto L (*template*)

σ_R = standar deviasi pada foto R (*matching window*)

σ_{LR} = kovarian nilai *gray value* pada foto L dan R

$g_L(x_i, y_j)$ = nilai *gray value* setiap subpiksel pada *template*

$g_R(x_i, y_j)$ = nilai *gray value* setiap subpiksel pada *matching window*

n, m = jumlah baris dan kolom pada *template*.

Variasi nilai *gray value* pada foto akan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain kualitas dan kuantitas nilai-nilai *gray value* yang membentuk obyek tersebut. Variasi *gray value* akan dipengaruhi oleh jenis dan karakteristik permukaan bumi (*terrain*), serta sudut pemotretan obyek oleh kamera.



Gambar 2.5 Contoh dua buah foto dalam Bentuk Visual

Dalam domain digital, foto tersebut direpresentasikan sebagai variasi nilai *gray value* yang membentuk dimensi matriks $m \times n$ (Gambar 2.9). Kemudian ditentukan sub-matriks berdimensi 6×6 di sekeliling titik obyek foto kiri (biasa disebut) sebagai *matching window*. *Matching Window* akan berisi sekumpulan (36) nilai *gray value* dari piksel disekeliling titik acuan. Pada matriks kanan, ditentukan juga sub-matriks berdimensi sama dengan *matching window* dan dinamakan sebagai *search window* (Schenk, 1999). Sampai tahap ini, akan diperoleh dua buah matriks (*matching window* dan *search window*) dengan dimensi yang identik.

170	238	85	255	221	0	170	238	85	255	221	0
68	136	17	170	119	68	68	136	17	170	119	68
221	0	238	136	0	255	221	0	238	136	0	255
119	255	85	170	36	238	119	255	85	170	136	238
238	17	221	68	119	255	238	17	221	68	119	255
85	170	119	221	17	136	85	170	119	221	17	136

Gambar 2.6 Representatif foto dalam bentuk matriks

Selanjutnya dilakukan hitungan nilai korelasi (ρ) antar kedua matriks tersebut dengan menggunakan persamaan 1. Dari nilai korelasi tersebut dapat ditentukan mirip tidaknya kedua matriks tersebut. Semakin besar nilai ρ mendekati +1, maka semakin mirip bentuk kedua obyek tersebut atau dapat dikatakan kedua obyek tersebut merupakan titik yang sama (Schenk, 1999).

Penempatan *search window* diawali dari posisi ujung kiri atas. Kemudian *search window* digeser menelusuri citra kolom demi kolom ke arah kanan sampai mencapai ujung kanan. Setelah itu, *search window* digeser kebawah sebanyak satu baris dan kembali menelusuri sepanjang baris tersebut ke arah kiri. Demikian seterusnya proses penelusuran (*searching*) dilakukan sampai ke seluruh citra.

Ukuran *matching window* dan *search window* sangat berperan dalam proses penelusuran obyek. Semakin kecil ukurannya, karakteristik obyek makin berkurang, sehingga tingkat pengenalannya semakin sulit. Demikian sebaliknya, semakin besar dimensinya tingkat kemiripannya akan semakin kabur, sehingga bentuk obyek sukar dikenali.

2.5.1.2 Teknik *Least-Square Matching* (LSM)

Least square matching merupakan teknik yang digunakan untuk memperkecil perbedaan *gray level* antara *template* dan *matching window*. Posisi dan bentuk dari *matching window* merupakan parameter yang akan ditentukan dalam sebuah proses perataan (Schenk, 1999).

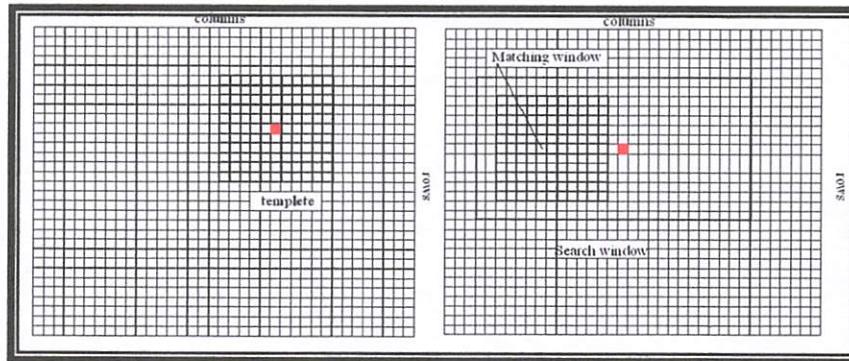
2.5.1.2.1 Prosedur Perhitungan *Least-Square Matching* (LSM)

Least-Square Matching adalah suatu cara melakukan penyelesaian masalah yang tidak linier. Masalah tersebut dapat diselesaikan dengan model iterasi. Perbedaan itu tercatat dalam variabel pada *matching window*; $m(i, j)$ yang mengacu pada reguler grid yang tergantung pada pekerjaan mosaik citra digital (piksel yang dicari). Sedangkan $m^o(x, y)$ menyatakan suatu pekerjaan mosaik baru dalam kaitan dengan transformasi geometri $m(T_G(i, j))$ dimana x, y adalah variabel asli, yang berlawanan dengan variabel bilangan bulat i, j . Dengan demikian maka perhitungan *least square* dapat dimulai dari *template*. *Template* didefinisikan dari $t(i, j)$:

$$\begin{aligned} i &= R_T - (n-1) / 2 \dots R_T + (n-1) / 2; \\ j &= C_T - (m-1) / 2 \dots C_T + (m-1) / 2; \end{aligned} \tag{2.7}$$

Dimana :

- n dan m = ukuran *template*
- R_T = baris dari *image patches*
- C_T = kolom dari *image patches*



Gambar 2.7 Konsep Area-Based Matching

Perbedaan *gray level* antara piksel pada *template* dan *matching window* disebabkan oleh faktor:

1. Kekuatan penerangan dan faktor refleksi antara dua citra
2. Kamera (misalkan, kekuatan cahaya yang rendah)
3. Proses pengembangan fotografi dan penyaringan gambar dalam kasus digitasi foto
4. Penyimpangan geometrik dari foto.

Untuk merubah perbedaan warna dan cahaya maka digunakan transformasi radiometrik pada *matching window*, dan menggunakan rumus (Schenk, 1999) :

$$T_R \{m(i, j)\} = r_0 + r_1 \cdot m(i, j) \quad (2.8)$$

Keterangan :

T_R = Transformasi Radiometrik

r_0 dan r_1 = Nilai pergeseran cahaya

Transformasi ini digunakan untuk mendapat nilai pergeseran cahaya untuk perataan *matching window* pada *template*.

Hubungan piksel dapat diperoleh jika permukaan pertampalan diproyeksikan ke *matching window*. Schenk (1999) mengkaji bahwa, dalam transformasi affine diperoleh transformasi *matching window* $m(x, y)$ sebagai berikut:

$$x = t_0 + t_1 \cdot i + t_2 \cdot j \quad (2.9)$$

$$y = t_3 + t_4 \cdot i + t_5 \cdot j \quad (2.10)$$

Keterangan :

x, y = koordinat *matching window*

t_0, t_1, t_2, \dots = *template*

Dengan transformasi geometri kita dapat mengikuti persamaan umum dari geometrik pengamatan yaitu sebagai berikut:

$$r(i, j) = t(i, j) - m(x, y) \quad (2.11)$$

Dimana residual $r(i, j)$ adalah perbedaan antara *gray level* dengan *template* dan transformasi pada *matching window*. Linearisasi pada $m(x, y)$ berkaitan dengan parameter transformasi dengan persamaan sebagai berikut:

$$m(x, y) \approx m^0(x, y) + \frac{\partial m(x, y)}{\partial Tx} \left[\frac{\partial Tx}{\partial T_0} \Delta t_0 + \frac{\partial Tx}{\partial T_1} \Delta t_1 + \frac{\partial Tx}{\partial T_2} \Delta t_2 \right] + \frac{\partial m(x, y)}{\partial Ty} \left[\frac{\partial Ty}{\partial T_3} \Delta t_3 + \frac{\partial Ty}{\partial T_4} \Delta t_4 + \frac{\partial Ty}{\partial T_5} \Delta t_5 \right] \quad (2.12)$$

Turunan parsialnya sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial m(x,y)}{\partial T_x} &= g_x & \frac{\partial m(x,y)}{\partial T_x} &= g_x \\
 \frac{\partial T_x}{\partial T_c} &= 1 & \frac{\partial T_y}{\partial T_3} &= 1 \\
 \frac{\partial T_x}{\partial T_1} &= x & \frac{\partial T_y}{\partial T_4} &= x \\
 \frac{\partial T_x}{\partial T_2} &= y & \frac{\partial T_y}{\partial T_5} &= y \\
 m^o(x,y) &= m(i,j) & c &= t(i,j) - m(i,j)
 \end{aligned}
 \tag{2.13}$$

Dimana :

g_x = gradient dari arah x

g_y = gradien dari arah y

m^o = Bentuk *matching window* asli

Tabel 2.3: Desain matrikss *least-square*

Pixel	Δt_0	Δt_1	Δt_2	Δt_3	Δt_4	Δt_5	Constanta
1,1	g_{x1}	$g_{x1. x1}$	$g_{x1. y1}$	g_{y1}	$g_{y1. x1}$	$g_{y1. y1}$	$t(1,1) - m(1,1)$
2,1	g_{x1}	$g_{x2. x2}$	$g_{x2. y1}$	g_{y1}	$g_{y1. x2}$	$g_{y1. y1}$	$t(2,1) - m(2,1)$
.
.
.
n,m	g_{xn}	$g_{xn. xn}$	$g_{xn. ym}$	g_{ym}	$g_{yn. xn}$	$g_{ym. ym}$	$t(n,m) - m(n,m1)$

Untuk solusi transformasi parameter \hat{x} , $n \times m$ persamaan pengamatannya tersedia dimana n,m adalah ukuran dari *template* dan *matching window*. Gruen (1985) mengkaji bahwa dalam persamaan

pengamatan, solusi dari perbedaan ukuran citra dapat dinyatakan dalam persamaan-persamaan berikut:

$$\hat{x} = (\mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{l} \quad (\text{solution vector}) \quad (2.14)$$

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{1}{r} \mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v} \quad (\text{faktor pembeda/variance factor}) \quad (2.15)$$

$$\mathbf{v} = \mathbf{A} \hat{\mathbf{x}} - \mathbf{l} \quad (\text{vector sisa/ residual vector}) \quad (2.16)$$

$$\mathbf{r} = \mathbf{n} - \mathbf{u} \quad (2.17)$$

Dimana :

\mathbf{r} adalah kelebihan (redundancy)

\mathbf{u} adalah jumlah parameter transformasi, dan

\mathbf{n} adalah jumlah observasi

\mathbf{P} adalah matrikss bobot yang merupakan pendekatan dari matrikss identitas

\mathbf{l} adalah $f(x,y) - g^0(x,y)$. $f(x,y)$ merupakan koordinat *template*, sedangkan $g^0(x,y)$ merupakan koordinat pendekatan dari *matching window*.

Sedangkan susunan matrikss A dan B adalah sebagai berikut:

$$\bar{\mathbf{A}} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & 0 \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

$$\bar{\mathbf{B}} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & 0 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

Setelah solution vector dihitung maka *matching window* akan ditransformasikan ke posisi dan bentuk yang baru. Dengan demikian maka $g^0(x, y)$ akan berubah, sehingga matrikss A akan dievaluasi kembali dengan menambahkan parameter radiometric r_s (*shift*) dan r_t (*scale*). Jadi transformasi yang diperoleh :

$$\begin{aligned} x &= a_{11} + a_{12}x_0 + a_{21}y_0 \\ y &= b_{11} + b_{12}x_0 + b_{21}y_0 \end{aligned} \quad (2.20)$$

Dengan mempertimbangkan fungsi citra yang dibentuk secara keseluruhan oleh transformasi affine maka persamaan (2.20) juga memasukkan parameter pergeseran yaitu Δx , Δy , yang ditandai dengan a_{11} dan b_{11} .

Sedangkan turunan dari persamaan (2.20) tersebut adalah:

$$\begin{aligned} dx &= da_{11} + x_0 da_{12} + y_0 da_{21} \\ dy &= db_{11} + x_0 db_{12} + y_0 db_{21} \end{aligned} \quad (2.21)$$

Dan ditambah dengan dua parameter radiometric r_s (pergeseran) dan r_t (skala) pada persamaan berikut:

$$\begin{aligned} f(x, y) - e(x, y) &= g^0(x, y) + g_x da_{11} + g_x x_0 da_{12} + g_x y_0 da_{21} + \\ &g_y db_{11} + g_y x_0 db_{12} + g_y y_0 db_{21} + r_s + g^0(x, y)r_t \end{aligned} \quad (2.22)$$

Parameter vektor x berisi koefisien desain matrikss A yaitu

$$X^T = \{da_{11}, da_{12}, da_{21}, db_{11}, db_{12}, db_{21}, r_s, r_t\} \quad (2.23)$$

Residual v_i juga dapat diinterpretasikan sebagai pembeda dalam *gray value* antara citra yang diperkirakan bertampalan (sekeliling daerah *match point*) dan pertampalan template.

$$v_i = \hat{g}(x, y)_i - f(x, y)_i, \quad i = 1, \dots, n, \quad (2.24)$$

Dimana, tanda aksen diatas vokal menandai least squares estimator.

2.5.1.2.2 Nilai pendekatan yang disarankan

Dengan pendekatan awal untuk solusi terakhir adalah perolehan hasil iterasi adalah (Schenk, 1999):

$$a_{11}^0 = b_{11}^0 = a_{21}^0 = b_{21}^0 = 0, \quad a_{12}^0 = b_{21}^0 = 1 \quad (2.25)$$

(r_s dan r_t telah linier)

Dan pasangan koordinatnya adalah

$$x_i = x_{0i} \quad y_i = y_{0i} \quad i = 1, \dots, n \quad (2.26)$$

Hasil dari iterasi pertama (n adalah nomor pada piksel dalam template atau citra)

Iterasi berhenti jika setiap element pada *solution vector* \hat{x} berada dalam batas tertentu (c_1, \dots, c_6).

$$\begin{aligned} |da_{11}| < c_1, & \quad |db_{11}| < c_2, \\ |da_{12}| < c_3, & \quad |db_{12}| < c_4, \\ |da_{21}| < c_5, & \quad |db_{21}| < c_6, \end{aligned} \quad (2.27)$$

Dengan demikian, titik konjugasi pada pusat template merupakan pusat dari *matching window* yang telah ditransformasikan ke suatu posisi dan bentuk yang baru setelah semua proses iterasi berakhir.

2.5.2 Feature-Based Matching

Feature-based matching merupakan hubungan antar *entity feature* yang diekstrak dari *gray level* foto sebenarnya. *Feature* yang dimaksudkan antara lain titik, tepi/garis dan daerah. Metode yang digunakan dalam *feature-based matching* yaitu *feature extraction*. *Feature extraction* terdiri dari *interest point*, *edge detection* dan *extracting regions* yang ketiganya mendasarkan pada hubungan berupa sekumpulan *feature* dan hubungan geometris, seperti sudut antara dua poligon yang bersebelahan. Teknik ini juga menggunakan hubungan topologi (Shenck, 1999).

2.6 Kalibrasi Kamera

Untuk mendapatkan nilai ukuran yang memiliki tingkat akurasi, presisi dan *reliability* yang tinggi maka kamera harus dilakukan kalibrasi. Karena proses kalibrasi tersebut mengeliminasi kesalahan sistematis yang terdapat pada unsur intrinsik dari kamera tersebut. Kondisi yang harus diperhatikan agar ketelitian titik-titik ini memenuhi standar spesifikasi pengukuran maka 2 kondisi utama yang harus diperhatikan (Tjahjadi, 2008b).

Dari kedua kondisi utama tersebut, yang pertama adalah metode penentuan titik koordinat foto dan yang kedua adalah kalibrasi kamera. Disini kita menggunakan

kamera CCTV yang menggunakan sensor bertipe CCD (*Charge Coupled Devices*) memiliki susunan komponen-komponen didalamnya yang relatif kurang stabil jika dibandingkan kamera metrik, maka perhatian lebih tertuju pada bagaimana keakurasian parameter-parameter kalibrasi kamera bertipe ini dan bagaimana keakurasian parameter Interior Orientation (IO) beserta Exterior Orientation (EO)-nya dapat dihitung, mengingat ketiga komponen ini akan digunakan untuk melakukan proses intersection didalam persamaan kolinier. Teknik komputasi "*Self Calibrating Bundle Adjustment*" dapat digunakan untuk menghitung parameter kalibrasi, IO, EO dan titik-titik koordinat di permukaan tanah (Tjahjadi, 2008b).

2.6.1 Distorsi Radial

Nilai distorsi radial merupakan perpindahan secara radial suatu titik dari posisi sebenarnya terhadap posisi dari principle point (x_p, y_p) , dengan indikator bila nilainya positif maka pergeserannya mengarah keluar. Persamaan polinomial berdasarkan pada teori desain kamera adalah sebagai berikut (*Wolf and Dewitt, 2004*) :

$$\begin{aligned}\Delta x &= K_1 r^3 + K_2 r^5 + K_3 r^7 \\ \Delta y &= K_1 r^3 + K_2 r^5 + K_3 r^7\end{aligned}\tag{2.28}$$

atau

$$d_r = K_1 r^3 + K_2 r^5 + K_3 r^7 + \dots\tag{2.29}$$

Dimana :

$K_1, K_2,$ dan K_3 = koefisien distorsi radial lensa

d_r = nilai dari distorsi radial

r = jarak radial dari pusat foto terkalibrasi

Dengan nilai r didapat dari :

$$r = \sqrt{\bar{x}^2 + \bar{y}^2} \quad (2.30)$$

Setelah nilai distorsi radial Δx_r dan Δy_r didapat, selanjutnya menghitung komponen koreksi yaitu δ_x, δ_y sebagai berikut:

$$\frac{\Delta r}{r} = \frac{\delta x}{\bar{x}} = \frac{\delta y}{\bar{y}} \quad (2.31)$$

Atau dapat dijabarkan menjadi :

$$\begin{aligned} \delta x &= \bar{x} \frac{\Delta r}{r} \\ \delta y &= \bar{y} \frac{\Delta r}{r} \end{aligned} \quad (2.32)$$

Keterangan :

Δr = nilai dari distorsi radial

\bar{x} = koordinat titik terkoreksi pada sumbu x

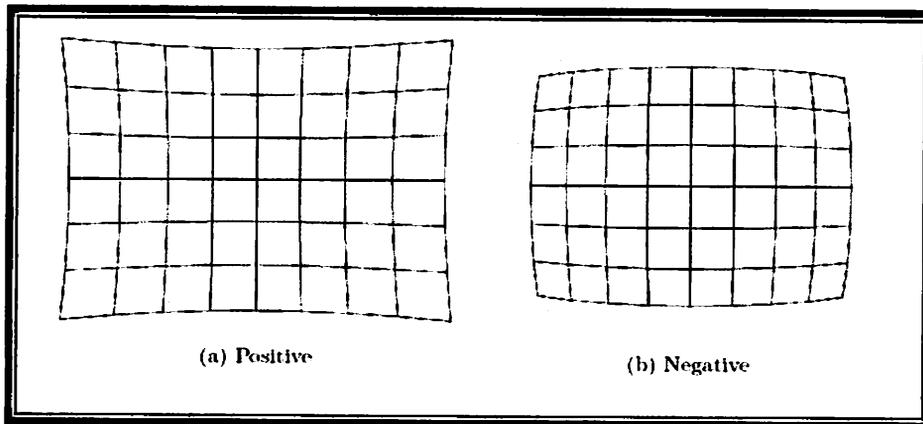
\bar{y} = koordinat titik terkoreksi pada sumbu y

δ_x = nilai koreksi terhadap sumbu x

δ_y = nilai koreksi terhadap sumbu y

Posisi koordinat sebenarnya dapat dicari dengan menggunakan persamaan dibawah ini :

$$\begin{aligned} x &= \bar{x} - \delta x \\ y &= \bar{y} - \delta y \end{aligned} \tag{2.33}$$



Gambar 2.8 Permodelan dari Radial Distortion (Dörstel, et. al., 2004)

2.6.2 Distorsi Tangensial

Distorsi tangensial adalah pergeseran titik pada foto yang diakibatkan oleh misalignment dari komponen lensa (Cooper and Robson, 2001). Pergeseran tersebut dideskripsikan dalam bentuk dua persamaan polinomial, yang mengarah sejajar sumbu x dan sumbu y :

$$\begin{aligned} \Delta x_t &= P_1[r^2 + 2(x - x_0)^2] + 2P_2(x - x_0)(y - y_0) \\ \Delta y_t &= P_2[r^2 + 2(y - y_0)^2] + 2P_1(x - x_0)(y - y_0) \end{aligned} \tag{2.34}$$

Keterangan :

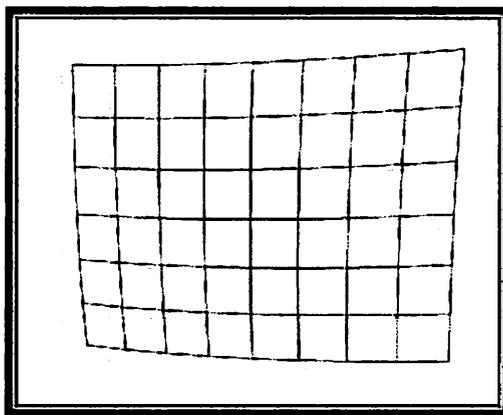
- Δx_t = nilai distorsi tangensial sejajar sumbu x
- Δy_t = nilai distorsi tangensial sejajar sumbu y
- P_1 & P_2 = koefisien distorsi tangensial

r = jarak radial dari pusat foto terkalibrasi

x & y = koordinat titik pada foto

x_0 & y_0 = nilai *principle point*

Dimana P_1 dan P_2 yang merupakan koefisien distorsi tangensial yang bergantung terhadap panjang fokus kamera.



Gambar 2.9 Distorsi Tangensial (Dörstel, et. al., 2004)

2.6.3 Distorsi *Affinity*

Parameter distorsi *affinity* empiris secara alami dan dimodelkan dalam bentuk persamaan polinomial. Untuk kamera digital jumlah parameter dikurangi dari 12 parameter menjadi 2 parameter (DÖRSTEL et al., 2004).

$$\begin{aligned}\Delta x_f &= b_1 \bar{x} + b_2 \bar{y} \\ \Delta y_f &= 0\end{aligned}\tag{2.35}$$

Dimana :

Δx_f = nilai distorsi *affinity* sejajar sumbu x

Δy_f = nilai distorsi *affinity* sejajar sumbu y

b_1 = parameter *scale*

b_2 = parameter *shear*

2.7 Resection dan Intersection

2.7.1 Resection

Reseksi keruangan adalah metode untuk menentukan parameter posisi dan orientasi dari suatu foto berkenaan dengan sistem koordinat obyek dimana titik kontrol obyek telah didistribusikan secara merata. Karena kedua sistem dari sistem koordinat obyek (X, Y, Z) dan sistem koordinat foto (x, y) pada titik kontrol tanah telah diketahui, dengan menggunakan persamaan kolinier, 6 element orientasi luar $(X_s, Y_s, Z_s, \omega, \phi, \kappa)$ dapat dihitung. Dengan syarat parameter orientasi dalam (x_o, y_o, f) juga diketahui. Persamaan kolinier dijabarkan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}x - x_o &= -f \frac{a_1(X - X_s) + b_1(Y - Y_s) + c_1(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)} \\y - y_o &= -f \frac{a_2(X - X_s) + b_2(Y - Y_s) + c_2(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)}\end{aligned}\tag{2.36}$$

Keterangan :

$a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3, c_1, c_2,$ dan c_3 = element matriks rotasi dengan ukuran matrikss 3x3

f = panjang fokus

X, Y, Z = koordinat objek space point

X_s, Y_s, Z_s = koordinat posisi kamera

ω, ϕ, κ = sudut rotasi kamera

x & y = system koordinat foto

x_o & y_o = nilai *principle point*

Dimana $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3, c_1, c_2,$ dan c_3 element matriks rotasi yang dibentuk oleh sudut rotasi ω, ϕ, κ . Dengan menggunakan deret Taylor, persamaan kolinier dapat di linierisasi menjadi persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} x - (x) &= \frac{\partial x}{\partial X_s} \partial X_s + \frac{\partial x}{\partial Y_s} \partial Y_s + \frac{\partial x}{\partial Z_s} \partial Z_s + \frac{\partial x}{\partial \omega} \partial \omega + \frac{\partial x}{\partial \phi} \partial \phi + \frac{\partial x}{\partial \kappa} \partial \kappa \\ x - (y) &= \frac{\partial y}{\partial X_s} \partial X_s + \frac{\partial y}{\partial Y_s} \partial Y_s + \frac{\partial y}{\partial Z_s} \partial Z_s + \frac{\partial y}{\partial \omega} \partial \omega + \frac{\partial y}{\partial \phi} \partial \phi + \frac{\partial y}{\partial \kappa} \partial \kappa \end{aligned} \quad (2.37)$$

Metode ini banyak dibahas dalam berbagai buku bacaan, antara lain Edward M. Mikhail, James S. Bethel, and J. Chris McGlone (2001, p 79). Dengan anggapan vektor observasi b , matriks koefisien A dan vektor parameter ξ dengan susunan sebagai berikut :

$$b = \begin{bmatrix} x - (x) \\ y - (y) \end{bmatrix} \quad (2.38)$$

$$A = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial X_s} & \frac{\partial x}{\partial Y_s} & \frac{\partial x}{\partial Z_s} & \frac{\partial x}{\partial \omega} & \frac{\partial x}{\partial \phi} & \frac{\partial x}{\partial \kappa} \\ \frac{\partial y}{\partial X_s} & \frac{\partial y}{\partial Y_s} & \frac{\partial y}{\partial Z_s} & \frac{\partial y}{\partial \omega} & \frac{\partial y}{\partial \phi} & \frac{\partial y}{\partial \kappa} \end{bmatrix} \quad (2.39)$$

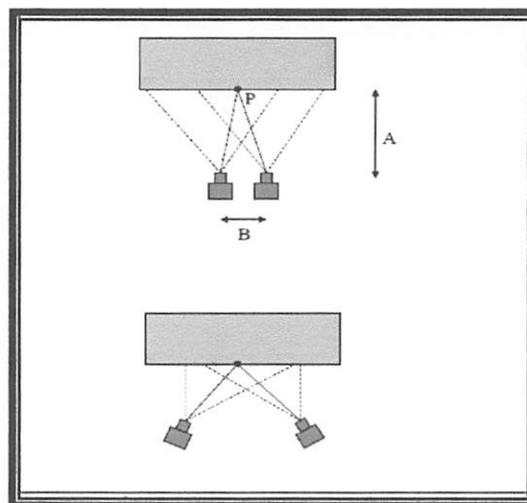
$$\xi = [dX_s \quad dY_s \quad dZ_s \quad d\omega \quad d\phi \quad d\kappa]^T \quad (2.40)$$

Jika jumlah dari kontrol point adalah n , dan b dinotasikan dengan vektor $2n \times 1$. A merupakan data matrikss koefisien, ξ ialah 6×1 vektor parameter yang telah *fix*. Dimana jumlah dari persamaan kesalahan lebih dari 6, sebuah metode Perataan *Least Square* dapat digunakan untuk mengestimasi nilai pendekatan dari vector parameter ξ menggunakan model Gauss-Markov (Chen Yi & Lu Jue).

Tetapi dengan anggapan bahwa hanya vektor observasi yang memiliki nilai kesalahan acak e , akan tetapi, matriks koefisien A dianggap *fix* atau bebas dari kesalahan. Berbagai tipe kesalahan hampir ada dalam berbagai pengukuran. Kesalahan ini antara lain kesalahan model, kesalahan pengguna, kesalahan alat. Dan dengan demikian semua kesalahan tersebut mempengaruhi matriks koefisien A yang didalamnya terdapat *Unknown Errors*.

2.7.2 Intersection

Interseksi adalah salah satu teknik yang digunakan secara umum untuk menentukan koordinat titik-titik (X, Y, Z) yang terdapat pada daerah pertampalan dari dua buah foto yang telah diketahui parameter interior dan parameter eksteriornya. Dengan menggunakan persamaan kondisi kolinieritas maka titik-titik koordinat obyek yang terdapat pada foto dapat diketahui posisinya secara 3 dimensi (X, Y, Z).



Gambar 2.10 Reseksi foto pada Rapid Mapping

Teknik reseksi ini juga dapat digunakan untuk menentukan titik *Ground Kontrol Point's* (GCP's). Pemetaan kadastral menggunakan teknik foto udara, dan penentuan titik-titik yang membutuhkan tingkat keakurasian yang tinggi.

2.8 Penyamaan Sistem Koordinat Antar Model

Pada setiap kasus pengukuran serta penelitian ini khususnya, hal yang perlu diperhatikan adalah sistem koordinat obyek dari hasil survei. Karena koordinat merupakan hal yang paling penting untuk menunjukkan posisi suatu tempat dan koordinat tersebut merupakan hasil akhir dari sebuah kegiatan pengukuran yang divisualisasikan dengan gambar. Dalam hal ini, permasalahannya terdapat perbedaan system koordinat yang dihasilkan masing-masing sensor, untuk sensor kamera akan menghasilkan gambar yang posisinya menggunakan system local dan tanpa datum yang pasti, sedangkan sensor navigasi menggunakan system koordinat geodetik dan WGS-84 sebagai bidang referensinya.

Pada sub-bab sebelumnya telah dibahas mengenai penentuan posisi kamera dari serta pensejajaran posisi kamera tersebut dengan datum yang dihasilkan oleh GPS (WGS-84). Oleh karena itu, maka permasalahannya hanya tinggal pengkonversian koordinat dari masing-masing system koordinat yang dihasilkan pada tiap-tiap sensor. Konversi koordinat merupakan suatu metode perhitungan yang dilakukan untuk mengubah nilai koordinat suatu obyek dari satu system koordinat ke system koordinat yang lainnya (system koordinat kartesian ↔ geodetik ↔ grid/peta) pada bidang datum yang sama (Tjahjadi, 2009).

Dalam hal ini akan dilakukan pengkonversian koordinat ke dalam system koordinat kartesian, karena hanya dalam system koordinat ini dapat dihasilkan hasil perhitungan yang teliti (Tjahjadi, 2009). Akan tetapi, system koordinat ini juga memiliki kelemahan, dan bukan hanya system koordinat kartesian saja, system koordinat lainpun memiliki kelemahan dan kekurangan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada table berikut:

Tabel 2.4: Perbandingan antar sistem koordinat (Tjahjadi, 2009)

Sistem Koordinat	Tingkat kesulitan perhitungan	Tingkat ketelitian perhitungan	Kemudahan penyajian data
Kartesian	mudah	Sangat akurat	Tidak dapat menampilkan data
Geodetik	Sulit (tapi masih mungkin)	Masih bias teliti dengan upaya yang lebih besar	Masih dapat menampilkan data
Grid/Peta	Sangat sulit	Tidak dapat diandalkan	Sangat bagus untuk menyajikan data

2.8.1 Konversi Koordinat

Pada bidang ilmu geodesi, posisi sembarang suatu titik relatif dapat diekspresikan dengan koordinat, baik dalam system koordinat geodetik, grid peta, maupun dalam system koordinat kartesian. Untuk itu memerlukan suatu metode yang dapat merubah nilai koordinat tersebut sesuai dengan kebutuhan dan keperluan dari data yang akan disajikan, yaitu konversi koordinat.

2.8.2 Macam-macam Radius Kurva

Ada dua macam radius kurva elipsoid yang dibutuhkan setiap melakukan pengkonversian koordinat (Tjahjadi, 2009), yaitu :

Radius kurva dalam arah vertikal utama (prime vertical) :

$$v = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \phi)^{3/2}} \quad (2.41)$$

Radius kurva dalam arah meridian :

$$\rho = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 \phi)^{3/2}} \quad (2.42)$$

dimana e adalah eksentrisitas pertama dari elipsoid :

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad (2.43)$$

Keterangan :

v = radius kurva dalam arah vertikal utama (prime vertical)

ρ = radius kurva dalam arah meridian

e = eksentrisitas pertama dari elipsoid

a = nilai sumbu panjang dari elipsoid

b = nilai sumbu pendek dari elipsoid

2.8.3 Konversi Koordinat Geodetik ke Koordinat Kartesian ((Φ, λ, h) \rightarrow (X, Y, Z))

Jika suatu titik diketahui posisinya dalam lintang, bujur, dan tinggi di atas elipsoid (Φ, λ, h), maka posisi titik tersebut dapat dinyatakan dalam system koordinat kartesian dengan rumus konversi berikut:

$$\begin{aligned} X &= (v + h) \cos \phi \cos \lambda \\ Y &= (v + h) \cos \phi \sin \lambda \\ Z &= (v(1 - e^2) + h) \sin \phi \end{aligned} \tag{2.44}$$

Keterangan :

X, Y, Z = nilai koordinat pada sistem Kartesian

Φ, λ, h = nilai koordinat pada sistem Geografis (lintang, bujur, tinggi)

2.8.4 Konversi koordinat Kartesian ke Koordinat Geodetik ((X, Y, Z) \rightarrow (Φ, λ, h))

Apabila suatu titik dinyatakan dengan system koordinat kartesian, maka persamaan berikut ini digunakan untuk mengkonversi nilainya menjadi system koordinat geodetik dan dilakukan secara iteratif.

a) Menghitung jari-jari paralel: $p = \sqrt{X^2 + Y^2}$ (2.45)

b) Menghitung bujur dari: $\tan \lambda = \frac{Y}{X}$ (2.46)

c) Menghitung nilai lintang pendekatan $\Phi_{(0)}$ dari:

$$\tan \phi_{(0)} = \frac{Z}{p} (1 - e^2)^{-1} \quad (2.47)$$

d) Hitung nilai pendekatan untuk radius kurva *prime vertical* $v_{(0)}$ dari:

$$v_{(0)} = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \phi_{(0)})} \quad (2.48)$$

e) Menghitung nilai $h_{(0)}$ pendekatan:

$$h_{(0)} = \frac{X}{\cos \phi_{(0)} \cos \lambda} - v_{(0)} \quad (2.49)$$

f) Menghitung nilai lintang sekali lagi dari:

$$\tan \phi = \frac{Z - h_{(0)} e^2 \sin \phi_{(0)}}{p(1 - e^2)} \quad (2.50)$$

g) Apabila dalam hal ini $\Phi = \Phi_{(0)}$, maka tidak perlu dilakukan iterasi, tetapi begitu juga sebaliknya. Bila $\Phi \neq \Phi_{(0)}$, maka perlu dilakukan perhitungan ulang mulai dari prosedur point (d) berulang-ulang. Kemudian setelah itu dilakukan perhitungan nilai h sekali lagi menggunakan Φ yang terakhir dengan rumus:

$$h = \frac{X}{\cos \phi \cos \lambda} - v_{(\phi)} \quad (2.51)$$

Keterangan :

X, Y, Z = nilai koordinat pada sistem Kartesian

Φ, λ, h = nilai koordinat pada sistem Geografis (lintang, bujur, tinggi)

p = jari-jari parallel

- $\Phi_{(0)}$ = nilai lintang pendekatan
 $v_{(0)}$ = nilai pendekatan untuk radius kurva *prime vertical*
 $h_{(0)}$ = nilai tinggi pendekatan

2.8.5 Konversi Koordinat Geodetik ke Koordinat Grid Peta ((Φ, λ) \rightarrow (E, N))

Bila terdapat sebuah koordinat geodetik pada suatu elipsoid tertentu dikonversikan ke bidang datar koordinat grid peta, maka akan dilakukan pengkonversian koordinat yang biasa disebut proyeksi peta. Di Indonesia, system proyeksi yang umum digunakan adalah *Transverse Mercator*. Sistem proyeksi ini menurunkan rumus untuk proyeksi titik pada elipsoid ke bidang peta dengan rumus:

$$\begin{aligned}
 E' = k_0 \left\{ v \omega \cos \phi + v \frac{\omega^3}{6} \cos^3 \phi (\psi - t^2) \right. \\
 + v \frac{\omega^5}{120} \cos^5 \phi [4\psi^3 (1 - 6t^2) + \psi^2 (1 - 8t^2) + \psi (2t^2) + t^4] \\
 \left. + v \frac{\omega^7}{5040} \cos^7 \phi (61 - 479t^2 + 179t^4 - t^6) \right\} \quad (2.52)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N' = k_0 \left\{ m + \frac{1}{2} \omega^2 v \sin \phi \cos \phi \right. \\
 + \frac{1}{24} \omega^4 v \sin \phi \cos^3 \phi (4\psi^2 + \psi - t^2) \\
 + \frac{1}{720} \omega^6 v \sin \phi \cos^5 \phi [8\psi^4 (11 - 24t^2) - 28\psi^3 (1 - 6t^2) \\
 + \psi (1 - 32t^2) - \psi (2t^2) + t^4] \\
 \left. + \frac{1}{40320} \omega^8 v \sin \phi \cos^7 \phi (1385 - 3111t^2 + 543t^4 - t^6) \right\} \quad (2.53)
 \end{aligned}$$

Untuk system grid peta UTM berlaku ketentuan:

$$E = E' + 500.000$$

$$N = N' + 10.000.000 \quad (\text{untuk lintang selatan}) \quad (2.54)$$

$$N = N' \quad (\text{untuk lintang utara})$$

$$k_0 = 0.9996$$

Untuk system grid peta TM3⁰ berlaku ketentuan:

$$E = E' + 200.000$$

$$N = N' + 1.500.000 \quad (\text{untuk lintang selatan}) \quad (2.55)$$

$$N = N' \quad (\text{untuk lintang utara})$$

$$k_0 = 0.9999$$

Dimana:

E = Easting, absis semu (Timur)

N = Northing, ordinat semu (Utara)

E' = Absis sejati (ekuator)

N' = Ordinat sejati (Meridian sentral)

k₀ = Faktor skala meridian sentral

ω = λ - λ₀

Φ = Lintang geodetic (latitude)

λ = Bujur geodetic (longitude)

λ₀ = Bujur geodetic untuk meridian sentral

v = Radius kurva pada arah prime vertical

ρ = Radius kurva pada arah meridian

$$\psi = v/\rho$$

$$t = \tan \Phi$$

Jarak meridian atau panjang busur meridian m (dalam meter) adalah:

$$m = a(A\phi - A_2 \sin 2\phi + A_4 \sin 4\phi - A_6 \sin 6\phi) \quad (2.56)$$

Dan;

$$\begin{aligned} A_0 &= 1 - \left(\frac{1}{4}e^2\right) - \left(\frac{3}{64}e^4\right) - \left(\frac{5}{256}e^6\right) \\ A_2 &= \left(\frac{3}{8}e^2\right) + \left(\frac{3}{32}e^4\right) + \left(\frac{45}{1024}e^6\right) \\ A_4 &= \left(\frac{15}{256}e^4\right) + \left(\frac{45}{1024}e^6\right) \\ A_6 &= \frac{35}{3072}e^6 \end{aligned} \quad (2.57)$$

2.8.6 Absolut Orientasi

Absolut orientasi merupakan proses dalam ilmu fotogrametri untuk menentukan nilai skala dan elemen orientasi dari model geometri dengan membangun terlebih dahulu orientasi relatif pada setiap *image* (Zhang & Yao, 2008). Ada tujuh parameter yang akan dicari pada metode ini yaitu satu faktor skala (s), tiga faktor rotasi (ω , ϕ , κ) dan faktor translasi (T_x , T_y , T_z) (Mikhail et al., 2001).

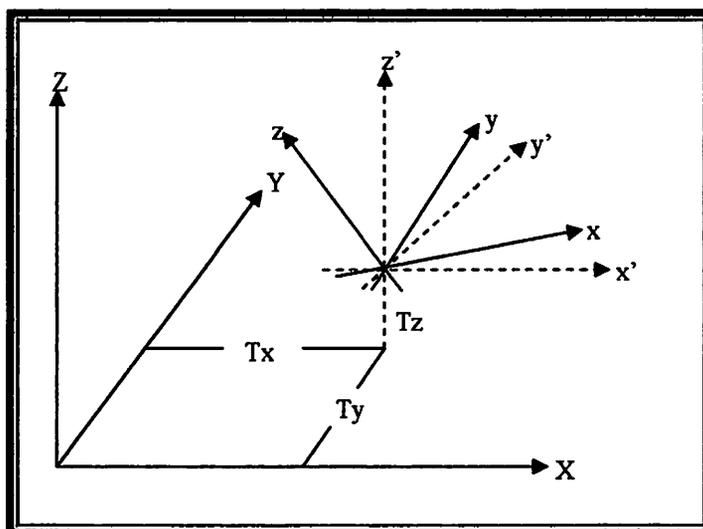
Metode ini akan digunakan untuk menentukan nilai koordinat objek 3D dan melakukan penyamaan sistem koordinat antara dua sistem dengan menentukan terlebih dahulu nilai pendekatan tujuh parameter. Untuk lebih jelasnya, metode ini akan di jelaskan secara lengkap pada sub-bab selanjutnya.

2.8.6.1 Transformasi Koordinat Konform 3 Dimensi

Seperti yang tercermin oleh namanya, transformasi koordinat konform 3D meliputi perubahan dari suatu sistem 3D ke sistem lainnya. Didalam transformasi, bentuk yang benar tetap dipertahankan. Jenis transformasi koordinat ini penting didalam fotogrametri analitik dan fotogrametri komputasional sehubungan dengan dua masalah pokok (Wolf, 1993; Wolf & Dewit, 2000) :

1. Untuk mengubah koordinat titik-titik dari sistem koordinat foto yang mengalami kecondongan (*tilt*) ke sistem foto tegak ekuivalennya yang sejajar dengan sistem ruang medan atau sembarang.
2. Untuk membentuk model jalur 3D dari model stereo.

Persamaan transformasi koordinat konform 3D akan dibahas pada subbab ini dan akan digunakan dalam proses penentuan parameter eksterior orientasi.



Gambar 2.11 Sistem koordinat 3D XYZ dan xyz arah kanan

Sesuai dengan Gambar (2.11) dilakukan perubahan koordinat titik dari sebuah sistem *Arbitrary* ke sistem *Control*. Seperti tercermin dalam gambar tersebut, dua sistem koordinat tidak sejajar. Persamaan transformasi yang perlu dapat dinyatakan sesuai dengan tujuh parameter transformasi yang terdiri dari tiga parameter sudut rotasi omega (ω), phi (φ) dan kappa (κ), sebuah faktor skala (s) dan tiga parameter translasi (T_x, T_y, T_z). Sistem rotasi ω, φ, κ akan bernilai positif apabila arah rotasinya berlawanan terhadap arah jarum jam apabila diamati dari ujung positif sumbunya (Wolf, 1993).

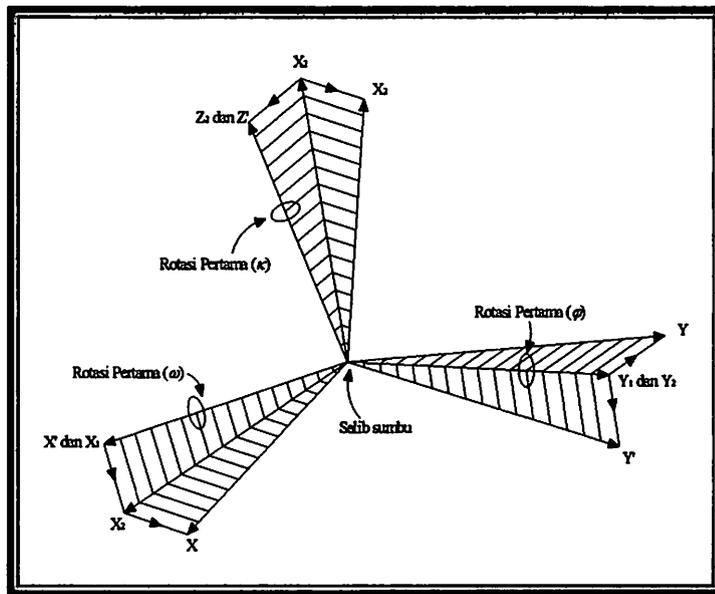
Persamaan transformasi harus dikembangkan dengan dua langkah dasar antara lain rotasi, penskalaan dan translasi. Kedua langkah tersebut akan dijelaskan secara detail pada sub-bab dibawah ini.

2.8.6.1.1 Faktor Rotasi

Pada Gambar (2.11) dibuat sistem koordinat x', y', z' sejajar dengan sistem objek x, y, z dengan salib sumbu pada sistem salib sumbu xyz . Didalam mengembangkan formula rotasi, biasanya dipertimbangkan bahwa tiga rotasi terjadi sedemikian hingga seperti berubah dari sistem x', y', z' ke sistem xyz .

Persamaan rotasi dikembangkan didalam suatu rangkaian tiga rotasi dua dimensi. Rotasi ini, seperti yang terlihat pada Gambar (2.12) yang pertama ialah rotasi ω pada sumbu x' yang mengubah koordinat dari sistem x', y', z' ke sistem x_1, y_1, z_1 , yang kedua adalah rotasi ω pada sumbu y_1 yang

berputar dan mengubah koordinat dari sistem x_1, y_1, z_1 ke sistem x_2, y_2, z_2 dan ketiga, rotasi κ yang berputar mengubah sistem koordinat x_2, y_2, z_2 kesistem x, y, z . Jumlah dan arah putaran yang tepat bagi tiap transformasi koordinat 3 dimensi akan bergantung pada hubungan arah antara sistem koordinat *Arbitrary* (x, y, z) dan *Control* (X, Y, Z).

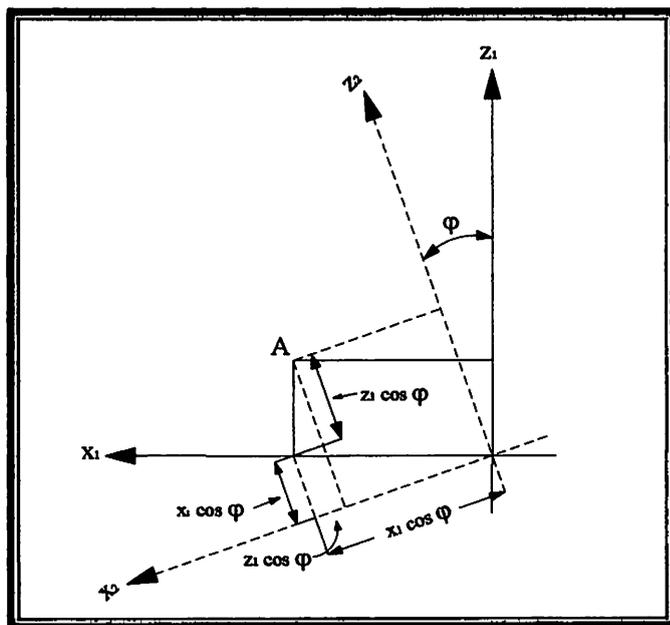


Gambar 2.12 Rotasi ketiga sudut

$$\begin{aligned}
 x_1 &= x' \\
 y_1 &= y' \cos \omega + z' \sin \omega \dots\dots\dots (2.58) \\
 z_1 &= -y' \sin \omega + z' \cos \omega
 \end{aligned}$$

Karena rotasi itu bersumbu putar x' , maka sumbu x' dan x_1 berhimpit dan oleh karenanya koordinat x bagi A tidak berubah.

Yang kedua, rotasi dengan sudut phi pada sumbu y_1 , seperti tercermin pada Gambar 2.13. Koordinat A dalam sistem koordinat x_2, y_2, z_2 yang berputar, seperti yang disajikan dalam Gambar 2.13 adalah :



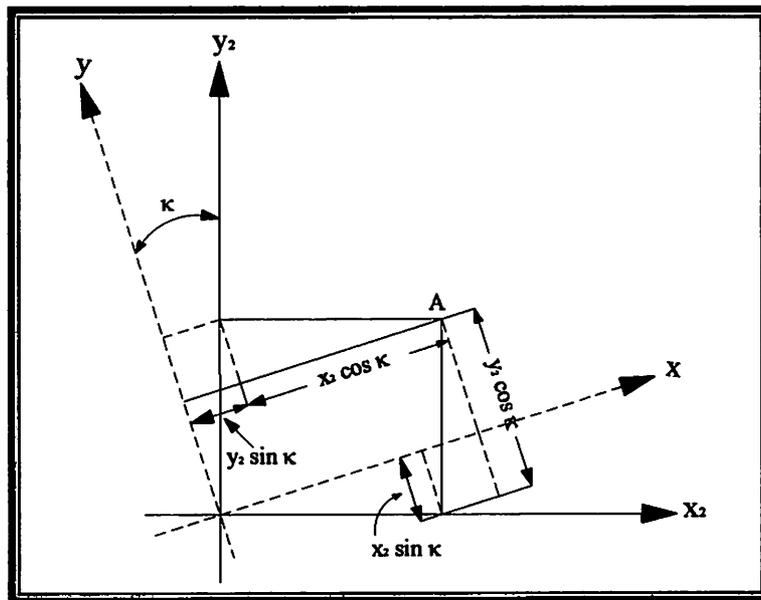
Gambar 2.13 Rotasi phi pada sumbu putar y_1

$$\begin{aligned}
 x_2 &= -z_1 \sin \varphi + x_1 \cos \varphi \\
 y_2 &= y_1 \dots\dots\dots (2.59) \\
 z_2 &= z_1 \cos \varphi + x_1 \sin \varphi
 \end{aligned}$$

Pada rotasi diseputar y_1 , sumbu y_1 dan y_2 berimpit dan oleh karenanya koordinat y bagi titik A tidak berubah. Dengan jalan substitusi persamaan (2.58) ke (2.59) :

$$\begin{aligned}
 x_2 &= -(-y' \sin \omega + z' \cos \omega) \sin \varphi + x' \cos \varphi \\
 y_2 &= y' \cos \omega + z' \sin \omega \dots\dots\dots (2.60) \\
 z_2 &= (-y' \sin \omega + z' \cos \omega) \cos \varphi + x' \sin \varphi
 \end{aligned}$$

Ketiga, rotasi melalui κ yang bersumbu putar z_2 , seperti tercermin pada Gambar 2.14. Koordinat A didalam sistem koordinat yang telah diputar tiga kali, yang sekarang menjadi sistem *arbitrary* seperti yang disajikan pada Gambar 2.14 ialah :



Gambar 2.14 Rotasi kappa pada sumbu putar z_2

$$\begin{aligned}
 x &= x_2 \cos \kappa + y_2 \sin \kappa \\
 y &= -x_2 \sin \kappa + y_2 \cos \kappa \dots\dots\dots (2.61) \\
 z &= z_2
 \end{aligned}$$

Didalam rotasi diseputar z_2 ini, sumbu z_2 dan z berimpit dan oleh karenanya koordinat z bagi A tidak berubah. Dengan Substitusi Persamaan (2.58) ke (2.59) :

$$\begin{aligned}
 x &= [(y' \sin \omega - z' \cos \omega) \sin \varphi + x' \cos \varphi] \cos \kappa + \\
 &\quad (y' \cos \omega + z' \sin \omega) \sin \kappa \\
 y &= [(-y' \sin \omega + z' \cos \omega) \sin \varphi - x' \cos \varphi] \sin \kappa + \dots\dots\dots (2.62) \\
 &\quad (y' \cos \omega + z' \sin \omega) \cos \kappa \\
 z &= (-y' \sin \omega + z' \cos \omega) \cos \varphi + x' \sin \varphi
 \end{aligned}$$

Dengan melakukan perkalian Persamaan (2.62) :

$$\begin{aligned}
 x &= x'(\cos \varphi \cos \kappa) + y'(\sin \omega \sin \varphi \cos \kappa + \cos \omega \sin \kappa) \\
 &\quad + z'(-\cos \omega \sin \varphi \cos \kappa + \sin \omega \sin \kappa) \\
 y &= x'(-\cos \varphi \sin \kappa) + y'(-\sin \omega \sin \varphi \sin \kappa + \cos \omega \cos \kappa) \dots\dots\dots (2.63) \\
 &\quad + z'(\cos \omega \sin \varphi \sin \kappa + \sin \omega \cos \kappa) \\
 z &= x'(\sin \varphi) + y'(-\sin \omega \cos \varphi) + z'(\cos \omega \cos \varphi)
 \end{aligned}$$

Dengan substitusi m untuk koefisien $x'y'z'$ pada Persamaan (2.63), maka persamaan ini menjadi :

$$\begin{aligned}
 x &= m_{11}x' + m_{12}y' + m_{13}z' \\
 y &= m_{21}x' + m_{22}y' + m_{23}z' \dots\dots\dots (2.64) \\
 z &= m_{31}x' + m_{32}y' + m_{33}z
 \end{aligned}$$

Dimana :

$$\begin{aligned}
 m_{11} &= \cos \varphi \cos \kappa \\
 m_{12} &= \sin \omega \sin \varphi \cos \kappa + \cos \omega \sin \kappa \\
 m_{13} &= -\cos \omega \sin \varphi \cos \kappa + \sin \omega \sin \kappa \\
 m_{21} &= -\cos \varphi \sin \kappa \\
 m_{22} &= -\sin \omega \sin \varphi \sin \kappa + \cos \omega \cos \kappa \dots\dots\dots (2.65) \\
 m_{23} &= \cos \omega \sin \varphi \sin \kappa + \sin \omega \cos \kappa \\
 m_{31} &= \sin \varphi \\
 m_{32} &= -\sin \omega \cos \varphi \\
 m_{33} &= \cos \omega \cos \varphi
 \end{aligned}$$

Persamaan (2.64) dapat dinyatakan dalam bentuk matriks sebagai :

$$X = MX' \dots\dots\dots (2.66)$$

Dimana :

$$X = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} \quad M = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{bmatrix} \quad \text{dan} \quad X' = \begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.67)$$

Matriks M biasanya disebut matriks rotasi. Unsur individual matriks rotasi merupakan cosinus arah yang menghubungkan dua sistem sumbu.

Unsur matriks dinyatakan didalam cosinus arah adalah :

$$M = \begin{bmatrix} \cos xx' & \cos xy' & \cos xz' \\ \cos yx' & \cos yy' & \cos yz' \\ \cos zx' & \cos zy' & \cos zz' \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.68)$$

Pada matriks diatas, $\cos xx'$ ialah cosinus arah yang menghubungkan sumbu x dan x' , $\cos xy'$ menghubungkan sumbu x dan y' dan seterusnya. Cosinus arah adalah cosinus sudut dalam ruang antara sumbu-sumbu yang bersangkutan, diukur dari 0° - 180° . Merupakan satu sifat penting bahwa jumlah kuadrat tiga cosinus arah suatu garis lurus merupakan suatu kesatuan. Sifat ini dapat digunakan untuk mncecek unsur terhitung bagi matriks rotasi untuk menjaga ketelitian. Cek ini diperoleh bila jumlah kuadrat unsur-unsur suatu jalur atau lajur matriks M sama besar dengan 1. Matriks rotasi merupakan sebuah matriks *ortogonal* yang memiliki sifat bahwa kebalikannya sama besar dengan 'transposenya', atau :

$$M^{-1} = M^T \dots\dots\dots (2.69)$$

Dengan menggunakan sifat ini, Persamaan (2.66) dapat ditulis kembali untuk menyatakan koordinat x', y', z' sesuai dengan koordinat x, y, z sebagai berikut :

$$X' = M^T X \dots\dots\dots (2.70)$$

Didalam bentuk yang diperluas, persamaan ini menjadi :

$$\begin{aligned} x' &= m_{11}x + m_{21}y + m_{31}z \\ y' &= m_{12}x + m_{22}y + m_{32}z \dots\dots\dots (2.71) \\ z' &= m_{13}x + m_{23}y + m_{33}z \end{aligned}$$

2.8.6.1.2 Skala dan Translasi

Untuk sampai pada akhir persamaan transformasi koordinat tiga dimensi, misalnya persamaan yang membuahkan koordinat didalam sistem X, Y, Z dalam Gambar 2.4, perlu mengalikan tiap Persamaan (2.71) dengan faktor skala s dan menambahkan faktor translasi T_x, T_y dan T_z (koordinat yang x', y', z' pada Persamaan (2.71) berada dalam sistem yang sejajar dengan sistem X, Y, Z . Ini menyebabkan panjang tiap garis sama besar pada kedua sistem koordinat dan menterjemahkan dari salib sumbu x', y', z' ke sistem salib sumbu X, Y, Z . Pelaksanaan untuk langkahnya adalah sebagai berikut (Romsek, 2004) :

$$\begin{aligned} X &= sx' + T_x = s(m_{11}x + m_{21}y + m_{31}z) + T_x \\ Y &= sy' + T_y = s(m_{12}x + m_{22}y + m_{32}z) + T_y \dots\dots\dots (2.72) \\ Z &= sz' + T_z = s(m_{13}x + m_{23}y + m_{33}z) + T_z \end{aligned}$$

Didalam bentuk matrikss, Persamaan (2.70) yaitu :

$$\bar{X} = sM^T X + T \dots\dots\dots (2.73)$$

Didalam Persamaan (2.73) matriks M dan X seperti yang telah didefinisikan, s merupakan faktor skala, dan :

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \text{ dan } T = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.74)$$

Didalam Persamaan (2.72), sembilan m tidak bebas terhadap yang lain, akan tetapi seperti terlihat pada Persamaan (2.65), m tersebut merupakan fungsi tiga sudut rotasi ω , φ , κ . Sebagai tambahan terhadap tiga sudut yang tidak diketahui ini, juga ada tiga faktor translasi dan satu faktor skala yang tidak diketahui didalam Persamaan (2.72), yang keseluruhannya membuahkan tujuh faktor yang tidak diketahui. Suatu penyelesaian unik diperoleh bagi yang tidak diketahui apabila koordinat x dan y dua titik mendatar dan koordinat Z bagi titik tegak diketahui, juga kedua sistem tersebut. Apabila pada kedua sistem diketahui, lebih dari tujuh koordinat, dapat ditulis persamaan ulangan yang memungkinkan perbaikan penyelesaian dengan cara kuadrat terkecil (Wolf, 1993).

2.8.6.2 Penentuan Nilai Pendekatan Parameter Transformasi

Sebelum melakukan perhitungan untuk tujuh parameter, dilakukan terlebih dahulu perhitungan untuk nilai pendekatan terhadap ketujuh parameter tersebut. Hal ini akan diuraikan secara jelas pada subbab di bawah ini.

2.8.6.2.1 Nilai Pendekatan Faktor Skala

Proses perhitungan untuk faktor skala sangatlah sederhana (Dewitt, 1996). Dengan memilih sepasang titik yang mewakili dua sistem yang berbeda dan dilakukan proses perhitungan rasio untuk tiap yang terdapat pada dua sistem tersebut. Dalam proses transformasi, faktor skala ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Skala = \frac{\text{jarak pada sistem kontrol}}{\text{jarak pada sistem sembarang}} \dots\dots\dots (2.75)$$

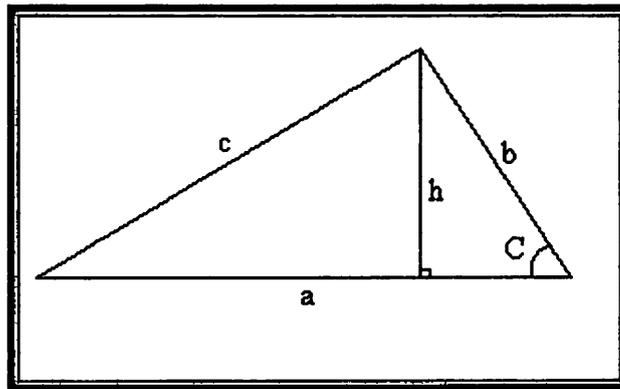
Dengan mengasumsikan tidak ada nilai kesalahan dan garis yang diwakili memiliki panjang yang cukup, maka akurasi nilai pendekatan untuk faktor skala dapat ditentukan dengan persamaan diatas.

2.8.6.2.2 Nilai Pendekatan Faktor Rotasi

Penentuan nilai pendekatan yang akurat untuk tiga faktor rotasi adalah persoalan yang cukup sulit untuk diselesaikan. Pada prosesnya akan dibahas dengan langkah-langkah sebagai berikut (Dewwit, 1996) :

Yang pertama ialah memilih tiga titik dengan bentuk geometri yang baik. Dalam proses penentuan nilai geometri yang baik, tiga titik yang tersebar pada kedua sistem harus dipilih. Ini dilakukan untuk mengurangi kemungkinan memilih tiga titik yang hampir segaris. Pemilihan tiga titik didasarkan pada pembentukan sebuah segitiga yang memiliki nilai tinggi segitiga terbesar, dimana ketinggian tersebut didefinisikan sebagai jarak

tegak lurus dari sisi terpanjang. Seperti yang diilustrasikan pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.15 Tinggi dari sisi yang terpanjang

Penentuan ini dapat dilakukan baik dalam sistem kontrol atau sistem sembarang dengan anggapan dari kedua sistem tersebut tidak terdapat nilai kesalahan. Pada Gambar (2.15) mengilustrasikan bagaimana tinggi dari segitiga ini didefinisikan. Dalam gambar diatas, sisi terpanjang dinotasikan dengan (*a*) dan dikarenakan garis ketinggian tegak lurus terhadap sisi ini, karena ditentukan ketinggian tegak lurus terhadap sisi ini, sehingga didapat dua buah segitiga yang sebangun. Persamaan untuk menentukan nilai ketinggian dapat dituliskan dalam persamaan dibawah ini :

$$h^2 = b^2 - \left(\frac{a^2 + b^2 - c^2}{2a} \right) \dots\dots\dots (2.76)$$

Kedua, menghitung nilai vektor normal menggunakan Persamaan (2.77) untuk kombinasi titik yang memiliki nilai *h* terbesar. Proses ini akan

menghasilkan dua pasang koefisien a , b dan c yang merupakan koefisien untuk sistem sembarang dan sistem kontrol.

$$\begin{aligned} a &= (y_2 - y_1)(z_3 - z_1) - (y_3 - y_1)(z_2 - z_1) \\ b &= (x_3 - x_1)(z_2 - z_1) - (x_2 - x_1)(z_3 - z_1) \\ c &= (x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (x_3 - x_1)(y_2 - y_1) \dots\dots\dots (2.77) \end{aligned}$$

Persamaan diatas merupakan nilai koefisien dari sebuah unit vektor normal yang didefinisikan dalam arah i , j , k dan dapat dituliskan dalam sebuah persamaan matematika sebagai berikut :

$$N = a \cdot \bar{i} + b \cdot \bar{j} + c \cdot \bar{k} \dots\dots\dots (2.78)$$

Ketiga, menentukan nilai parameter sudut rotasi dalam sistem rotasi *tilt*, *swing*, dan *azimuth*. Parameter *tilt* dan *azimuth* dapat dihitung menggunakan nilai koefisien vektor normal seperti yang telah dijelaskan pada Persamaan (2.77) sedangkan nilai parameter sudut rotasi untuk *swing* dapat diberikan nilai awal nol. Adapun persamaan untuk menentukan nilai *tilt* dan *azimuth* dapat digunakan persamaan dibawah ini :

$$\begin{aligned} tilt &= \tan^{-1} \left(\frac{c}{\sqrt{a^2 + b^2}} \right) + 90^\circ \dots\dots\dots (2.79) \\ azimuth &= \tan^{-1} \left(\frac{a}{b} \right) \end{aligned}$$

Keempat, menghitung nilai sudut rotasi pada kedua sistem menggunakan nilai yang berhubungan dengan *tilt* dan *azimuth*. Rotasi ini akan menyebabkan bidang yang didefinisikan oleh tiga titik sejajar terhadap bidang xy pada kedua system. Ini diselesaikan dengan menghitung matriks

rotasi pada kedua sistem berdasarkan pada titik yang mewakili nilai untuk *tilt* dan *azimuth* dengan *swing* yang diset pada nilai 0°. Untuk lebih jelasnya, dibawah ini merupakan persamaan yang menunjukkan matriks rotasi (Dewwit, 1996) :

$$\begin{aligned}
 m_{11} &= -\cos(\alpha) \cos(s) - \sin(\alpha) \cos(t) \sin(s) \\
 m_{12} &= \sin(\alpha) \cos(s) - \cos(\alpha) \cos(t) \sin(s) \\
 m_{13} &= -\sin(t) \sin(s) \\
 m_{21} &= \cos(\alpha) \sin(s) - \sin(\alpha) \cos(t) \cos(s) \\
 m_{22} &= -\sin(\alpha) \sin(s) - \cos(\alpha) \cos(t) \cos(s) \dots\dots\dots (2.80) \\
 m_{23} &= -\sin(t) \cos s \\
 m_{31} &= -\sin(\alpha) \sin(t) \\
 m_{32} &= -\cos(\alpha) \sin(t) \\
 m_{33} &= \cos(t)
 \end{aligned}$$

Matriks rotasi ini lalu diterapkan terhadap dua diantara tiga titik pada setiap sistem, menghasilkan titik yang ditransformasikan pada koordinat z. Penyelesaian ini dapat selesaikan dengan menggunakan Persamaan (2.71) yang dituliskan kembali seperti dibawah ini :

$$x' = m_{11}x + m_{21}y + m_{31}z \dots\dots\dots (2.81)$$

$$y' = m_{12}x + m_{22}y + m_{32}z \dots\dots\dots (2.82)$$

$$z' = m_{13}x + m_{23}y + m_{33}z \dots\dots\dots (2.83)$$

Persamaan ini diaplikasikan sebanyak empat kali, yang pertama adalah untuk setiap dua titik pada sistem kontrol dan kedua untuk setiap dua titik yang sama pada sistem sembarang. Untuk dua aplikasi yang pertama, matriks rotasi untuk sistem kontrol menggunakan koordinat titik kontrol *x*,

y , z untuk dua titik. Untuk dua aplikasi yang terakhir, matriks rotasi pada sistem sembarang menggunakan titik yang berhubungan dengan koordinat xyz pada sistem sembarang (Dewwit, 1996).

Koordinat utama yang dihasilkan mengartikan garis horizontal pada kedua sistem dan penerapannya memerlukan nilai *swing* pada sistem yang pertama untuk memberi arah yang sama pada sistem yang kedua. Persamaan (2.83) menunjukkan kejelasan, akan tetapi untuk koordinat z' tidak perlu dilakukan perhitungan karena tidak digunakan untuk perhitungan selanjutnya.

Proses yang kelima ialah penentuan nilai *swing* dengan nilai *azimuth* yang berbeda pada garis normal. Menggunakan koordinat yang telah ditransformasikan pada dua titik sebagai penentuan pada langkah keempat. Selanjutnya melakukan proses perhitungan pada nilai *azimuth* yang menghubungkan garis pada tiap sistem. *Swing* diperlukan untuk menyamakan sistem sembarang dengan sistem kontrol yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$Swing = Azimuth(control) - Azimuth(sembarang) \dots\dots\dots (2.84)$$

Keenam, menggabungkan dua nilai *tilt*, dua nilai *azimuth* dan satu nilai *swing* kedalam satu matriks rotasi. Matriks rotasi M_1 dibentuk menggunakan *tilt* dan *azimuth* pada vektor normal di sistem sembarang, digabungkan dengan nilai *swing* yang ditentukan pada langkah kelima. Sedangkan untuk matriks M_2 , bentuk matriksnya hanya menggunakan nilai

tilt dan *azimuth* pada vektor normal di sistem kontrol. Persamaan dibawah ini menunjukkan bagaimana titik koordinat pada dua sistem dihubungkan :

$$M_1 \cdot \begin{bmatrix} x_a \\ y_a \\ z_a \end{bmatrix} = M_2 \cdot \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.85)$$

Notasi yang terdapat pada persamaan diatas secara teknis tidaklah sama. Ini diartikan bahwa notasi di atas saling berhubungan atau mempunyai fungsi yang sama. Kedua matriks tersebut digabungkan kedalam satu matriks rotasi yang persamaannya ditunjukkan pada persamaan dibawah ini dimana tanda yang sama mempunyai arti yang sama seperti pada Persamaan (2.85) (*Dewitt, 1996*):

$$\begin{bmatrix} x_a \\ y_a \\ z_a \end{bmatrix} = M_1^T \cdot M_2 \cdot \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = M \cdot \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.86)$$

Ketujuh, dari matriks rotasi *M*, hitung nilai masing-masing untuk *omega*, *phi*, dan *kappa*. Hal ini dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan seperti dibawah ini (*Dewitt, 1996*) :

$$\begin{aligned} \omega &= \tan^{-1}(-m_{32}/m_{33}) \\ \phi &= \sin^{-1}(m_{31}) \dots\dots\dots (2.87) \\ \kappa &= \tan^{-1}(-m_{21}/m_{11}) \end{aligned}$$

2.8.6.2 Proses Perataan Parameter Transformasi

Ada beraneka pendekatan untuk menyelesaikan parameter transformasi yang belum diketahui. Sebuah metode yang meniadakan tiga faktor translasi dengan jalan substraksi, dan oleh karenanya mengurangi jumlah persamaan yang harus diselesaikan bagi empat persamaan. Metode ini secara bersamaan menyelesaikan tujuh faktor yang tidak diketahui, meskipun cara ini memerlukan upaya perhitungan yang lebih banyak.

Persamaan (2.72) merupakan persamaan nonlinier yang mengandung tujuh faktor yang tidak diketahui yaitu s , ω , φ , κ , T_x , T_y dan T_z . Untuk menyelesaikan persamaan ini, maka Persamaan (2.72) terlebih dahulu dilinierkan menggunakan *teorema Taylor*. Misalkan ada titik p koordinatnya diketahui pada kedua sistem. Sehubungan dengan *teorema Taylor*, maka dapat ditulis bentuk linier dari persamaan (2.72) adalah :

$$\begin{aligned}
 X_p &= (X_p)_0 + \left(\frac{\delta X_p}{\delta s}\right)_0 ds + \left(\frac{\delta X_p}{\delta \omega}\right)_0 d\omega + \left(\frac{\delta X_p}{\delta \varphi}\right)_0 d\varphi + \left(\frac{\delta X_p}{\delta \kappa}\right)_0 d\kappa + \\
 &\quad \left(\frac{\delta X_p}{\delta T_x}\right)_0 dT_x + \left(\frac{\delta X_p}{\delta T_y}\right)_0 dT_y + \left(\frac{\delta X_p}{\delta T_z}\right)_0 dT_z \\
 \\
 Y_p &= (Y_p)_0 + \left(\frac{\delta Y_p}{\delta s}\right)_0 ds + \left(\frac{\delta Y_p}{\delta \omega}\right)_0 d\omega + \left(\frac{\delta Y_p}{\delta \varphi}\right)_0 d\varphi + \left(\frac{\delta Y_p}{\delta \kappa}\right)_0 d\kappa + \dots\dots\dots (2.88) \\
 &\quad \left(\frac{\delta Y_p}{\delta T_x}\right)_0 dT_x + \left(\frac{\delta Y_p}{\delta T_y}\right)_0 dT_y + \left(\frac{\delta Y_p}{\delta T_z}\right)_0 dT_z
 \end{aligned}$$

$$Y_P = (Y_P)_0 + \left(\frac{\delta Y_P}{\delta s}\right)_0 ds + \left(\frac{\delta Y_P}{\delta \omega}\right)_0 d\omega + \left(\frac{\delta Y_P}{\delta \varphi}\right)_0 d\varphi + \left(\frac{\delta Y_P}{\delta \kappa}\right)_0 d\kappa + \left(\frac{\delta Y_P}{\delta T_x}\right)_0 dT_x + \left(\frac{\delta Y_P}{\delta T_y}\right)_0 dT_y + \left(\frac{\delta Y_P}{\delta T_z}\right)_0 dT_z$$

Secara sederhana dengan mengubah huruf-huruf, pernyataan sejenis Persamaan (2.88) dibuat untuk titik q dan r , sehingga membuahkan jumlah total sembilan persamaan. Di dalam Persamaan (2.88), $(X_p)_0$, $(Y_p)_0$ dan $(Z_p)_0$ merupakan sisi sebelah kanan segitiga persamaan pertama persamaan (2.79) yang dievaluasi pada awal perkiraan, $(\delta X_p/\delta s)_0$, $(\delta X_p/\delta s)_0$ dan sebagainya merupakan ubahan parsial sehubungan dengan faktor tak diketahui yang telah ditunjukkan yang dievaluasi pada awal perkiraan. Satuan $d\omega$, $d\varphi$ dan $d\kappa$ adalah radian (Wolf, 1993).

Dengan substitusi huruf bagi koefisien ubahan, sembilan persamaan linier dalam bentuk Persamaan (2.88) semuanya diberikan berikut :

$$\begin{aligned} & a_{11} + a_{12}d\omega + a_{13}d\varphi + a_{14}d\kappa + a_{15}dT_x + a_{16}dT_y \\ & + a_{17}dT_z = [X_P - (X_P)_0] + vX_P \\ & a_{21} + a_{22}d\omega + a_{23}d\varphi + a_{24}d\kappa + a_{25}dT_x + a_{26}dT_y \\ & + a_{27}dT_z = [Y_P - (Y_P)_0] + vY_P \dots\dots\dots (2.89) \\ & a_{31} + a_{32}d\omega + a_{33}d\varphi + a_{34}d\kappa + a_{35}dT_x + a_{36}dT_y \\ & + a_{37}dT_z = [Z_P - (Z_P)_0] + vZ_P \end{aligned}$$

Persamaan (2.86) dapat dinyatakan dalam bentuk matriks sebagai berikut :

$$AX = L + V \dots\dots\dots (2.90)$$

Untuk memperjelas koefisien Persamaan (2.88), ubahan parsial bagi tiga persamaan pertama adalah :

$$\begin{aligned}
 a_{11} &= m_{11}(x_p) + m_{21}(y_p) + m_{31}(z_p) \\
 a_{12} &= 0 \\
 a_{13} &= [(-\sin \varphi \cos \kappa)(x_p) + \sin \varphi \sin \kappa(y_p) + \cos \varphi(z_p)]s \\
 a_{14} &= [m_{21}(x_p) - m_{11}(y_p)]s \dots\dots\dots (2.91) \\
 a_{15} &= a_{26} = a_{37} = 1 \\
 a_{16} &= a_{17} = a_{25} = a_{27} = a_{35} = a_{36} = 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_{21} &= m_{12}(x_p) + m_{22}(y_p) + m_{32}(z_p) \\
 a_{22} &= [-m_{13}(x_p) - m_{23}(y_p) - m_{33}(z_p)]s \\
 a_{23} &= [(\sin \omega \cos \varphi \cos \kappa)(x_p) + (-\sin \omega \cos \varphi \sin \kappa)(y_p) + (\sin \omega \sin \varphi)(z_p)]s \\
 a_{24} &= [m_{22}(x_p) - m_{12}(y_p)]s \\
 a_{31} &= m_{13}(x_p) + m_{23}(y_p) + m_{33}(z_p) \\
 a_{32} &= [m_{12}(x_p) + m_{22}(y_p) + m_{32}(z_p)]s \\
 a_{33} &= [(-\cos \omega \cos \varphi \cos \kappa)(x_p) + (\cos \omega \cos \varphi \sin \kappa)(y_p) + (-\cos \omega \sin \varphi)(z_p)]s \\
 a_{34} &= [m_{23}(x_p) - m_{13}(y_p)]s
 \end{aligned}$$

Koefisien bagi enam persamaan lainnya dari Persamaan (2.89) persis sama dengan tiga persamaan pertama, dengan pengecualian bahwa huruf p diganti dengan huruf q dan r . Pada umumnya, apabila ada n titik yang koordinatnya X , Y dan Z -nya diketahui pada kedua sistem, maka dapat disusun $3(n)$ persamaan sejenis Persamaan (2.89).

BAB III

PELAKSANAAN PENELITIAN

3.1 Pendahuluan

Pelaksanaan penelitian merupakan bab yang akan membahas beberapa hal tentang tata cara atau hal apa saja yang perlu dilakukan pada penelitian ini, mencakup ; persiapan, pelaksanaan, serta langkah-langkah yang akan ditempuh dalam pengambilan data sampai dengan proses dari data tersebut hingga dapat tersajikan dengan baik dan dapat diterima oleh khalayak umum. Dimana pada bab sebelumnya telah dibahas tentang maksud dan tujuan, serta materi-materi yang akan digunakan. Hal tersebut merupakan modal dasar serta acuan dalam menjalankan pelaksanaan sistem ini.

3.2 Persiapan Penelitian

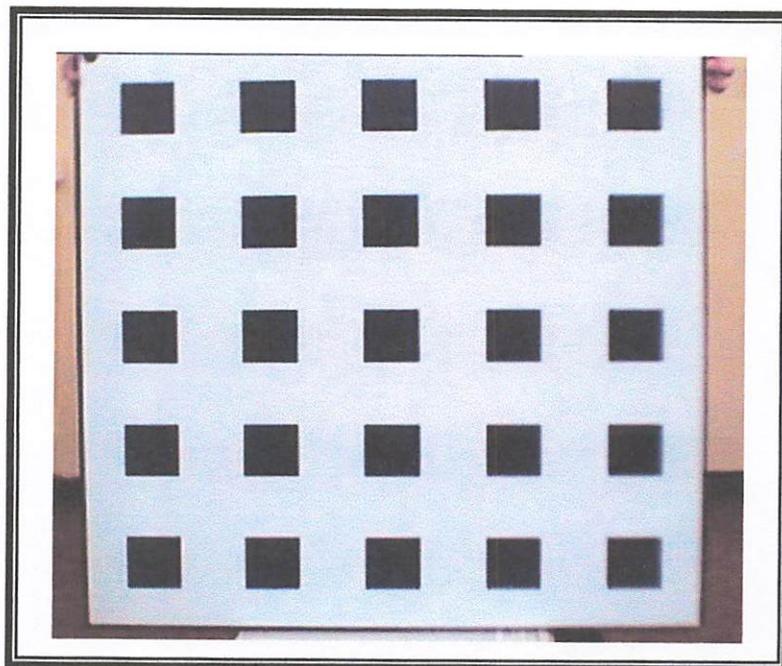
Dalam rancangan pelaksanaan kegiatan penelitian ini memerlukan beberapa hal yang dipersiapkan terlebih dahulu. Tahap persiapan ini yang akan sangat menunjang kelancaran penelitian yang akan dilakukan nantinya. Adapun yang termasuk dalam tahap persiapan adalah sebagai berikut:

1. **Persiapan literatur penelitian.**

Dalam pengerjaan penelitian ini tidak jauh dari beberapa tulisan yang mendukung baik dalam pencarian bahan serta pengembangan permasalahan yang ada. Maka dari itu, untuk mendukung pengerjaan penelitian ini membutuhkan referensi yang berupa buku-buku, artikel serta publikasi yang ditemukan pada situs-situs yang tersedia di internet dan berkaitan dengan penelitian ini.

2. Pembuatan papan kalibrasi.

Setiap kamera pasti memiliki kesalahan yang terdapat pada lensa, maka dari itu sebelum melakukan penelitian lebih lanjut, akan dilakukan tahap kalibrasi kamera. Untuk membantu pengkalibrasian kamera, kita menggunakan sebuah papan kalibrasi yang berukuran 75 cm x 75 cm dan di dalamnya terdapat beberapa kotak-kotak dengan dimensi yang sama (6,5 cm x 6,5 cm). Papan kalibrasi ini terbuat dari mika dengan tebal 10mm, dipilih ketebalan papan tersebut dengan tujuan untuk menjaga papan tetap rata dan tidak mudah cekung karena panas dan hujan.

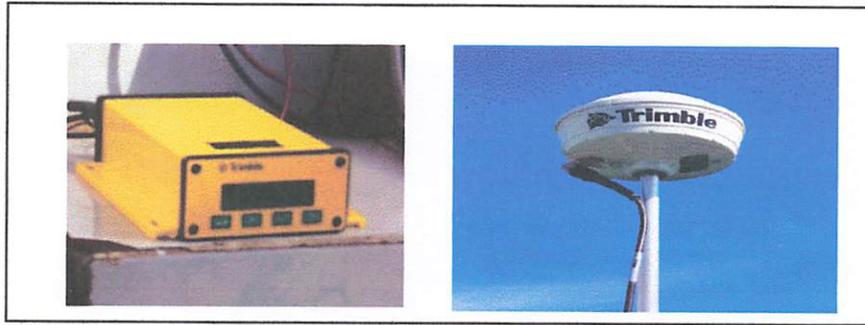


Gambar 3.1 Papan Kalibrasi

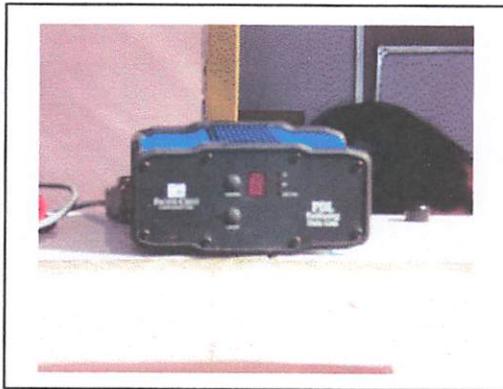
3. Penyediaan perangkat keras (*Hardware*).

Perangkat keras (*hardware*) disini dimaksudkan adalah perangkat yang digunakan dalam penelitian ini. Hal yang meliputi perangkat keras disini seperti: 2 (dua) buah kamera CCTV, 2 (dua) buah *frame grabber*,

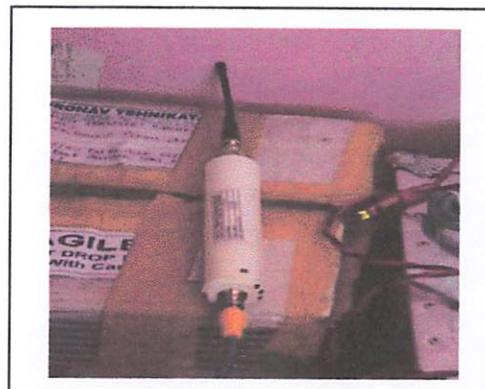
seperangkat komputer, 2 (satu) buah DGPS DSM, serta Radio PDL dan EDL untuk mengirim signal koreksi koordinat. Dan tidak lupa juga beberapa kabel-kabel penghubung yang harus diperhatikan kelengkapannya.



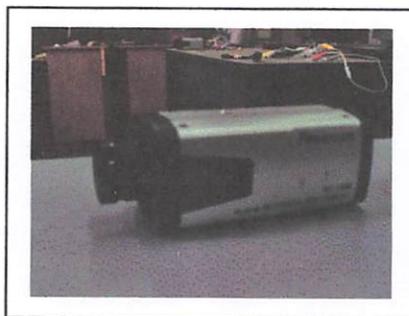
Gambar 3.2 GPS Differential



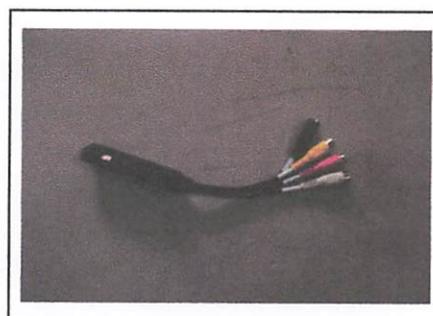
Gambar 3.3 Radio Link PDL Pasific crash base



Gambar 3.4 Radio Link EDL Pasific crash rover



Gambar 3.5 Kamera CCTV



Gambar 3.6 Frame Grabber

4. Pengadaan perangkat lunak (*Software*).

Hal lain yang perlu diperhatikan adalah kesiapan dari perangkat lunak yang akan digunakan dalam pengambilan data serta analisisnya nanti.

Ada beberapa perangkat lunak yang digunakan dalam hal ini adalah *software* yang digunakan untuk meng*capture* video melalui CCTV dan langsung dapat dikonversi data tersebut menjadi sebuah gambar, serta *software* lain yang diperlukan untuk mengambil data posisi dari pergerakan mobil dan kedudukan kamera pada waktu survei dilakukan. Setelah pengambilan data gambar dan data posisi di lapangan selesai, maka dilakukan pengolahan data dengan metode *post processing* kedua data tersebut agar dapat disajikan. Dalam hal ini diperlukan beberapa *software* yang terkait, seperti *microsoft excel*, *Matlab*, dan lain-lain yang diperlukan untuk pengolahan data.

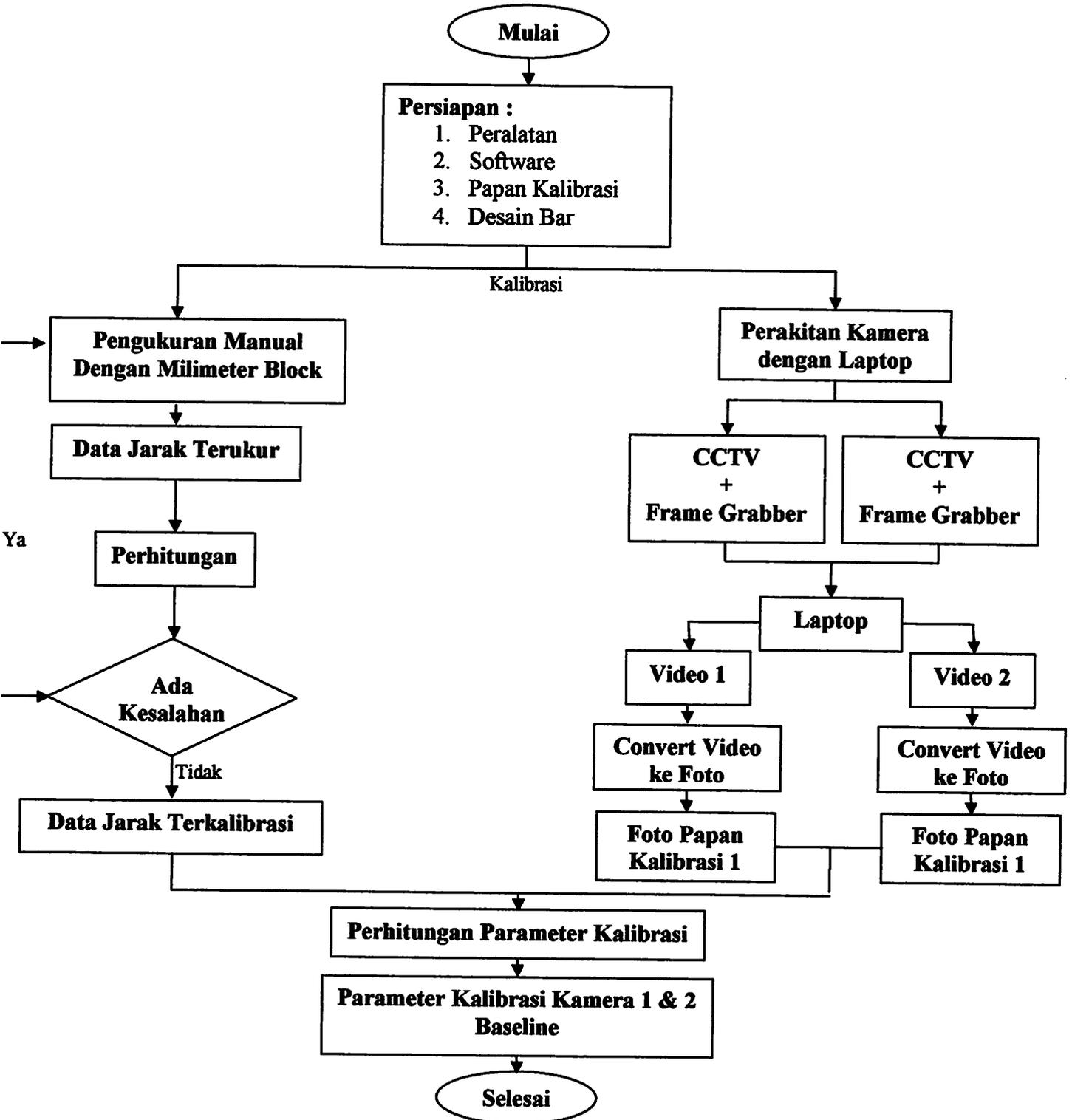
Serangkaian tahapan kegiatan persiapan tersebut harus diperhatikan dengan seksama agar tidak terdapat kekurangan sehingga kegiatan penelitian dapat berjalan dengan lancar. Setelah tahapan persiapan selesai, kita juga perlu melakukan pengecekan ulang untuk memastikan alat yang diperlukan sudah benar-benar lengkap.

3.3 Pelaksanaan Penelitian

Pada tahapan pelaksanaan penelitian ini ditunjukkan dengan diagram alir di bawah ini, serta diagram alir tersebut adalah sebuah rancangan pengerjaan dan merupakan acuan dasar untuk melaksanakan tata cara pengambilan data di lapangan sampai dengan prosesing data mentah hingga dapat divisualisasikan untuk khalayak umum.

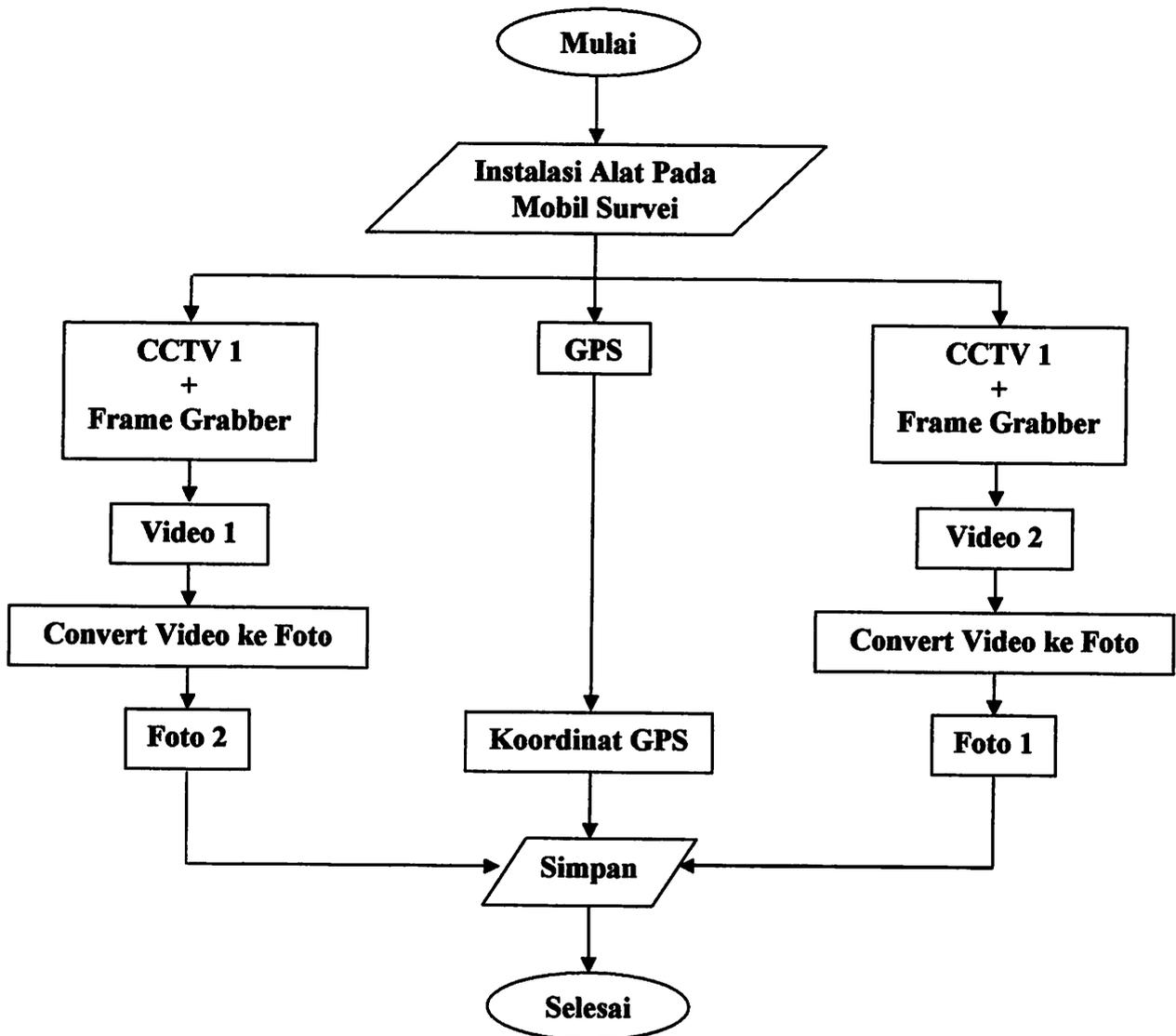
Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian Tugas Akhir

1. Persiapan Pengukuran dan Kalibrasi Kamera



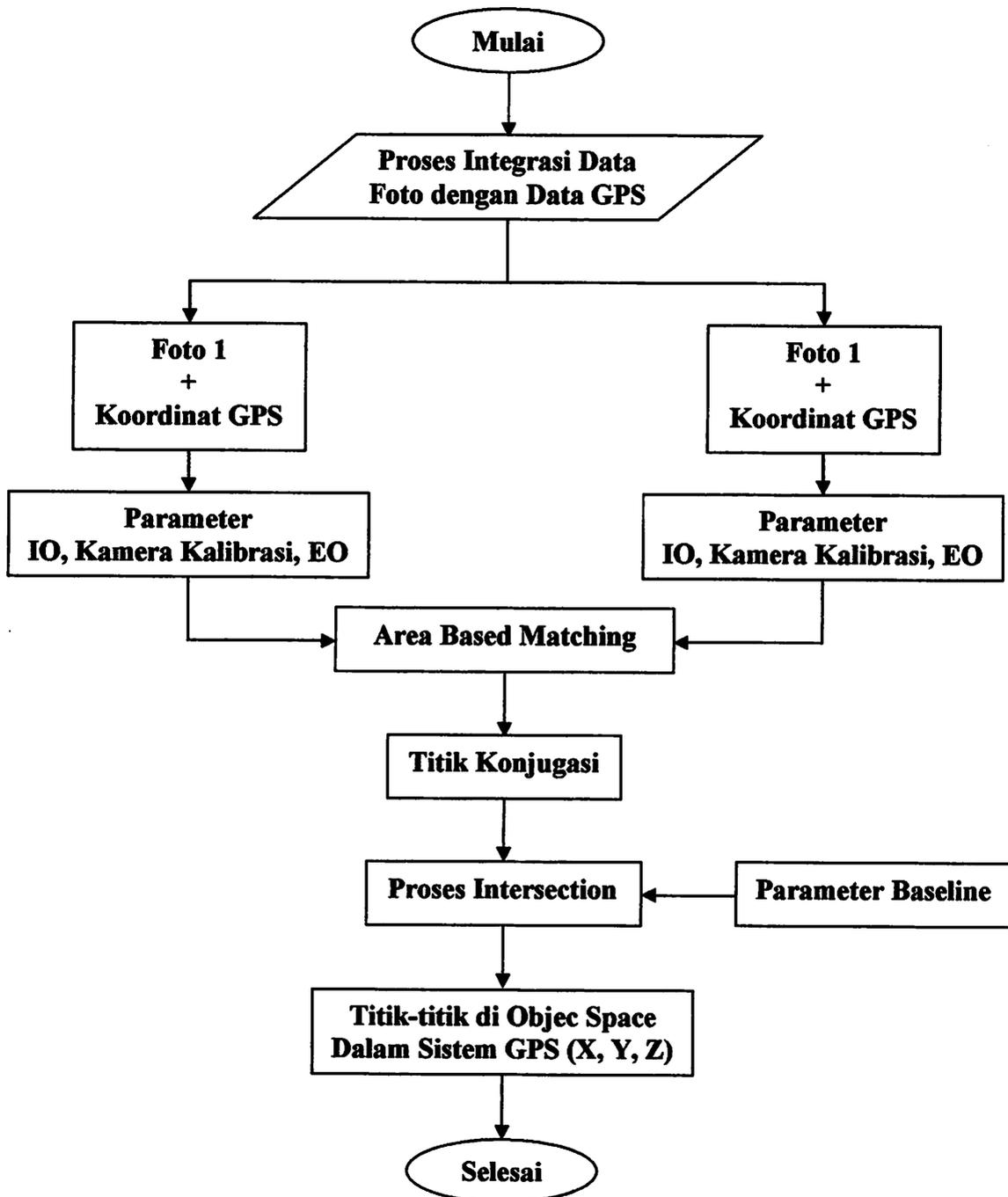
Gambar 3.7 Diagram Alir Persiapan Pengukuran dan Kalibrasi Kamera

2. Pengambilan Data



Gambar 3.8 Diagram Alir Proses Pengambilan Data

3. Prosesing Data



Gambar 3.9 Diagram Alir Pada Prosesing Data

3.4 Langkah Pengerjaan

Pada sub-bab ini akan menjelaskan tentang hal-hal yang dilakukan dalam penelitian ini, baik dari pra-pengukuran di lapangan, proses pengambilan data, sampai dengan pemrosesan data yang didapat dari hasil survei. Berikut merupakan penjelasan dari masing-masing bagian sesuai dengan tahapan diagram alir yang telah diterangkan sebelumnya.

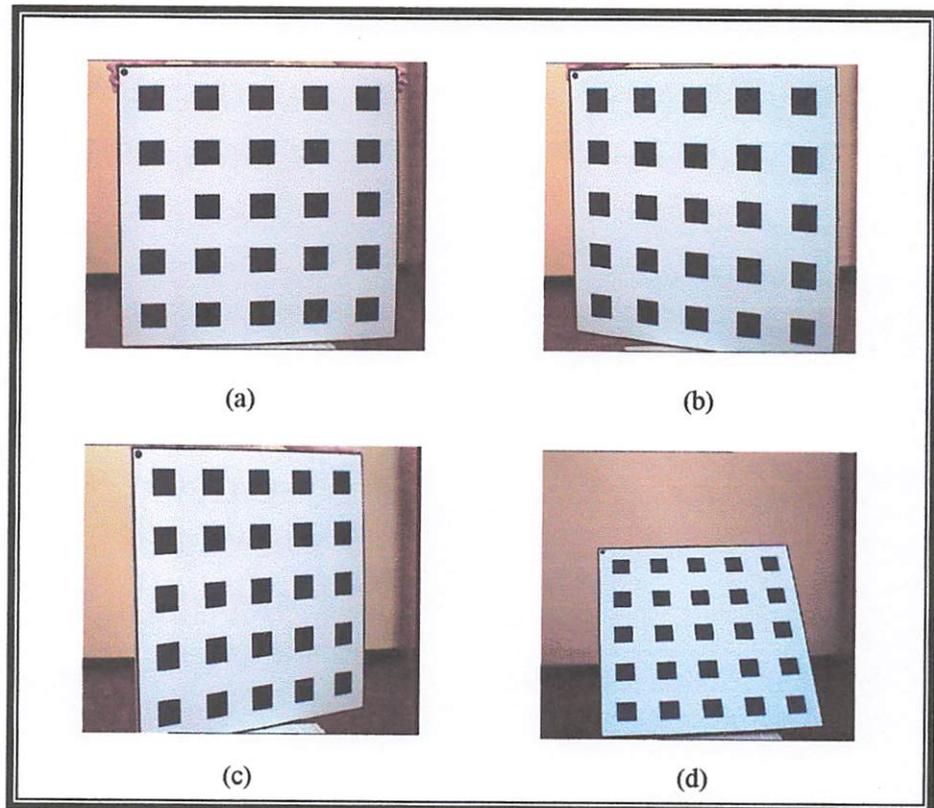
3.4.1 Kalibrasi Kamera

Tahapan ini sangat berperan dalam pelaksanaan kegiatan Praktek Kerja Nyata ini, karena pada tahapan ini kita dapat mengetahui kekurangan perangkat keras yang kita gunakan (dalam hal ini kamera CCTV). Hal ini juga bertujuan untuk memastikan kelayakan kamera yang akan digunakan dapat berfungsi dengan baik dalam pengukuran dengan tingkat akurasi yang tinggi, serta mengembangkan bagaimana teknik komputasi numerik pengkalibrasian kamera yang efisien.

Kamera CCTV ini sudah mulai umum digunakan dalam pekerjaan survey-pemetaan terpadu jalan raya, akan tetapi kamera ini memiliki banyak kelemahan intrinsik yang dapat menjadi penghambat. Salah satunya bisa kita lihat dari susunan lensa yang kurang baik dan distorsi lensa yang sangat besar, serta gambar yang dihasilkan tidak terlalu prima. Kelemahan intrinsik ini dapat menyebabkan penurunan tingkat keakurasian yang diinginkan. Untuk itulah, sumber-sumber kesalahan tersebut dimodelkan dengan melakukan kalibrasi kamera terlebih dahulu sebelum dilakukannya pengambilan gambar untuk tahap pengumpulan data.

Sesuai dengan prosedur, adapun hal-hal yang dilakukan dalam tahapan kalibrasi kamera adalah sebagai berikut:

- a) Pertama-tama dilakukan pengukuran jarak dengan cara manual pada setiap sisi-sisi kubus yang terdapat dalam papan kalibrasi menggunakan kertas milimeter block dengan satuan terkecil yaitu milimeter. Dari proses pengukuran ini dilakukan secara teliti pada setiap sisinya, agar mendapatkan akurasi koordinat objek space dengan akurasi tinggi. Untuk proses perhitungan data-data ukuran tersebut akan dijelaskan lebih lanjut pada bab analisa data.
- b) Untuk berikutnya dilakukan proses kalibrasi terhadap kamera digital yang digunakan (disini menggunakan dua buah kamera CCTV). Proses ini dilakukan dengan mengkoneksikan kamera digital dengan komputer menggunakan alat yang disebut *frame grabber*, agar dapat melihat tampilan objek yang *dicapture* serta dapat menyimpan data gambar yang nantinya akan diolah sesuai dengan prosedur.
- c) Setelah hal tersebut selesai dan kamera terkoneksi dengan baik, maka berikutnya dilakukan pengambilan data gambar papan kalibrasi dari kedua buah kamera dalam sekaligus dengan posisi papan yang berbeda. Pada kalibrasi dengan metode *Zhang (1999)* ini akan diambil dengan empat kali perubahan posisi pada papan, dan untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar3.10 (a): Posisi Papan 1; (b): Posisi Papan 2; (c): Posisi Papan 3; (d): Posisi Papan 4

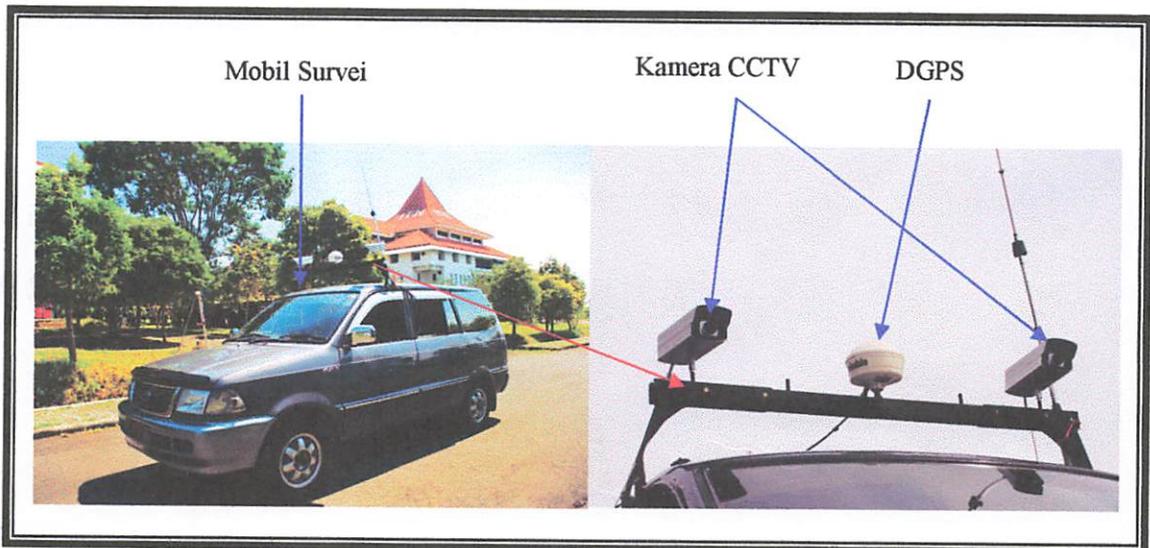
- d) Selanjutnya, data tersebut akan diekstrak menjadi data gambar dan untuk selanjutnya akan diproses pada program, sehingga nanti didapatkan parameter kalibrasi dari masing-masing kamera.

3.4.2 Sistem Desain

Pada pelaksanaan survei pemetaan cepat jalan raya secara terpadu ini dilakukan dengan mobil yang dikombinasikan dengan dua buah CCTV sebagai sensor perekam gambar objek dan GPS *differential* yang digunakan sebagai sensor navigasi dan penentuan posisinya. Sistem desain rangkaian alat survei tersebut dirancang dan diatur sedemikian rupa dengan offset jarak dari alat yang satu ke alat yang lainnya juga telah ditentukan dengan teliti. Hal ini

dilakukan untuk mendapatkan panjang *baseline* dengan akurasi tinggi dan dapat mempermudah pemasangan serta perhitungan posisi objek pada waktu prosesing data.

Kombinasi alat survei ini diletakkan di atas kap mobil yang dirakit menjadi satu dalam sebuah bar. Bar tersebut terbuat dari papan besi dengan panjang lebih kurang 1 meter, dan pada bar tersebut alat survei (kamera dan GPS) diletakkan. Pemasangan bar dan alat survei harus dilakukan dengan baik dan kuat, agar tidak terjadi pergeseran dan mengurangi getaran pada saat melakukan pengukuran. Hal tersebut dapat diilustrasikan seperti gambar di bawah ini.



Gambar 3.11 Sistem Desain Pemetaan Cepat yang Terpasang pada Kap Mobil

3.4.3 Proses Pengukuran

Dengan sistem kombinasi alat survei yang telah dirancang sebelumnya dan telah dipasang pada mobil, maka proses pengambilan data dapat dilakukan. Akan tetapi, sebelum dilakukannya proses pengambilan data, terlebih dahulu dirancang jalur pengukuran dan pada jalur pengukuran tersebut dipasang titik-titik sebagai kontrol serta titik-titik tersebut sekaligus menjadi objek space yang akan disurvei agar mempermudah proses pengolahan datanya nanti (dalam hal ini penentuan titik yang digunakan sebagai identifikasi di lapangan). Dari sepanjang koridor jalan yang disurvei, akan dipasang titik-titik dengan interval 5m, dengan penempatan titik pada tiga posisi (yaitu: kiri jalan, as jalan, dan kanan jalan).

Untuk selanjutnya dapat dilakukan pengambilan data dengan langkah awal pengambilan data papan kalibrasi sebelum mobil survei bergerak. Kemudian mobil akan berjalan menyusuri jalur survei yang telah dirancang lengkap dengan titik kontrol yang terpasang, dan masing-masing kamera akan menangkap gambar detail jalan raya serta GPS juga akan melakukan pengamatan posisi dan kedudukan dari mobil survei tersebut.

Pada pengukuran ini, akan digunakan dua buah receiver GPS yang diletakkan pada posisi yang berbeda. Salah satu receiver diletakkan pada titik referensi yang telah diketahui koordinatnya (BM) dan digunakan sebagai *base station*, sedangkan receiver yang satunya lagi diletakkan bersama-sama dengan kamera pada mobil. Hal ini dilakukan karena disini digunakan pengamatan posisi dengan metode *differential*, yang dimaksudkan adalah kedua receiver GPS tersebut akan mengirimkan sinyal koreksi secara simultan

melalui sinyal gelombang radio. Untuk lebih jelasnya uraian tentang sistem ini, dapat diperhatikan pada gambar berikut:



Gambar 3.12 (kiri): Stasiun DGPS (base station); (kanan-atas): Sistem Pemetaan Cepat yang Dipasang Pada Mobil; (kanan-bawah): Laptop sebagai alat monitoring dan controller dalam pengambilan data posisi dan gambar



Gambar 3.13 Ilustrasi foto-foto yang direkam dari kamera kiri dan kanan

Dari hal tersebut, pengukuran tidak hanya dilakukan dengan metode MMS. Pengukuran titik-titik kontrol dan titik yang dapat diidentifikasi sebagai objek, juga akan diukur dengan *Total Station* sebagai komparasi ketelitian jarak antar titik tersebut terhadap sistem ini. Dari perlakuan tersebut, akan dapat dilihat bagaimana perbandingan antara kedua metode pengukuran tersebut, baik dari segi efisiensi waktu dan ketelitian yang dihasilkan. Untuk lebih jelasnya akan dibahas pada Bab-4 tentang analisa data.

3.4.4 Prosesing Data Untuk Penentuan Titik Pada Foto Stereo

Setelah pengambilan data selesai dilakukan dan posisi kedua kamera dapat dikonversikan ke dalam sistem koordinat GPS (koordinat kartesian), serta hasil pengambilan data videopun telah diekstrak menjadi data gambar dengan format ekstensi *.JPEG atau *.TIF, maka dapat dilakukan perhitungan koordinat 3D dari titik-titik konjugasi (titik objek yang sama yang terlihat pada dua foto) dengan teknik triangulasi atau *intersection* (Mikhail et al., 2001; Wolf dan Dewitt, 2000).

Sebelum proses tersebut dilakukan, terlebih dahulu harus ditentukan titik-titik konjugasi dengan teknik *Image Matching* (Schenk, 1999). Teknik ini digunakan untuk mendijitasi koordinat titik-titik konjugasi pada foto stereo sehingga menghasilkan ketelitian yang optimum, dan ketelitian tersebut nantinya akan sangat berpengaruh terhadap kualitas parameter kalibrasi dan koordinat 3D titik-titik obyek hasil proses triangulasi. Kesemua proses tersebut dilakukan pada sebuah program, baik dari kalibrasi sampai dengan pengestrakkan titik-titik objek yang disurvei.

BAB IV

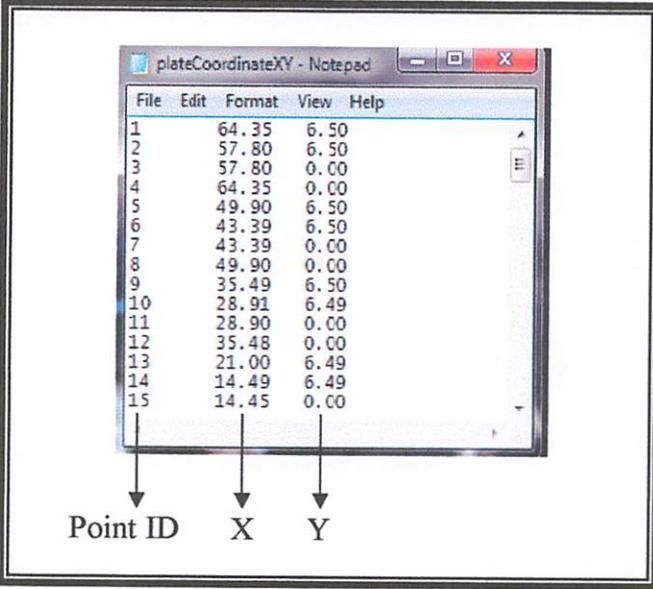
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perhitungan

Dari beberapa langkah dan teknik pengukuran yang dilakukan, serta untuk tahapan pengambilan data sesuai dengan prosedur untuk mendapatkan koordinat titik objek space point dari koridor jalan yang disurvei, akan dilakukan proses perhitungan dan menghasilkan beberapa data sebagai berikut:

4.1.1 Data Kalibrasi Kamera

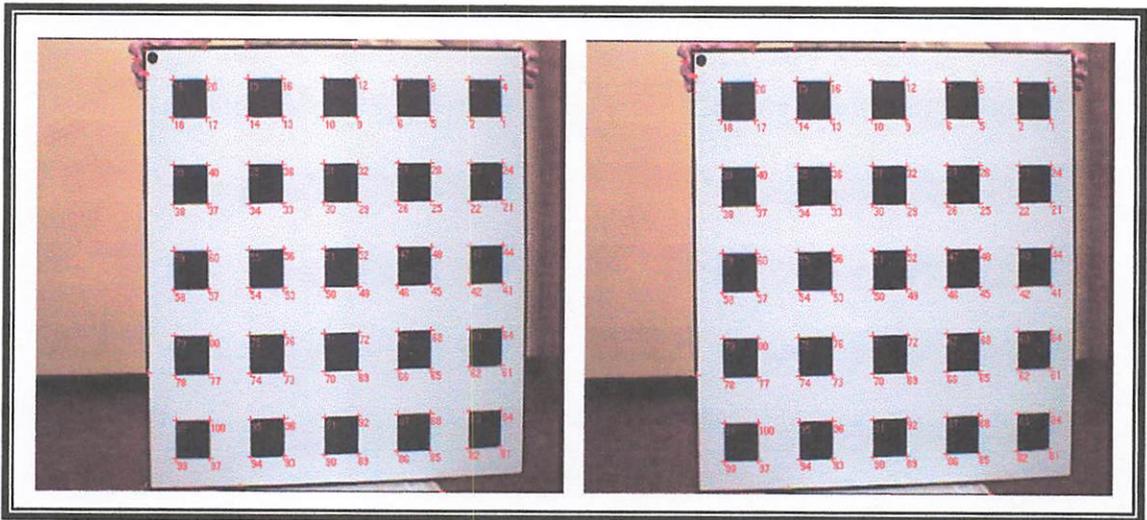
Pada bab sebelumnya telah dijelaskan tentang pengambilan data untuk kalibrasi kamera dengan metode manual (menggunakan milimeter block) dan digital (dengan kamera CCTV). Untuk pengukuran manual, dihasilkan data koordinat papan kalibrasi 2D (X, Y) yang disimpan dalam format *.txt.



Point ID	X	Y
1	64.35	6.50
2	57.80	6.50
3	57.80	0.00
4	64.35	0.00
5	49.90	6.50
6	43.39	6.50
7	43.39	0.00
8	49.90	0.00
9	35.49	6.50
10	28.91	6.49
11	28.90	0.00
12	35.48	0.00
13	21.00	6.49
14	14.49	6.49
15	14.45	0.00

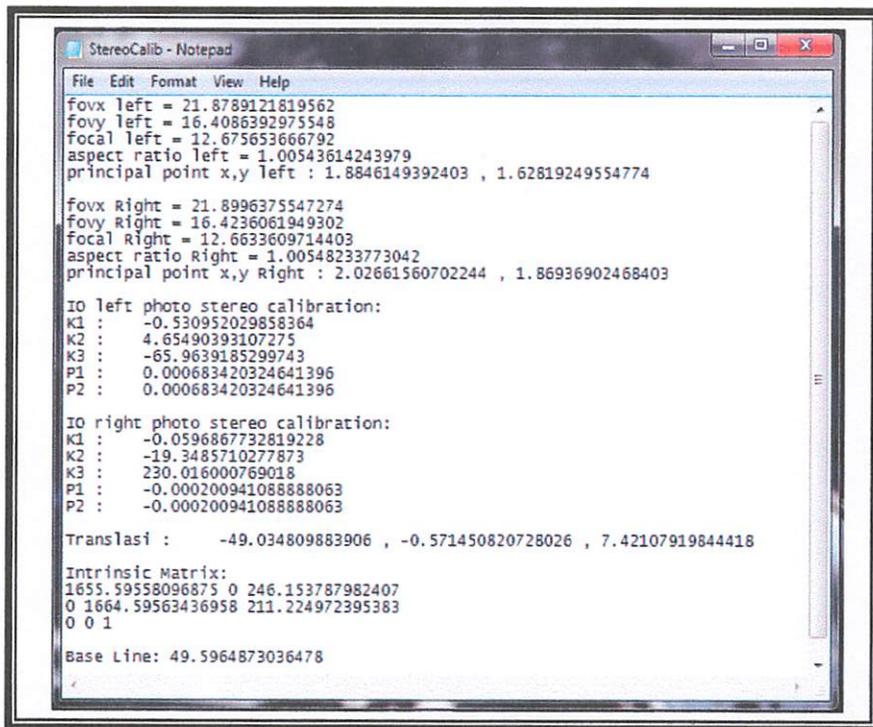
Gambar 4.1 Data Koordinat Papan Kalibrasi

Pada gambar di atas adalah perwakilan terhadap pengukuran 100 titik yang terdapat pada papan kalibrasi, untuk selengkapnya dapat diperhatikan pada *Lampiran-A*. Selanjutnya akan dilakukan proses pengkalibrasian dengan program terhadap data foto stereo yang diambil dengan kamera CCTV. Pada program tersebut, data manual dan digital dari papan kalibrasi akan secara otomatis tergabung serta menghasilkan koordinat papan lengkap dengan labelnya.



Gambar 4.2 Kalibrasi kamera dengan foto stero dari papan kalibrasi

Selain menghasilkan data koordinat titik-titik pada papan kalibrasi, tujuan utama dari proses ini adalah untuk menghasilkan parameter kalibrasi kamera. Pada satu pasang foto yang stereo tersebut, menghasilkan data seperti pada gambar berikut:



```
StereoCalib - Notepad
File Edit Format View Help
fovX left = 21.8789121819562
fovY left = 16.4086392975548
focal left = 12.675653666792
aspect ratio left = 1.00543614243979
principal point x,y left : 1.8846149392403 , 1.62819249554774

fovX Right = 21.8996375547274
fovY Right = 16.4236061949302
focal Right = 12.6633609714403
aspect ratio Right = 1.00548233773042
principal point x,y Right : 2.02661560702244 , 1.86936902468403

IO left photo stereo calibration:
K1 : -0.530952029858364
K2 : 4.65490393107275
K3 : -65.9639185299743
P1 : 0.000683420324641396
P2 : 0.000683420324641396

IO right photo stereo calibration:
K1 : -0.0596867732819228
K2 : -19.3485710277873
K3 : 230.016000769018
P1 : -0.000200941088888063
P2 : -0.000200941088888063

Translasi : -49.034809883906 , -0.571450820728026 , 7.42107919844418

Intrinsic Matrix:
1655.59558096875 0 246.153787982407
0 1664.59563436958 211.224972395383
0 0 1

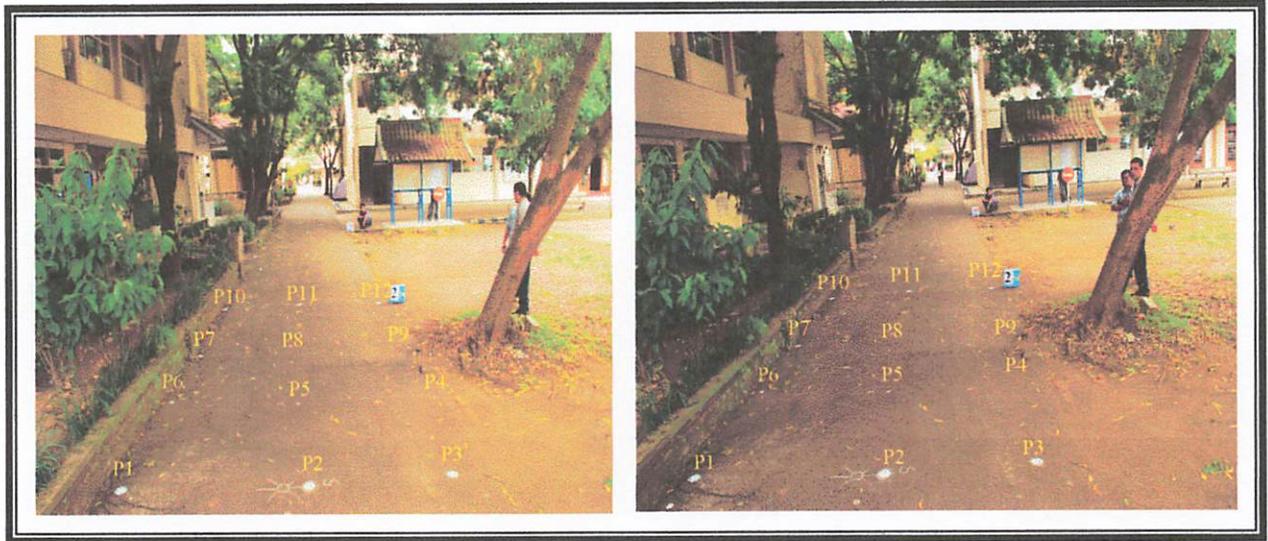
Base Line: 49.5964873036478
```

Gambar 4.3 Output Program Untuk Foto Stereo

Ketelitian yang dihasilkan dari proses kalibrasi kamera dengan menggunakan dua buah kamera CCTV pada foto papan kalibrasi yang stereo dapat dilihat dari nilai baseline yang dihasilkan sebesar 49.59649 cm. Dari nilai tersebut terdapat selisih sebesar 0.4035 cm terhadap panjang baseline (jarak antar dua kamera) 50 cm.

4.1.2 Data pengukuran jalan raya menggunakan kamera digital (CCTV)

Dari pengukuran dengan sistem pemetaan cepat ini menghasilkan 8 (delapan) pasang data foto yang stereo dengan menggunakan dua buah kamera digital (kiri dan kanan), dan untuk selanjutnya diproses menggunakan metode fotogrametri yang diimplementasi ke dalam program.



Gambar 4.4 Proses data foto stereo pada jalan

Proses tersebut menghasilkan data-data koordinat objek space point (dalam sistem koordinat foto) seperti yang ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 4.1: Data Koordinat Objek Space

No.	Point ID	Koordinat Foto (m)		
		x	y	z
1	P1	0.0000	0.0000	0.0000
2	P2	1.4853	-0.0281	-0.0019
3	P3	2.6666	0.0000	0.0000
4	P4	0.1158	5.0763	0.0000
5	P5	1.5056	5.0905	0.0433
6	P6	2.9868	4.9895	0.0533
7	P7	0.2825	10.2024	0.0922
8	P8	1.7850	10.1876	0.1192
9	P9	3.2886	10.1315	0.1394
10	P10	0.5444	15.3542	0.1642
11	P11	2.0123	15.2931	0.1733
12	P12	3.5473	15.3115	0.1802

Catatan : Data koordinat titik dapat dilihat pada lampiran C

4.1.3 Data pengukuran menggunakan Total Station (TS)

Pengukuran ini dilakukan sebagai kontrol jarak pada setiap titik yang disurvei dan dilakukan perhitungan dengan proses topografi.

Tabel 4.2: Data Koordinat Hasil Total Station dengan Sistem Lokal

No.	Point ID	Koordinat Foto (m)		
		x	y	z
1	P1	1002.551	1008.980	100.054
2	P2	1003.854	1008.269	99.990
3	P3	1004.935	1007.804	99.951
4	P4	1007.349	1012.040	100.005
5	P5	1006.100	1012.789	100.055
6	P6	1004.860	1013.382	100.061
7	P7	1007.218	1017.818	100.171
8	P8	1008.554	1017.138	100.137
9	P9	1009.860	1016.433	100.097
10	P10	1009.691	1022.257	100.251
11	P11	1010.978	1021.505	100.203
12	P12	1012.337	1020.865	100.150
13	P13	1012.083	1026.617	100.263
14	P14	1013.366	1025.865	100.260
15	P15	1014.716	1025.125	100.188
16	P16	1014.469	1030.977	100.350
17	P17	1015.804	1030.250	100.337
18	P18	1017.126	1029.479	100.293
19	P19	1016.896	1035.421	100.401
20	P20	1018.203	1034.609	100.396
21	P21	1019.509	1034.006	100.350
22	P22	1019.251	1039.709	100.446
23	P23	1020.590	1039.017	100.415
24	P24	1021.848	1038.298	100.410
25	P25	1021.640	1044.008	100.489
26	P26	1022.997	1043.370	100.499
27	P27	1024.355	1042.664	100.449

4.1.4 Transpormasi Koordinat Foto ke Sistem Lokal

Untuk melakukan perbandingan hasil pengukuran dan pemrosesan antara metode fotogrametri dan teristrial, maka harus dilakukan penyamaan sistem koordinat dari kedua data pengukuran tersebut. Pada penelitian ini akan dilakukan transformasi koordinat dari sistem koordinat foto ke sistem koordinat lokal dari hasil pengukuran Total Staion. Dalam melakukan transformasi ini, dibutuhkan minimal tiga titik kontrol yang diketahui pada masing-masing sistem koordinat dan membutuhkan 7 (tujuh) parameter transformasi, yaitu: skala, parameter rotasi (ω , ϕ , κ), dan parameter translasi (T_x , T_y , T_z). Berikut merupakan contoh untuk proses perhitungannya :

Diketahui tiga titik kontrol pada masing-masing sistem :

Point	Koordinat Foto (System Arbitrary)			Koordinat Total Station (System Control)		
	x	y	z	X	Y	Z
1	0.0000	0.0000	0.0000	1002.55	1008.980	100.054
2	1.4853	-0.0281	-0.0019	1003.85	1008.269	99.990
3	2.6666	0.0000	0.0000	1004.94	1007.804	99.951
4	0.1158	5.0763	0.0000	?	?	?

Selanjutnya akan dihitung nilai koordinat Point 4 pada sistem koordinat kontrol (TS) dengan langkah-langkah berikut:

1. Mencari nilai skala transformasi pendekatan :

$$Skala = \frac{\text{jarak pada sistem Control}}{\text{jarak pada sistem Arbitrary}}$$

$$\text{jarak pada sistem Arbitrary} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

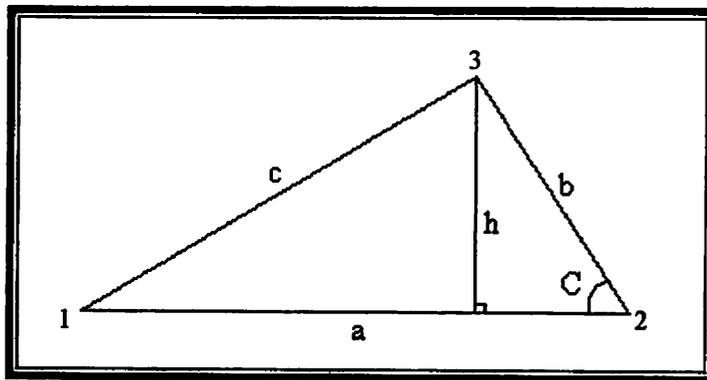
$$\text{jarak pada sistem Control} = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2 + (Z_2 - Z_1)^2}$$

Dengan hasil perhitungan sebagai berikut:

Point	Jarak		Skala
	Arbitrary	Control	
1-2	1.48556	1.48574	1.000120
1-3	2.66663	2.66027	0.997616
2-3	1.18167	1.17742	0.996401
Skala rata-rata			0.998046

2. Mencari Parameter Rotasi pendekatan

⇒ Terlebih dahulu dicari nilai ketinggian (h) dengan rumus:



Gambar 4.5 Bentuk Strength of Figure dari titik kontrol

$$h^2 = b^2 - \left(\frac{a^2 + b^2 - c^2}{2a} \right)^2$$

$$a = (y_2 - y_1)(z_3 - z_1) - (y_3 - y_1)(z_2 - z_1)$$

$$b = (x_3 - x_1)(z_2 - z_1) - (x_2 - x_1)(z_3 - z_1)$$

$$c = (x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (x_3 - x_1)(y_2 - y_1)$$

Dan menghasilkan nilai:

PARAMETER	Arbitrary	Control
a	0	-0.002031
b	-0.005176	200672.4
c	0.074951	0.162696

⇒ Selanjutnya dicari parameter Tilt dan Azimuth :

$$tilt = \tan^{-1}\left(\frac{c}{\sqrt{a^2 + b^2}}\right) + 90^\circ$$

$$azimuth = \tan^{-1}\left(\frac{a}{b}\right)$$

PARAMETER	Arbitrary	Control
Tilt (t)	3.072638	1.570797
Swing (s)	0.000000	0.000000
Azimuth (α)	3.141593	0.000000

diasumsikan nilai swing = 0.

⇒ Menghitung matriks rotasi tiap parameter tilt, swing, dan azimuth:

$$m_{11} = -\cos(\alpha) \cos(s) - \sin(\alpha) \cos(t) \sin(s)$$

$$m_{12} = \sin(\alpha) \cos(s) - \cos(\alpha) \cos(t) \sin(s)$$

$$m_{13} = -\sin(t) \sin(s)$$

$$m_{21} = \cos(\alpha) \sin(s) - \sin(\alpha) \cos(t) \cos(s)$$

$$m_{22} = -\sin(\alpha) \sin(s) - \cos(\alpha) \cos(t) \cos(s)$$

$$m_{23} = -\sin(t) \cos s$$

$$m_{31} = -\sin(\alpha) \sin(t)$$

$$m_{32} = -\cos(\alpha) \sin(t)$$

$$m_{33} = \cos(t)$$

Susunan matriks rotasinya:

$$matriks\ rotasi = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{21} & m_{31} \\ m_{12} & m_{22} & m_{32} \\ m_{13} & m_{23} & m_{33} \end{bmatrix}$$

Maka:

$$\text{matriks rotasi pada Arbitrary} = \begin{bmatrix} 1.000000 & 0.000000 & 0.000000 \\ 0.000000 & -0.997624 & -0.068900 \\ 0.000000 & 0.068900 & -0.997624 \end{bmatrix}$$

$$\text{matriks rotasi pada Control} = \begin{bmatrix} -1.000000 & 0.000000 & 0.000000 \\ 0.000000 & 0.000001 & -1.000000 \\ 0.000000 & -1.000000 & -0.000001 \end{bmatrix}$$

⇒ Menghitung parameter swing dari dua titik kontrol:

$$x_n' = m_{11}x_n + m_{21}y_n + m_{31}z_n$$

$$y_n' = m_{12}x_n + m_{22}y_n + m_{32}z_n$$

$$\text{Swing} = \text{Azimuth}(\text{Control}) - \text{Azimuth}(\text{Arbitrary})$$

PARAMETER	Arbitrary	Control
X1	0.00000	-1002.6
Y1	0.00000	-100.0532
X2	1.48530	-1003.9
Y2	0.02817	-99.9892
Azimuth	1.55183	-1.521719
Swing		-3.073549

⇒ Menghitung matriks rotasi pada sistem foto dengan nilai parameter swing yang baru:

PARAMETER	Arbitrary
Tilt	3.072638
Swing	-3.073549
Azimuth	3.141593

$$\begin{aligned}m_{11} &= -\cos(\alpha)\cos(s) - \sin(\alpha)\cos(t)\sin(s) \\m_{12} &= \sin(\alpha)\cos(s) - \cos(\alpha)\cos(t)\sin(s) \\m_{13} &= -\sin(t)\sin(s) \\m_{21} &= \cos(\alpha)\sin(s) - \sin(\alpha)\cos(t)\cos(s) \\m_{22} &= -\sin(\alpha)\sin(s) - \cos(\alpha)\cos(t)\cos(s) \\m_{23} &= -\sin(t)\cos s \\m_{31} &= -\sin(\alpha)\sin(t) \\m_{32} &= -\cos(\alpha)\sin(t) \\m_{33} &= \cos(t)\end{aligned}$$

Susunan matriks rotasinya:

$$\text{matriks rotasi} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{21} & m_{31} \\ m_{12} & m_{22} & m_{32} \\ m_{13} & m_{23} & m_{33} \end{bmatrix}$$

Maka matriks rotasi pada foto yang baru adalah:

$$\text{matriks rotasi pada Arbitrary} = \begin{bmatrix} -0.997686 & 0.067830 & 0.004685 \\ 0.067991 & 0.995315 & 0.068740 \\ 0.000000 & 0.068900 & -0.997624 \end{bmatrix}$$

3. Kemudian dilakukan perhitungan untuk matriks rotasi yang benar

dengan menggabungkan matriks rotasi dari kedua sistem tersebut:

$$\text{matriks rotasi pada Arbitrary (a)} = \begin{bmatrix} -0.997686 & 0.067830 & 0.004685 \\ 0.067991 & 0.995315 & 0.068740 \\ 0.000000 & 0.068900 & -0.997624 \end{bmatrix}$$

$$\text{matriks rotasi pada Control (c)} = \begin{bmatrix} -1.000000 & 0.000000 & 0.000000 \\ 0.000000 & 0.000001 & -1.000000 \\ 0.000000 & -1.000000 & -0.000001 \end{bmatrix}$$

Dilakukan penggabungan dengan rumus:

$$\begin{aligned}
 m_{11} &= (m_{11}a * m_{11}c) + (m_{12}a * m_{12}c) + (m_{13}a * m_{13}c) \\
 m_{12} &= (m_{11}c * m_{21}a) + (m_{12}c * m_{22}a) + (m_{13}c * m_{23}a) \\
 m_{13} &= (m_{11}c * m_{31}a) + (m_{12}c * m_{32}a) + (m_{13}c * m_{33}a) \\
 m_{21} &= (m_{21}c * m_{11}a) + (m_{22}c * m_{12}a) + (m_{23}c * m_{13}a) \\
 m_{22} &= (m_{21}c * m_{21}a) + (m_{22}c * m_{22}a) + (m_{23}c * m_{23}a) \\
 m_{23} &= (m_{21}c * m_{31}a) + (m_{22}c * m_{32}a) + (m_{23}c * m_{33}a) \\
 m_{31} &= (m_{31}c * m_{11}a) + (m_{32}c * m_{12}a) + (m_{33}c * m_{13}a) \\
 m_{32} &= (m_{31}c * m_{21}a) + (m_{32}c * m_{22}a) + (m_{33}c * m_{23}a) \\
 m_{33} &= (m_{31}c * m_{31}a) + (m_{32}c * m_{32}a) + (m_{33}c * m_{33}a)
 \end{aligned}$$

Dengan susunan matriks rotasinya:

$$\text{matriks rotasi } fix = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{21} & m_{31} \\ m_{12} & m_{22} & m_{32} \\ m_{13} & m_{23} & m_{33} \end{bmatrix}$$

Dan menghasilkan matriks rotasi yang *fix* sebagai berikut:

$$\text{matriks rotasi } fix = \begin{bmatrix} 0.997686 & 0.000000 & -0.067991 \\ -0.067830 & -0.068899 & -0.995315 \\ -0.004685 & 0.997624 & -0.068740 \end{bmatrix}$$

4. Setelah itu dilakukan perhitungan parameter rotasi (ω , ϕ , κ):

$$\omega = \tan^{-1}(-m_{32}/m_{33})$$

$$\phi = \sin^{-1}(m_{31})$$

$$\kappa = \tan^{-1}(-m_{21}/m_{11})$$

Dan menghasilkan nilai :

omega (ω)	0.05155
phi (ϕ)	0.01953
kappa (κ)	-0.4829

5. Dari keempat parameter yang didapat, yaitu : skala (s) dan parameter rotasi (ω , φ , κ) lengkap dengan matriksnya. Maka dapat dilakukan perhitungan untuk mencari 3 parameter translasi (T_x , T_y , T_z) :

$$T_x = X_c - s(m_{11}x_a + m_{21}y_a + m_{31}z_a)$$

$$T_y = Y_c - s(m_{12}x_a + m_{22}y_a + m_{32}z_a)$$

$$T_z = Z_c - s(m_{13}x_a + m_{23}y_a + m_{33}z_a)$$

Hal ini dilakukan pada 3 titik kontrol yang telah diketahui.

Point	Tx	Ty	Tz
1	1002.5510	1008.9800	100.0540
2	1002.3749	1008.3657	100.0248
3	1002.2797	1007.9845	99.9635

Kemudian hasil tersebut dirata-ratakan untuk mendapatkan nilai parameter translasi yang benar.

PARAMETER	Nilai
Tx	1002.5587
Ty	1008.9998
Tz	100.0563

6. Selanjutnya dilakukan perataan nilai parameter dan dilanjutkan dengan perhitungan nilai koordinat titik-4 pada sistem lokal (TS).

$$X_4 = s(m_{11}x_4 + m_{21}y_4 + m_{31}z_4) + T_x$$

$$Y_4 = s(m_{12}x_4 + m_{22}y_4 + m_{32}z_4) + T_y$$

$$Z_4 = s(m_{13}x_4 + m_{23}y_4 + m_{33}z_4) + T_z$$

Dengan hasil sebagai berikut :

Point	Koordinat foto (System Arbitrary)			Koordinat TS (System Control)			Standar Deviasi (Sd)		
	x	y	z	X	Y	Z	Sdx	Sdy	Sdz
4	0.1158	5.0763	0.0000	1004.898	1013.465	100.239	0.103	0.244	4.631

Perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan program dan diimplementasikan dengan menggunakan *bahasa C*. Hasil perhitungan dapat dilihat pada *Lampiran D*.

4.2 Analisa Hasil Pengukuran

Sistem pemetaan cepat ini merupakan metode pengukuran menggunakan dua buah kamera digital (CCTV) yang diintegrasikan dengan sistem navigasi berupa GPS. Dari pengukuran tersebut akan menghasilkan data video yang selanjutnya akan dikonversi ke dalam bentuk image/foto (*.JPEG atau *.TIF), dan untuk selanjutnya dilakukan prosesing data dengan teknik Fotogrametri. Dalam hal ini, contoh data yang ditampilkan menggunakan 8 pasang foto stereo dengan objek penelitian di kampus I ITN Malang.



Gambar 4.6 Ilustrasi foto-foto yang direkam dari kamera kiri dan kanan

Selain menggunakan pengukuran dan perhitungan dengan teknik Fotogrametri, akan dilakukan pula pengukuran dan perhitungan dengan cara terestris menggunakan alat Total Station agar dapat dilakukan perbandingan terhadap data yang dihasilkan dan dari segi efisiensi waktu pada pengambilan data sampai dengan prosesingnya.

Tabel 4.3: Komparasi Hasil Dalam Sistem Koordinat Lokal Dari *Objek Space Point*

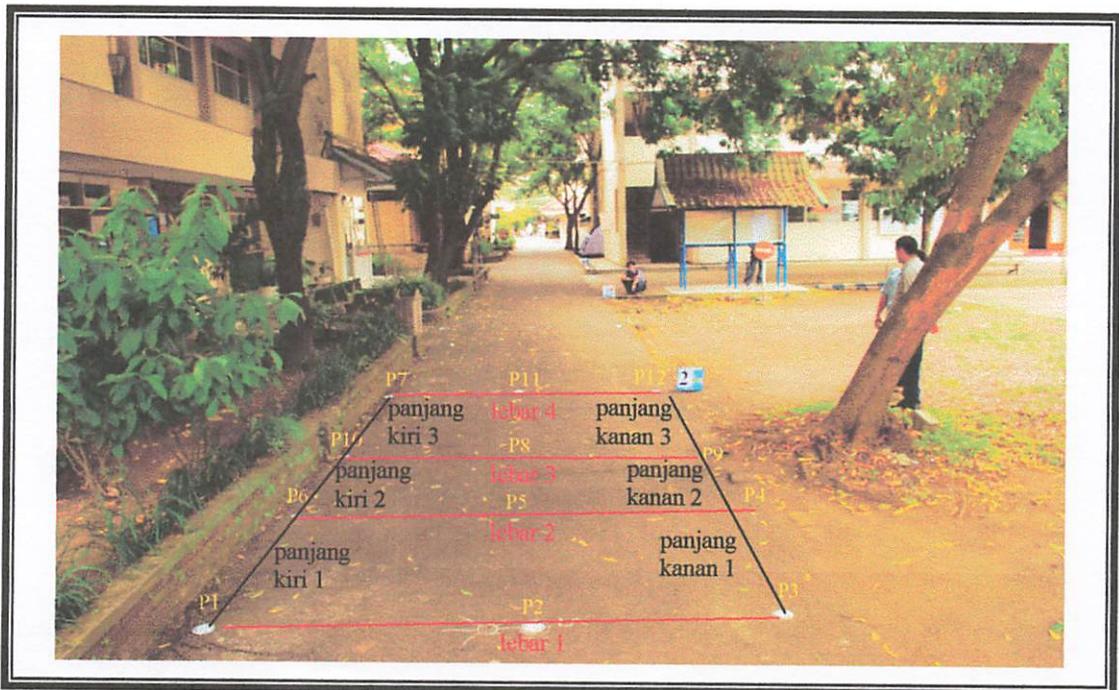
NO	POINT ID	Koordinat Hasil Foto			Koordinat Hasil TS			Transformasi Koordinat Foto-Lokal			SELISIH			KET
		(m)			(m)			(m)			(m)			
1	P1	0.000000	0.000000	0.000000	1002.5510	1008.9800	100.0540	1002.551	1008.980	100.054	-	-	-	Control
2	P2	1.485295	-0.028107	-0.001941	1003.8540	1008.2690	99.9900	1003.854	1008.269	99.990	-	-	-	Control
3	P3	2.666628	0.000000	0.000000	1004.9350	1007.8040	99.9510	1004.935	1007.804	99.951	-	-	-	Control
4	P4	0.115761	5.076291	0.000000	1007.3490	1012.0400	100.0050	1007.366	1012.066	100.008	-0.0170	-0.0260	-0.0030	-
5	P5	1.505573	5.090483	0.043326	1006.1000	1012.7890	100.0550	1006.092	1012.777	100.056	0.0080	0.0120	-0.0010	-
6	P6	2.986817	4.989452	0.053325	1004.8600	1013.3820	100.0610	1004.874	1013.390	100.065	-0.0140	-0.0080	-0.0040	-
7	P7	0.282499	10.202431	0.092185	1007.2180	1017.8180	100.1710	1007.251	1017.833	100.166	-0.0330	-0.0150	0.0050	-
8	P8	1.785034	10.187576	0.119193	1008.5540	1017.1380	100.1370	1008.551	1017.132	100.138	0.0030	0.0060	-0.0010	-
9	P9	3.288639	10.131483	0.139422	1009.8600	1016.4330	100.0970	1009.869	1016.465	100.098	-0.0090	-0.0320	-0.0010	-
10	P10	0.544420	15.354228	0.164171	1009.6910	1022.2570	100.2510	1009.720	1022.215	100.250	-0.0290	0.0420	0.0010	-
11	P11	2.012267	15.293103	0.173284	1010.9780	1021.5050	100.2030	1010.962	1021.535	100.203	0.0160	-0.0300	0.0000	-
12	P12	3.547282	15.311491	0.180221	1012.3370	1020.8650	100.1500	1012.340	1020.866	100.148	-0.0030	-0.0010	0.0020	-
13	P13	0.732186	20.453946	0.167118	1012.0830	1026.6170	100.2630	1012.110	1026.610	100.266	-0.0270	0.0070	-0.0030	-
14	P14	2.225320	20.364907	0.218156	1013.3660	1025.8650	100.2600	1013.367	1025.861	100.255	-0.0010	0.0040	0.0050	-
15	P15	3.761240	20.295107	0.211515	1014.7160	1025.1250	100.1880	1014.707	1025.154	100.188	0.0090	-0.0290	0.0000	-
16	P16	0.922859	25.531485	0.239171	1014.4690	1030.9770	100.3500	1014.497	1030.983	100.347	-0.0280	-0.0060	0.0030	-
17	P17	2.460544	25.477196	0.288887	1015.8040	1030.2500	100.3370	1015.830	1030.242	100.339	-0.0260	0.0080	-0.0020	-
18	P18	3.996423	25.425602	0.312871	1017.1260	1029.4790	100.2930	1017.151	1029.523	100.304	-0.0250	-0.0440	-0.0110	-
19	P19	1.110001	30.661218	0.276446	1016.8960	1035.4210	100.4010	1016.922	1035.417	100.398	-0.0260	0.0040	0.0030	-
20	P20	2.632584	30.522597	0.338038	1018.2030	1034.6090	100.3960	1018.203	1034.624	100.400	0.0000	-0.0150	-0.0040	-
21	P21	4.098622	30.565634	0.349947	1019.5090	1034.0060	100.3500	1019.513	1034.017	100.356	-0.0040	-0.0110	-0.0060	-
22	P22	1.205574	35.641209	0.306945	1019.2510	1039.7090	100.4460	1019.260	1039.709	100.434	-0.0090	0.0000	0.0120	-
23	P23	2.725391	35.640522	0.351735	1020.5900	1039.0170	100.4150	1020.586	1039.019	100.427	0.0040	-0.0020	-0.0120	-
24	P24	4.193974	35.568725	0.397417	1021.8480	1038.2980	100.4100	1021.848	1038.304	100.399	0.0000	-0.0060	0.0110	-
25	P25	1.343674	40.653944	0.333122	1021.6400	1044.0080	100.4890	1021.640	1044.008	100.489	-	-	-	Control
26	P26	2.877004	40.729050	0.418920	1022.9970	1043.3700	100.4990	1022.997	1043.370	100.499	-	-	-	Control
27	P27	4.397704	40.696933	0.426201	1024.3550	1042.6640	100.4490	1024.355	1042.664	100.449	-	-	-	Control
RATA-RATA SELISIH											-0.01005	-0.00676	-0.00029	

4.2.1 Analisa Dari Perbandingan Koordinat Yang Dihasilkan

Dari tabel 4.4 dapat dilihat bahwa hasil koordinat objek yang dihasilkan dengan pengukuran *Mobile Mapping System* (MMS) dan dengan pengolahan dengan teknik Fotogrametri, tidak jauh berbeda dengan hasil koordinat yang dihasilkan Total Station. Apabila dilihat dari hal tersebut, sistem ini sudah cukup baik dengan selisih nilai terbesar terdapat pada titik 10 (P10) yaitu: untuk selisih nilai $X = -0.0290$; nilai $Y = 0.0420$; nilai $Z = 0.0010$ (dalam satuan meter), dan dengan nilai selisih rata-rata berkisar di bawah 1 mm untuk panjang jalan/total jarak keseluruhan 40m.

4.2.2 Analisa Hasil Jarak Antar Titik

Dari hasil koordinat tersebut kemudian di plot ke dalam AutoCad dan dilakukan pengukuran jarak terhadap lebar dan panjang jalan. Pengukuran tersebut menghasilkan data sebagai berikut:



Gambar 4.7 Ilustrasi ukuran jarak pada jalan yang disurvei

Tabel 4.4: Data Pengukuran Lebar Jalan

INS. TIPE	LEBAR JALAN (m)									LEBAR RATA2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
PHOTO	2.658	2.822	2.954	2.947	2.977	3.029	2.945	2.945	3.029	2.923
TS	2.658	2.828	2.983	2.990	3.026	3.050	2.972	2.956	3.029	2.944
									SELISIH	0.021

Tabel 4.5: Data Ukuran Pada Sisi Kiri Jalan

PANJANG SISI KIRI			
SLAG KIRI	INSTRUMEN		SELISIH SLAG
	PHOTO	TS	
1	4.9708	4.9844	0.0136
2	5.0238	5.0389	0.0151
3	5.0914	5.0297	0.0617
4	4.9731	5.0028	0.0297
5	4.9702	4.9821	0.0119
6	5.0635	5.0538	0.0097
7	4.8921	4.8875	0.0046
8	4.9182	4.9138	0.0044
JUMLAH	39.9031	39.893	0.018838
SELISIH	0.010		

Tabel 4.6: Data Ukuran Pada Sisi Kanan Jalan

PANJANG SISI KANAN			
SLAG KANAN	INSTRUMEN		SELISIH SLAG
	PHOTO	TS	
1	4.8756	4.9066	0.0310
2	5.0600	5.0612	0.0012
3	5.0772	5.0472	0.0300
4	4.8793	4.8979	0.0186
5	4.9765	5.0061	0.0296
6	5.1159	5.0769	0.0390
7	4.8880	4.8817	0.0063
8	5.0346	5.0294	0.0052
JUMLAH	39.9071	39.9070	0.0201
SELISIH	0.000		

Data ukuran tersebut kemudian di rata-ratakan, sehingga mendapatkan selisih nilai pengukuran menggunakan foto dengan pengukuran menggunakan Total Station. Perbedaan nilai pengukuran rata-rata untuk lebar jalan adalah 0.021 m, dapat dikatakan cukup kecil dan pada pengukuran terhadap sisi kanan jalan hampir tidak terdapat selisih nilai pengukuran.

4.2.3 Analisa Hasil Ketelitian Objek

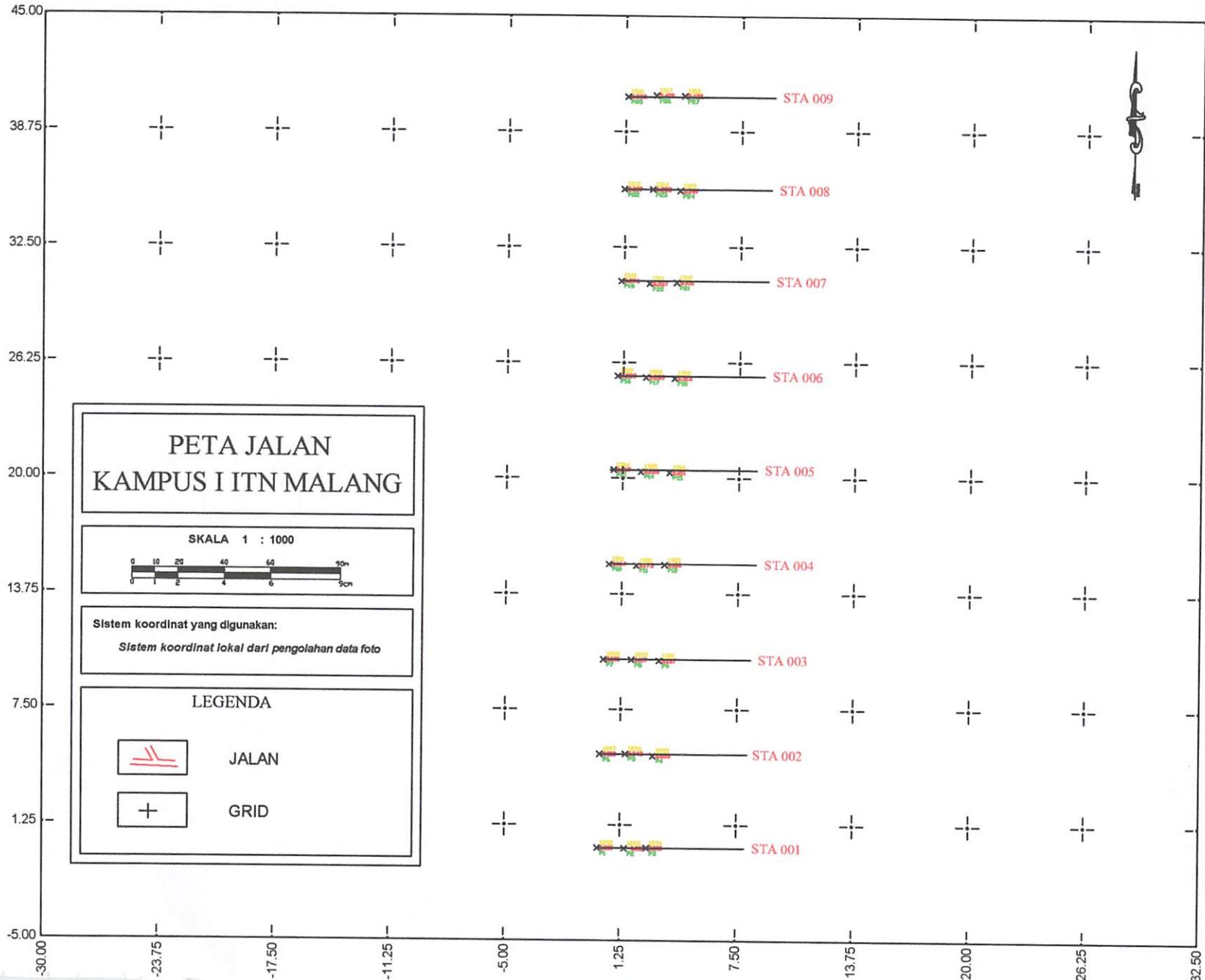
Tabel 4.7: Hasil Dari Pengolahan Data Foto

Point No.	x	y	z	x precision	y precision	z precision
1	0.000000	0.000000	0.000000	0.001	0.003	0.001
2	1.485295	-0.028107	-0.001941	0.001	0.002	0.001
3	2.666628	0.000000	0.000000	0.001	0.003	0.001
4	2.986817	4.989452	0.053325	0.001	0.004	0.001
5	1.505573	5.090483	0.043326	0.001	0.003	0.001
6	0.115761	5.076291	0.000000	0.001	0.003	0.001
7	3.288639	10.131483	0.139422	0.002	0.003	0.001
8	1.796543	10.197470	0.116850	0.002	0.003	0.002
9	0.282499	10.202431	0.092185	0.002	0.003	0.001

Dari proses yang dilakukan terhadap pasangan foto yang stereo dengan sembilan titik objek, dapat dianalisa ketelitian titik-titik tersebut. Hasil proses tersebut dapat dilihat pada *Tabel 4.8* dengan masing-masing ketelitian terhadap nilai titik objek yang diukur. Untuk hasil keseluruhan dapat dilihat pada *Lampiran B*.

4.3 Penyajian Hasil

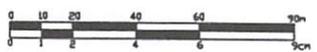
Dari proses perhitungan dan beberapa data yang telah ditampilkan, hasil akhir dari penelitian tersebut berupa posisi (X, Y, Z) objek space point dari koridor jalan yang disurvei. Selanjutnya, proses penggambaran titik-titik tersebut dilakukan dengan AutoCad dengan sebagai berikut:



1043
1037
1031
1025
1019
1013
1007
1001
995

**PETA JALAN
KAMPUS I ITN MALANG**

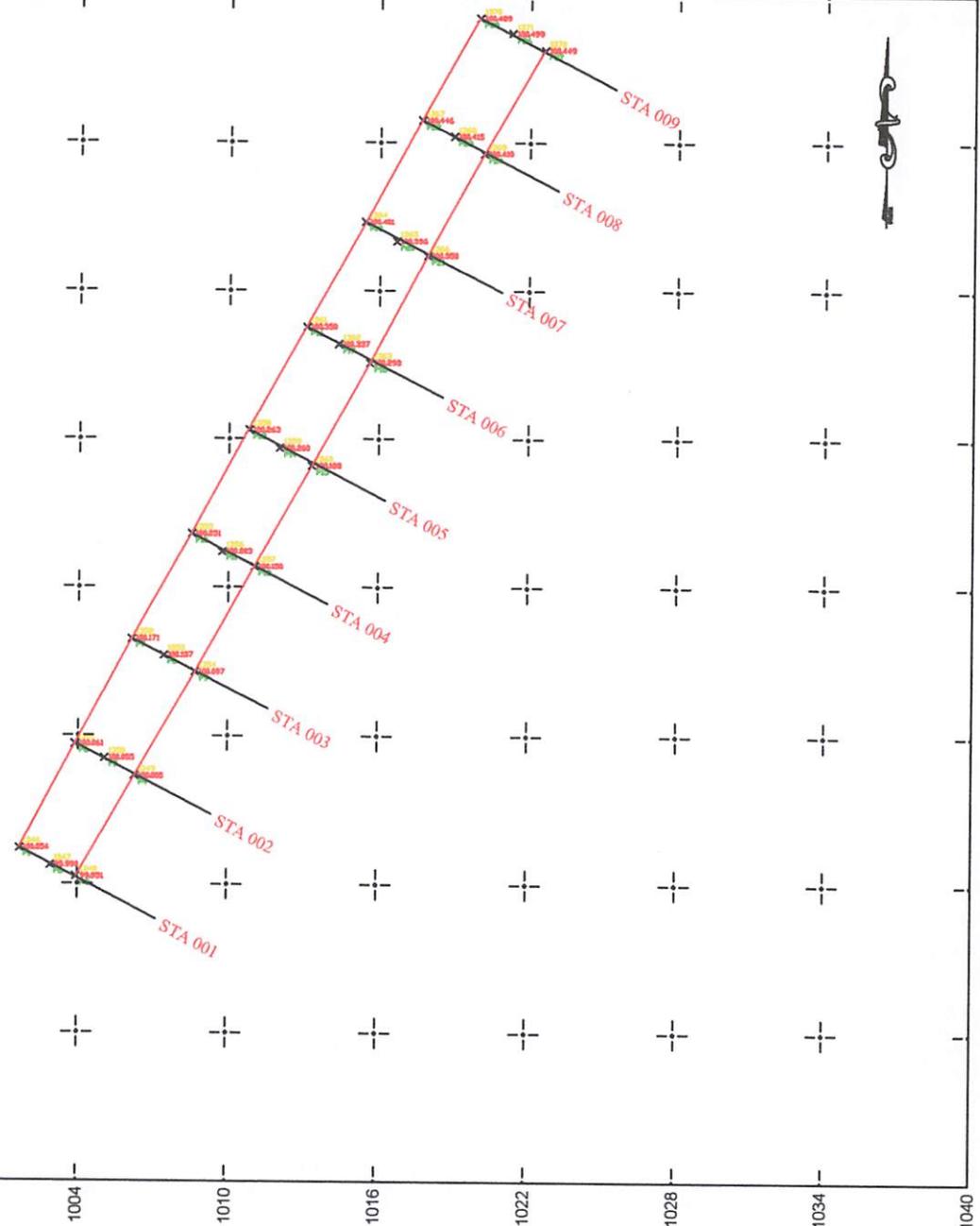
SKALA 1 : 1000



Sistem koordinat yang digunakan:
Sistem koordinat lokal dari pengolahan data TS

LEGENDA

	JALAN
	GRID



980 986 992 998 1004 1010 1016 1022 1028 1034 1040

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pengintegrasian perangkat video kamera dengan GPS memiliki potensi untuk dapat melakukan inventarisasi dan pemetaan profil jalan secara ekonomis, cepat dan akurat. Dengan sistem ini, diseminasi data geospasial akan dapat dilakukan dengan mudah dan efisien dan dengan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Untuk akurasi koordinat 3D yang dihasilkan, akan sangat tergantung tipe kamera video yang digunakan dan ketelitian pada waktu pengambilan serta prosesing datanya.
2. Dilihat dari proses pengambilan data, sudah dilakukan pemasangan titik kontrol pada awal dan akhir pemotretan agar mempermudah dalam proses orientasi koordinat objek dan memberikan tanda yang jelas terlihat pada foto untuk setiap titik di koridor jalan yang disurvei. Hal ini dilakukan untuk mempermudah pendijitasian objek space sehingga lebih presisi.
3. Dari prosesing datanya, sebelum pengambilan data telah dilakukan terlebih dahulu pengkalibrasian kamera untuk mengeliminir kesalahan sistematik dari kamera yang digunakan dalam pengukuran. Dari proses ini akan didapat koordinat *principal point* dan panjang fokus terkalibrasi, serta parameter kalibrasi lensa misalnya parameter distorsi radial dan decentring. Dan ditambah dengan hasil panjang baseline dengan selisih nilai 0.4035 cm terhadap jarak aslinya (yaitu: 50 cm).

4. Pendijitasian terhadap titik-titik konjugasi pada dua foto stereo dengan teknik *Image Matching*. Dalam teknik ini terdiri dari dua metode, yaitu *Normalized Cross Correlation* (NCC) dan *Least Square Matching* (LSM). Metode NCC ini menghasilkan ketelitian 1 piksel dan dengan komputasi yang cepat, sedangkan metode LSM menghasilkan ketelitian hingga 0.01 piksel dan relatif lambat, karena menerapkan perhitungan kuadrat terkecil.
5. Sedangkan dari penentuan titik konjugasi dan parameter EO akan dilakukan proses *intersection* untuk mendapatkan koordinat *objek space point* pada jalan raya. Dari proses yang telah dilakukan tersebut terhadap foto stereo menghasilkan rata-rata presisi terhadap koordinat $x = 0.001$ m; $y = 0.003$ m; dan $z = 0.001$ m pada sembilan buah titik konjugasi.
6. Hasil perbandingan pengukuran dan pengolahan antara metode fotogrametri dengan metode terestrial, baik dari posisi (X, Y, Z) titik objek space ataupun jarak (panjang dan lebar) jalan yang diukur, tidak menunjukkan perbedaan nilai yang begitu jauh. Dengan kata lain, selisih dari kedua metode pengukuran tersebut sangat kecil.

Dengan melalui proses tersebut, sistem MMS ini diharapkan menjadi jalan keluar yang tepat dalam perkembangan metode pengukuran dan pemetaan untuk memenuhi kebutuhan akan data spasial. Dengan kedua sensor tersebut, sistem ini dapat menghasilkan data foto dan data posisi 3D yang dapat diproses untuk berbagai kepentingan, misalnya : data untuk SIG, sebagai data awal dalam perbaikan dan perencanaan jalan raya, serta berbagai aplikasi yang pemanfaatannya berdasarkan data visual jalan raya dan obyek di sekitarnya.

5.2 Saran

Dalam penelitian ini masih terdapat banyak kekurangan, karena sistem ini masih tergolong dalam tahap percobaan dan masih pada proses pengembangan.

Adapun saran-saran untuk penelitian selanjutnya yang dapat diberikan adalah:

1. Peningkatan standar untuk kamera CCTV yang digunakan agar dapat menghasilkan foto dengan kualitas yang lebih baik, sehingga dapat menunjang hasil keakurasian data yang didapat.
2. Pada proses kalibrasi kamera, masih membutuhkan data koordinat papan yang diukur secara manual untuk inputan pada program. Mungkin penggunaan metode secara otomatis dengan program, akan dapat mempersingkat waktu.
3. Desain Bar yang kompatible pada semua jenis mobil dan dirancang dengan baik supaya tahan terhadap getaran mesin dan kerusakan jalan, sehingga data foto yang dihasilkan lebih baik.

Daftar Pustaka

- Coetsee, J., A. Brown, and J. Bossler, 1994. *"GIS Data Collection Using The GPSVan Supported By A GPS/Inertial Mapping System"*. Salt Lake City, UT.
- Cooper, M.A.R. and Robson, S., 2001. *"Theory Of Close Range Photogrammetry"*. Wittles Publishing, London.
- Dörstel, C., Jacobsen, K. and Stallmann, D., 2004. *"Dmc – Photogrammetric Accuracy – Calibration Aspects And Generation Of Synthetic Dmc Images"*. University of Hannover, Germany.
- Dewwit, B. A. 1996. *"Initial approximations for the three-dimensional conformal coordinate transformation"*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 62(79-83).
- Ellum, C., 2001. *"The Development of a Backpack Mobile Mapping System"*. Department of Geomatics Engineering. Calgary, Alberta.
- Ellum, C. M., and El-Sheimy, N., 2002. *"Land-Based Mobile Mapping System"*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Canada.
- El-Sheimy, N., 1999. *"Mobile Multi-Sensor System: The New Trend in Mapping and GIS Applications"*. International Association of Geodesy Symposia Volume 120, pp. 319-324. Springer-Verlag, Berlin.
- Goad, C. C., 1991. *"The Ohio State University Mapping System: The Positioning Component"*. Williamsburg, VA.
- He, G., G. Orvets, and R. Hammersley, 1996. *"Capturing Urban Infrastructure Data Using Mobile Mapping System"*. The Institute of Navigation (ION), Cambridge, MA.
- Leica, (2006). *"Leica photogrammetry suite : Project manager"*. Norcross, United States of America, Leica Geosystem Geospatial Imaging.
- Li, D., S.-D. Zhong, S.-X. He, and H. Zheng, 1999. *"A Mobile Mapping System Based on GPS, GIS and Multi-Sensor"*. Bangkok, Thailand.

- Li, Q., B. Li, J. Chen, Q. Hu, and Y. Li, 2001. "3D Mobile Mapping System for Road Modeling". Cario, Egypt.
- Li, R., 1997. "Mobile Mapping: An Emerging Technology for Spatial Data Acquisition". Photogrammetric Engineering and Remote Sensing (PE&RS), 63(9):pp. 1085-1092.
- Mikhail, E. M., J. S. Bethel, and J. C. McGlone (2001). "Introduction to Modern Photogrammetry". John Wiley and Sons, inc., New York.
- Novak, K., 1991. "The Ohio State University Mapping System: The Stereo Vision System Component". Williamsburg, VA.
- Novak, K., 1995. "Mobile Mapping Technology for GIS Data Collection". Photogrammetric Engineering and Remote Sensing (PE&RS), 61(5):pp. 493-501.
- Reed, M., C. Landry, and K. Werther, 1996. "The Application of Air and Ground Based Laser Mapping System to Transmission Line Corridor Surveys". Institute of Electrical and Electronics Enggineers (IEEE), Atlanta, GA.
- Ridho, 2009.
<http://ridhoeka4gis.blogspot.com/2009/03/sistem-koordinat-dan-proyeksi-peta.html>
- Romsek, B. 2004. "Coordinat transformations paper presented at the 3D Transformations". City.
- Schenk, T., 1999. "Digital Photogrammetry". TerraScience, Ohio, USA.
- Tjahjadi, E., 2008b. "Precision Feature Extraction From Unmanned Aerialplatforms". Institut Teknologi Nasional, Malang.
- Tjahjadi, E., 2009. "Modul Proyeksi Peta (GE 4214 & GD 4215)". Institut Teknologi Nasional, Malang.
- UNDP, 2007. "Modul Pelatihan ArcGIS Dasar". Tim Teknis Nasional, Hal. 6-16.
- Wikipedia, 2010. http://en.wikipedia.org/wiki/Radial_distortion.

- Wong, C., 2006. "*Development Of Land Based Mobile Mapping System Using Global Positioning System And Close Range Photogrammetric Techniques*". Faculty of Geoinformation Science and Engineering, Universiti Teknologi Malaysia.
- Wolf, P. R. (1993). "*Elemen fotogrametri dengan interpretasi foto udara dan penginderaan jauh : Edisi kedua*". D. Gunadi, M. S. Drs. Totok Gunawan & D. Zuharnen, Trans. Bulaksumur, Yogyakarta, Gadjah Mada University Press.
- Wolf, Paul R., 2000. "*Elements of Photogrammetry With Application in GIS (3rd Edition)*". McGraw-Hill Companies, New York.
- Wolf, P.R. and Dewitt, B.A., 2000. "*Elements of Photogrammetry: with Applications in GIS*". McGraw-Hill Companies Inc., New York, 608 pp.
- Zhang, Z., 1999. "*Flexible Camera Calibration By Viewing a Plane From Unknown Orientations*". IEEE Microsoft Research, USA.

LAMPIRAN A
DATA PAPAN KALIBRASI

DATA PAPAN KALIBRASI

1. Dengan Pengukuran Manual

Point	X	Y
1	64.35	6.50
2	57.80	6.50
3	57.80	0.00
4	64.35	0.00
5	49.90	6.50
6	43.39	6.50
7	43.39	0.00
8	49.90	0.00
9	35.49	6.50
10	28.91	6.49
11	28.90	0.00
12	35.48	0.00
13	21.00	6.49
14	14.49	6.49
15	14.45	0.00
16	21.00	0.00
17	6.54	6.50
18	0.00	6.50
19	0.00	0.00
20	6.55	0.00
21	64.35	20.70
22	57.80	20.70
23	57.80	14.30
24	64.35	14.29
25	49.90	20.70
26	43.40	20.70
27	43.40	14.29
28	49.90	14.30
29	35.50	20.70
30	28.95	20.70
31	28.91	14.28
32	35.50	14.29
33	21.00	20.70
34	14.49	20.70
35	14.49	14.29
36	21.00	14.29
37	6.55	20.70
38	0.00	20.71
39	0.00	14.30
40	6.55	14.30
41	64.35	35.00
42	57.80	35.00
43	57.80	28.50

44	64.35	28.50
45	49.90	34.99
46	43.40	34.99
47	43.40	28.50
48	49.90	28.50
49	35.50	34.99
50	28.93	34.99
51	28.92	28.50
52	35.50	28.50
53	21.00	34.99
54	14.50	35.00
55	14.49	28.50
56	21.00	28.50
57	6.55	35.00
58	0.00	35.00
59	0.00	28.51
60	6.55	28.51
61	64.39	49.29
62	57.81	49.25
63	57.81	42.80
64	64.38	42.80
65	49.91	49.29
66	43.40	49.25
67	43.40	42.79
68	49.90	42.80
69	35.50	49.29
70	28.99	49.25
71	28.95	42.79
72	35.50	42.80
73	21.20	49.25
74	14.50	49.25
75	14.50	42.80
76	21.00	42.80
77	6.55	49.29
78	0.00	49.29
79	0.00	42.80
80	6.55	42.80
81	64.40	63.50
82	57.85	63.50
83	57.83	57.05
84	64.40	57.09
85	49.97	63.50
86	43.41	63.50
87	43.40	57.05

88	49.95	57.09
89	35.50	63.50
90	28.99	63.50
91	28.99	57.05
92	35.50	57.09
93	21.20	63.50
94	14.50	63.50
95	14.50	57.09
96	21.20	57.09
97	6.55	63.50
98	0.00	63.50
99	0.00	57.09
100	6.56	57.01

2. Hasil Pengukuran Dijital

fovx left	21.878912	
fovy left	16.408639	
focal left	12.675654	
aspect ratio	1.005436	
principal point x,y left	1.884615	1.6281925

fovx Right	21.899638	
fovy Right	16.423606	
focal Right	12.663361	
aspect ratio Right	1.005482	
principal point x,y Right	2.026616	1.8693690

IO left photo stereo calibration:	
K1	-0.530952
K2	4.654904
K3	-65.963919
P1	0.000683
P2	0.000683

IO right photo stereo calibration:	
K1	-0.059687
K2	-19.348571
K3	230.016001
P1	-0.000201
P2	-0.000201

Translasi	-49.034810	-0.571451	7.421079
-----------	------------	-----------	----------

Intrinsic Matrix:	1655.595581	0	246.153788
	0	1664.595634	211.224972
	0	0	1

Base Line	49.5964873
-----------	------------

LAMPIRAN B
HASIL PENGOLAHAN FOTO

HASIL PENGOLAHAN FOTO JALAN RAYA

1. Pair One

Point	Koordinat Foto			x precision	y precision	z precision
	x	y	z			
1	0.000000	0.000000	0.000000	0.001	0.003	0.001
2	1.485295	-0.028107	-0.001941	0.001	0.002	0.001
3	2.666628	0.000000	0.000000	0.001	0.003	0.001
4	2.986817	4.989452	0.053325	0.001	0.004	0.001
5	1.505573	5.090483	0.043326	0.001	0.003	0.001
6	0.115761	5.076291	0.000000	0.001	0.003	0.001
7	3.288639	10.131483	0.139422	0.002	0.003	0.001
8	1.796543	10.197470	0.116850	0.002	0.003	0.002
9	0.282499	10.202431	0.092185	0.002	0.003	0.001

2. Pair Two

Point	Koordinat Foto			x precision	y precision	z precision
	x	y	z			
1	0.115761	5.076291	0.000000	0.002	0.003	0.001
2	1.502873	5.085168	0.045604	0.002	0.003	0.001
3	2.986817	4.989452	0.053325	0.002	0.003	0.001
4	0.272138	10.204223	0.091479	0.001	0.005	0.001
5	1.787720	10.191103	0.116576	0.001	0.004	0.001
6	3.281470	10.140813	0.137261	0.001	0.005	0.001
7	0.567783	15.353744	0.164075	0.002	0.004	0.001
8	2.035534	15.286613	0.175689	0.002	0.003	0.001
9	3.569292	15.300240	0.182498	0.002	0.004	0.001

3. Pair Three

Point	Koordinat Foto			x precision	y precision	z precision
	x	y	z			
1	0.272138	10.204223	0.091479	0.002	0.003	0.001
2	1.785034	10.187576	0.119193	0.002	0.003	0.001
3	3.281470	10.140813	0.137261	0.002	0.004	0.001
4	0.544420	15.354228	0.164171	0.001	0.005	0.001
5	2.015449	15.285250	0.175363	0.001	0.004	0.001
6	3.547282	15.311491	0.180221	0.001	0.005	0.001
7	0.723558	20.465199	0.168068	0.002	0.003	0.001
8	2.218079	20.361540	0.219540	0.002	0.003	0.001
9	3.761240	20.295107	0.211515	0.002	0.003	0.001

4. Pair Four

Point	Koordinat Foto			x precision	y precision	z precision
	x	y	z			
1	0.544420	15.354228	0.164171	0.002	0.003	0.001
2	2.012267	15.293103	0.173284	0.002	0.003	0.001
3	3.547282	15.311491	0.180221	0.002	0.004	0.001
4	0.732186	20.453946	0.167118	0.001	0.005	0.001
5	2.225225	20.365666	0.219617	0.001	0.004	0.001
6	3.766079	20.312189	0.210680	0.001	0.005	0.001
7	0.933471	25.548029	0.241598	0.002	0.004	0.001
8	2.460544	25.477196	0.288887	0.002	0.003	0.001
9	3.996423	25.425602	0.312871	0.002	0.003	0.001

5. Pair Five

Point	Koordinat Foto			x precision	y precision	z precision
	x	y	z			
1	0.732186	20.453946	0.167118	0.001	0.003	0.001
2	2.225320	20.364907	0.218156	0.001	0.002	0.001
3	3.766079	20.312189	0.210680	0.001	0.003	0.001
4	0.922859	25.531485	0.239171	0.001	0.004	0.001
5	2.447658	25.469998	0.288554	0.001	0.004	0.001
6	3.984442	25.420399	0.312729	0.001	0.004	0.001
7	1.110001	30.661218	0.276446	0.001	0.003	0.001
8	2.632584	30.522597	0.338038	0.001	0.002	0.001
9	4.098622	30.565634	0.349947	0.001	0.003	0.001

6. Pair Six

Point	Koordinat Foto			x precision	y precision	z precision
	x	y	z			
1	0.922859	25.531485	0.239171	0.001	0.003	0.001
2	2.446177	25.463925	0.289486	0.001	0.003	0.001
3	3.984442	25.420399	0.312729	0.001	0.003	0.001
4	1.066478	30.671404	0.275617	0.001	0.004	0.001
5	2.590989	30.538436	0.337203	0.001	0.004	0.001
6	4.057709	30.593811	0.350638	0.001	0.004	0.001
7	1.227046	35.644656	0.305699	0.001	0.003	0.001
8	2.743589	35.640552	0.352299	0.001	0.002	0.001
9	4.210877	35.564419	0.400812	0.001	0.003	0.001

7. Pair Seven

Point	Koordinat Foto			x precision	y precision	z precision
	x	y	z			
1	1.066478	30.671404	0.275617	0.002	0.003	0.001
2	2.593861	30.544049	0.334346	0.002	0.003	0.001
3	4.057709	30.593811	0.350638	0.002	0.003	0.001
4	1.205574	35.641209	0.306945	0.001	0.005	0.001
5	2.725260	35.638596	0.351822	0.001	0.004	0.001
6	4.193974	35.568725	0.397417	0.001	0.004	0.001
7	1.354427	40.661691	0.333627	0.002	0.003	0.001
8	2.887955	40.733920	0.419313	0.002	0.003	0.001
9	4.403542	40.700137	0.427477	0.002	0.003	0.001

8. Pair Eight

Point	Koordinat Foto			x precision	y precision	z precision
	x	y	z			
1	1.205574	35.641209	0.306945	0.001	0.002	0.000
2	2.725391	35.640522	0.351735	0.001	0.001	0.001
3	4.193974	35.568725	0.397417	0.001	0.002	0.000
4	1.343674	40.653944	0.333122	0.001	0.002	0.000
5	2.877004	40.729050	0.418920	0.001	0.001	0.001
6	4.397704	40.696933	0.426201	0.001	0.002	0.000

LAMPIRAN C
HASIL PENGUKURAN FOTO
DAN TOTAL STATION

**HASIL PENGUKURAN FOTO DAN TOTAL STATION
PADA JALAN RAYA**

1. Objek Space Point

NO	POINT ID	KOORDINAT HASIL FOTO		
		(m)		
1	P1	0.0000	0.0000	0.0000
2	P2	1.4853	-0.0281	-0.0019
3	P3	2.6666	0.0000	0.0000
4	P4	0.1158	5.0763	0.0000
5	P5	1.5056	5.0905	0.0433
6	P6	2.9868	4.9895	0.0533
7	P7	0.2825	10.2024	0.0922
8	P8	1.7850	10.1876	0.1192
9	P9	3.2886	10.1315	0.1394
10	P10	0.5444	15.3542	0.1642
11	P11	2.0123	15.2931	0.1733
12	P12	3.5473	15.3115	0.1802
13	P13	0.7322	20.4539	0.1671
14	P14	2.2253	20.3649	0.2182
15	P15	3.7612	20.2951	0.2115
16	P16	0.9229	25.5315	0.2392
17	P17	2.4605	25.4772	0.2889
18	P18	3.9964	25.4256	0.3129
19	P19	1.1100	30.6612	0.2764
20	P20	2.6326	30.5226	0.3380
21	P21	4.0986	30.5656	0.3499
22	P22	1.2056	35.6412	0.3069
23	P23	2.7254	35.6405	0.3517
24	P24	4.1940	35.5687	0.3974
25	P25	1.3437	40.6539	0.3331
26	P26	2.8770	40.7290	0.4189
27	P27	4.3977	40.6969	0.4262

2. Hasil Pengolahan Topografi

NO	POINT ID	KOORDINAT HASIL T. STATION		
		(m)		
1	P1	1002.5510	1008.9800	100.0540
2	P2	1003.8540	1008.2690	99.9900
3	P3	1004.9350	1007.8040	99.9510
4	P4	1007.3490	1012.0400	100.0050
5	P5	1006.1000	1012.7890	100.0550
6	P6	1004.8600	1013.3820	100.0610
7	P7	1007.2180	1017.8180	100.1710
8	P8	1008.5540	1017.1380	100.1370
9	P9	1009.8600	1016.4330	100.0970
10	P10	1009.6910	1022.2570	100.2510
11	P11	1010.9780	1021.5050	100.2030
12	P12	1012.3370	1020.8650	100.1500
13	P13	1012.0830	1026.6170	100.2630
14	P14	1013.3660	1025.8650	100.2600
15	P15	1014.7160	1025.1250	100.1880
16	P16	1014.4690	1030.9770	100.3500
17	P17	1015.8040	1030.2500	100.3370
18	P18	1017.1260	1029.4790	100.2930
19	P19	1016.8960	1035.4210	100.4010
20	P20	1018.2030	1034.6090	100.3960
21	P21	1019.5090	1034.0060	100.3500
22	P22	1019.2510	1039.7090	100.4460
23	P23	1020.5900	1039.0170	100.4150
24	P24	1021.8480	1038.2980	100.4100
25	P25	1021.6400	1044.0080	100.4890
26	P26	1022.9970	1043.3700	100.4990
27	P27	1024.3550	1042.6640	100.4490

LAMPIRAN D
HASIL TRANSFORMASI
KOORDINAT

HASIL TRANSFORMASI OBJEK SPACE POINT

1. Pair One

Point	Koordinat Objek Space			SD. X	SD. Y	SD. Z
	x	y	z			
2	1003.862	1008.297	99.995	0.015	0.015	0.016
4	1007.366	1012.066	100.008	0.022	0.022	0.028
6	1004.874	1013.390	100.065	0.022	0.022	0.027
7	1009.869	1016.465	100.098	0.044	0.044	0.050
8	1008.583	1017.171	100.133	0.043	0.043	0.047
9	1007.251	1017.833	100.166	0.043	0.043	0.050

2. Pair Two

Point	Koordinat Objek Space			SD. X	SD. Y	SD. Z
	x	y	z			
2	1006.178	1012.726	100.014	0.023	0.023	0.024
4	1009.817	1016.388	100.103	0.033	0.033	0.042
6	1007.263	1017.867	100.174	0.034	0.034	0.042
7	1012.193	1020.853	100.227	0.066	0.066	0.076
8	1010.929	1021.543	100.270	0.065	0.065	0.072
9	1009.651	1022.335	100.324	0.067	0.067	0.077

3. Pair Three

Point	Koordinat Objek Space			SD. X	SD. Y	SD. Z
	x	y	z			
2	1008.551	1017.132	100.138	0.011	0.011	0.011
4	1009.720	1022.215	100.250	0.016	0.016	0.019
6	1012.340	1020.866	100.148	0.016	0.016	0.020
7	1012.111	1026.631	100.265	0.031	0.031	0.036
8	1013.380	1025.886	100.257	0.030	0.030	0.034
9	1014.707	1025.154	100.188	0.031	0.031	0.035

4. Pair Four

Point	Koordinat Objek Space			SD. X	SD. Y	SD. Z
	x	y	z			
2	1010.962	1021.535	100.203	0.021	0.021	0.022
4	1012.110	1026.610	100.266	0.030	0.030	0.038
6	1014.700	1025.154	100.192	0.030	0.030	0.038
7	1014.525	1030.975	100.351	0.060	0.060	0.069
8	1015.830	1030.242	100.339	0.059	0.059	0.065
9	1017.151	1029.523	100.304	0.060	0.060	0.069

5. Pair Five

Point	Koordinat Objek Space			SD. X	SD. Y	SD. Z
	x	y	z			
2	1013.367	1025.861	100.255	0.015	0.015	0.016
4	1014.497	1030.983	100.347	0.022	0.022	0.027
6	1017.145	1029.537	100.302	0.022	0.022	0.028
7	1016.922	1035.417	100.398	0.043	0.043	0.050
8	1018.203	1034.624	100.400	0.042	0.042	0.047
9	1019.513	1034.017	100.356	0.043	0.043	0.050

6. Pair Six

Point	Koordinat Objek Space			SD. X	SD. Y	SD. Z
	x	y	z			
2	1015.784	1030.218	100.335	0.008	0.008	0.009
4	1016.926	1035.421	100.400	0.012	0.012	0.015
6	1019.522	1033.999	100.348	0.012	0.012	0.015
7	1019.318	1039.720	100.442	0.023	0.023	0.027
8	1020.650	1039.030	100.425	0.023	0.023	0.026
9	1021.906	1038.299	100.410	0.023	0.023	0.027

7. Pair Seven

Point	Koordinat Objek Space			SD. X	SD. Y	SD. Z
	x	y	z			
2	1018.191	1034.617	100.395	0.010	0.010	0.010
4	1019.260	1039.709	100.434	0.014	0.014	0.018
6	1021.848	1038.304	100.399	0.014	0.014	0.017
7	1021.643	1044.043	100.463	0.028	0.028	0.032
8	1023.022	1043.417	100.483	0.028	0.028	0.031
9	1024.335	1042.708	100.428	0.028	0.028	0.032

8. Pair Eight

Point	Koordinat Objek Space			SD. X	SD. Y	SD. Z
	x	y	z			
2	1020.586	1039.019	100.427	0.011	0.011	0.011
4	1021.630	1044.001	100.479	0.016	0.016	0.020
6	1024.308	1042.670	100.443	0.016	0.016	0.020