

# SKRIPSI

**Pemantauan Deformasi Menggunakan Kamera Digital Non-Metrik  
Auto-Focus Di Jembatan Layang Arjosari  
Dan Jembatan Kereta api Lawang**



**Disusun Oleh:**

**Paskadime Turay  
08.25.905**

**JURUSAN TEKNIK GEODESI  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL  
MALANG  
2011**

## LEMBAR PERSETUJUAN

### Pemantauan Deformasi Menggunakan Kamera Digital Non-Metrik Auto-Focus Di Jembatan Layang Arjosari Dan Jembatan Kereta Api Lawang

#### SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Dalam Mencapai  
Gelar Sarjana Teknik (ST) Strata Satu (S-1) Teknik Geodesi S-1  
Institut Teknologi Nasional Malang

Oleh:

**Paskadime Turay**  
**08.25.905**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I



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

Dosen Pembimbing II



Silvester Sari Sai, ST., MT.

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Geodesi S-1



Ir. Agus Darpono, MT



**LEMBAR PENGESAHAN**

**SKRIPSI**

**Pemantauan Deformasi Menggunakan Kamera Digital Non-Metrik  
Auto-Focus Di Jembatan Layang Arjosari Dan  
Jembatan Kereta Api Lawang**

Telah Dipertahankan Di Hadapan Panitia Penguji Skripsi Jenjang Strata-1 (S-1)

Pada Hari : Sabtu

Tanggal : 13 Agustus 2011

Dan Diterima Untuk Memenuhi Persyaratan Guna Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (ST)

Oleh:

**Paskadime Turay**  
**08.25.905**

Panitia Ujian Skripsi

Ketua

Ir. Agus Darpono, MT

Sekretaris

Silvester Sari Sai, ST., MT.

Anggota Penguji

Penguji I

Ir. M. Nurhadi, MT

Penguji II

Hery Purwanto, ST., MSc.

Penguji III

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

# PEMANTAUAN DEFORMASI MENGGUNAKAN KAMERA DIGITAL NON-METRIK AUTO-FOKUS DI JEMBATAN LAYANG ARJOSARI DAN JEMBATAN KERETA API LAWANG

Paskadime Turay (0825905)

Dosen Pembimbing I : M. Edwin Tjahjadi, ST., M.Geom.Sc., PhD.

Dosen Pembimbing II : Silvester Sari Sai, ST., MT.

## Abstraksi

Rusaknya fasilitas infrastruktur transportasi seperti jalan layang dan jembatan yang terjadi, baik karena bencana alam, pemakaian melebihi batas kewajaran, dan masa penuaan, akan sangat menggerus uang untuk dana pembangunan. Salah satu faktor kendala untuk memperoleh informasi tentang kekuatan struktur dan perubahan bentuk adalah biaya yang masih tergolong mahal untuk pelaksanaan survey pemantauan seperti menggunakan Global Positioning System (GPS), Interferometry Synthetic Aperture Radar (INSAR).

Untuk itu, melalui penulisan ini mencoba metode alternatif yang relatif murah untuk melakukan pengamatan deformasi, yakni dengan teknologi *Close Range Photogrammetry* (CRP) atau Fotogrametri Rentang Dekat, sudah dapat mendeteksi keretakan, pergeseran, atau deformasi struktur material hanya dengan memanfaatkan kamera DSLR yang harganya terjangkau dan tergolong murah. Kemudian Data foto yang di ambil akan diproses melalui perangkat lunak *Australis 6.05*.

Melalui serangkaian pemotretan secara multi epok selama 6bulan, pada struktur material jembatan kereta api dan jembatan layang dapat diamati atau di deteksi dengan tingkat ketelitian dibawah 1 milimeter. Dengan tingkat ketelitian yang bagus tersebut, keretakan dan pergeseran pada objek mampu dideteksi hingga dibawah 0,5milimeter. Didalam penulisan ini akan menjelaskan tentang teknik dan metodologi pemantauan deformasi hanya dengan kamera DSLR.

***Kata kunci : Deformasi, Kamera DSLR, Close Range Photogrammetry, Jembatan Layang, Jembatan Kereta Api.***

## **SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Paskadime Turay  
NIM : 08.25.905  
Program Studi : Teknik Geodesi S-1  
Fakultas : Teknik Sipil dan Perencanaan

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi saya yang berjudul :

**“Pemantauan Deformasi Menggunakan Kamera Digital Non-Metrik  
Auto-Fokus Di Jembatan Layang Arjosari  
Dan Jembatan Kereta Api Lawang”**

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

Malang, 24 Agustus 2011  
Yang membuat pernyataan

Paskadime Turay  
NIM : 08.25.905

*Kupersembahkan sebagian karya kecil ku ini kepada:*

Tuhan Ku Yesus Kristus yang selalu Setia Menggiringi Dalam Setiap Langkah Ku  
Aku yakin bahwa karya kecil ku ini bukan merupakan hasil karya ku sendiri  
Melainkan Campur Tangan Mu lah sehingga bisa menyelesaikan karya kecil ku ini.....

*Almarhum Amah ku tercinta "Yudha Alsius", trimakasih atas Doa Nu, walaupun  
hanyu mahi teto kowi, kude iti hasil didikan Nu sadi ma kawan anak Nu, andri iti kate  
ulang tahun su berharga Tu'u ma aku teka Allahitu berkat hasil didikan Nu....  
Kairu jua ma Inoh Ku su tersayang "Riste Undra" puang sugar aku pakaitung atas do'a  
Nu tiap andrau ma aku, petak ranu mate Nu, kesabaran, su selaku ngarairing pamehum  
Ku....*

*Tata-tata ku Tanti, Tanto, Leony, Epat.... sa selalu ngami semangat ma aku  
Hang awe naun haut rama tu'u ngarawah aku hantek hang wuung masalah  
Naun sa memotivasi aku, nimpan aku tau jua nyalah Naum... heee....*

Buat "Trifonia Seran"

Terima kasih banyak buat kasih sayang, perhatian, dukungannya yang udah diberikan buat Aku  
Banyak kenangan saat suka dan duka yang tak pernah bisa aku lupakan bersama kamu

Gunawan Geo 08, Budi Geo 04

Terimakasih bnyak atas bantuan buhan kam dalam proses proses pengambilan data di lapangan  
Senang bisa bekakawanan buhan kam dimalang jadi tesalur bakat.. heeeee ....

man seperjuangan All Geodesi "05-08", All Tranferan POLIBAN, All Transferan UGM, All Transferan Papua, dll.... Yang gak bisa aku  
ebutin semua takutnya ini lembar persembahan bisa penuh..... terima kasih bnyak untuk segala bantuannya dan senang bisa kenal  
alian semua.... Semoga kedepannya kita bisa menjadi orang sukses semua. Ammiieenn.....

**"JANGANG LAH MEMINTA BEBAN YANG RINGAN KEPADA TUHAN TETAPI MINTA LAH BAHU YANG KUAT**

**AGAR SETIAP BEBAN YANG BERAT DAPAT KITA TANGGUNG DALAM DIA"**

## KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa kerana berkat Rahmat dan Kasih-Nya, sehingga dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul “Pemantauan Deformasi Menggunakan Kamera Digital Non-Metrik Auto-Fokus Di Jembatan Layang Arjosari Dan Jembatan Kereta Api Lawang”.

Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik Geodesi (S1) di Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Malang.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya atas dukungan dan bantuan kepada yang terhormat:

1. Bapak Ir. Soeparno Djiwo, MT. selaku Rektor Institut Teknologi Nasional Malang.
2. Bapak Ir. Agus Santosa, MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan.
3. Bapak Ir. Agus Darpono, MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional Malang.
4. Bapak M. Edwin Tjahjadi, ST., M.Geom.Sc., PhD. Selaku Dosen Pembimbing I serta sebagai Dosen Penguji.
5. Bapak Silvester Sari Sai, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing II
6. Bapak Ir. M. Nurhadi, MT. selaku Dosen Penguji
7. Bapak Hery Purwanto, ST., MSc. selaku Dosen Penguji

8. Beserta segenap dosen, staff pengajar, dan recording Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Malang
9. Almarhum Ayah (Yudha Alsius), Ibu (Riste Undra), Kakak (Yuristianty Yudha, Khristianto Yudha, Leony Susanty Yudha, Leono Epatha) yang telah memberikan dukungan moral dan material.
10. Rekan- Rekan Mahasiswa Jurusan Teknik Geodesi Pada Khususnya Dan Rekan- Rekan Mahasiswa Institut Teknologi Nasional Malang.
11. Semua Pihak Yang telah memberikan bantuan baik berupa moril maupun materil, di mana penulis tidak dapat menyebutkan dengan satu persatu.

Penulis juga menyadari bahwa dalam peyusunan skripsi ini masih banyak kekurangannya, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun, guna penyempurnaan pembuatan skripsi selanjutnya.

Akhirnya penulis berharap semoga tulisan ini berguna bagi pembaca, khususnya Program Studi Teknik Geodesi, serta berguna dalam bidang pendidikan baik untuk saat ini maupun waktu yang akan datang.

Malang, Agustus 2011

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>Lembar Pengesahan</b> .....	i
<b>Lembar Persetujuan</b> .....	ii
<b>Abstraksi</b> .....	iii
<b>Pernyataan Keaslian</b> .....	iv
<b>Kata Pengantar</b> .....	v
<b>Daftar Isi</b> .....	vii
<b>Daftar Tabel</b> .....	xi
<b>Daftar Gambar</b> .....	xiii

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	4
1.3 Perumusan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Masalah .....	5

### BAB II DASAR TEORI

2.1 Pengertian Deformasi Secara Umum.....	6
2.2 Pemahaman Analisa Deformasi .....	8
2.3 Close Range Photogrammetry.....	9
2.4 Kondisi Kolinearitas .....	10
2.5 Kondisi Koplunaritas .....	13

2.6	Pemantauan Deformasi .....	14
2.7	Konfigurasi Data Foto .....	15
2.8	Perataan Jaringan Pemotretan ( <i>Bundle Adjustment</i> ).....	16
2.8.1	Penyelesaian Persamaan Normal Bundle Adjustment .....	20
2.8.2	Efisiensi Algoritma Perhitungan.....	21
2.9	Absolute Orientasi / Transformasi Koordinat 3D .....	22
2.9.1	Tahapan 1 : Rotasi.....	24
2.9.2	Tahapan 2 : Skala Dan Translasi .....	27
2.10	Analisis deformasi .....	32
2.10.1	Analisa Pergeseran.....	33
2.10.2	Ellips Kesalahan.....	34
2.10.3	Uji Statistik .....	36
2.11	<i>Inner Constraint / Free Network Adjustment</i> .....	39
2.12	Estimasi Presisi ( <i>standard error</i> ) .....	44

### **BAB III PELAKSANAAN PENELITIAN**

3.1	Persiapan Penelitian.....	46
3.1.1	Materi Penelitian .....	46
3.1.2	Alat Penelitian .....	47
3.2	Diagram Alir Penelitian .....	50
3.3	Pelaksanaan .....	51
3.3.1	Pelaksanaan Kegiatan Lapangan .....	51
3.3.1.1	Pesiapan .....	51

3.3.1.2 Pemotretan Objek Secara Berkala .....	51
3.3.2 Pelaksanaan Pengolahan Data .....	54
3.3.2.1 Proses Pengolahan Data Tiap Epok Pada Australis.....	54
3.3.2.2 Menghitung Vektor Pergeseran Objek Terhadap Epok1	65
3.3.2.3 Perhitungan Varian Dari Vektor D ( $Q_{dd}$ ) .....	69
3.3.2.4 Uji Statistik.....	71

#### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1 Hasil Proses Pengolahan Data Tiap Epok Pada <i>Australis</i> .....	74
4.1.1 Data Koordinat Tiap Epok .....	74
4.1.2 Data <i>Bundle Adjustment</i> Pada <i>Australis</i> .....	76
4.1.3 Data Parameter Dan Presisi <i>Transformasi</i> koordinat ke sistem Epok 1 Pada <i>Australis</i> .....	77
4.2 Hasil Perhitungan Nilai Vektor Pergeseran ( $\bar{D}$ ) Dan Matrik Kovarian ( $Q_{\bar{d}\bar{d}}$ ) Menggunakan <i>Microsoft Excel</i> .....	79
4.3 Data Hasil Uji Statistik .....	82

#### **BAB V PENUTUP**

5.1 Kesimpulan .....	85
5.2 Saran .....	86

#### **DAFTAR PUSTAKA**

#### **LAMPIRAN A**

- Data *Bundle Adjustment* Dari Proses Pengolahan Data Pada Perangkat Lunak *Australis*
- Data Parameter Dan Presisi *Transformasi* koordinat ke sistem Epok 1 Pada Perangkat Lunak *Australis*

**LAMPIRAN B (Terdapat Pada CD Data)**

- Analisis Epok 1 – Epok 2
- Analisis Epok 1 – Epok 3
- Analisis Epok 1 – Epok 4
- Analisis Epok 1 – Epok 5
- Analisis Epok 1 – Epok 6

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tanda Aljabar .....	35
Tabel 3.1 Jadwal Pengamatan Tiap Epok .....	46
Tabel 4.1 Data Koordinat Epok 1 Pada Penampang A.....	68
Tabel 4.2 Data Koordinat Epok 2 Pada Penampang A.....	68
Tabel 4.3 Data Koordinat Epok 3 Pada Penampang A.....	69
Tabel 4.4 Data Koordinat Epok 4 Pada Penampang A.....	69
Tabel 4.5 Data Koordinat Epok 5 Pada Penampang A.....	69
Tabel 4.6 Data Koordinat Epok 6 Pada Penampang A.....	70
Tabel 4.7 Data Bundle Adjustment Epok 1-6 Pada Penampang A.....	70
Tabel 4.8 Data Transformasi Koordinat Epok 2 Ke Sistem Epok 1 Pada Penampang A.....	71
Tabel 4.9 Data Transformasi Koordinat Epok 3 Ke Sistem Epok 1 Pada Penampang A.....	71
Tabel 4.10 Data Transformasi Koordinat Epok 4 Ke Sistem Epok 1 Pada Penampang A.....	72
Tabel 4.11 Data Transformasi Koordinat Epok 5 Ke Sistem Epok 1 Pada Penampang A.....	72
Tabel 4.12 Data Transformasi Koordinat Epok 6 Ke Sistem Epok 1 Pada Penampang A.....	72
Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Nilai Vektor Pergeseran Dan Matrik Kovarian Epok1 Terhadap Epok2 Pada Penampang A Menggunakan <i>Microsoft Excel</i> .....	73

Tabel 4.14 Hasil Perhitungan Nilai Vektor Pergeseran Dan Matrik Kovarian Epok1 Terhadap Epok3 Pada Penampang A Menggunakan <i>Microsoft Excel</i> .....	74
Tabel 4.15 Hasil Perhitungan Nilai Vektor Pergeseran Dan Matrik Kovarian Epok1 Terhadap Epok4 Pada Penampang A Menggunakan <i>Microsoft Excel</i> .....	74
Tabel 4.16 Hasil Perhitungan Nilai Vektor Pergeseran Dan Matrik Kovarian Epok1 Terhadap Epok5 Pada Penampang A Menggunakan <i>Microsoft Excel</i> .....	75
Tabel 4.17 Hasil Perhitungan Nilai Vektor Pergeseran Dan Matrik Kovarian Epok1 Terhadap Epok6 Pada Penampang A Menggunakan <i>Microsoft Excel</i> .....	75
Tabel 4.18 Data Hasil Uji Statistik epok1 terhadap epok2 pada penampang A...	76
Tabel 4.19 Data Hasil Uji Statistik epok1 terhadap epok3 pada penampang A...	77
Tabel 4.20 Data Hasil Uji Statistik epok1 terhadap epok4 pada penampang A...	77
Tabel 4.21 Data Hasil Uji Statistik epok1 terhadap epok5 pada penampang A...	77
Tabel 4.22 Data Hasil Uji Statistik epok1 terhadap epok6 pada penampang A...	78

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kondisi kolinear atau prinsip kesejarisan .....	10
Gambar 2.2 Interseksi spasial .....	12
Gambar 2.3 Reseksi spasial .....	12
Gambar 2.4 Kondisi koplanar untuk dua buah foto .....	13
Gambar 2.5 Ilustrasi vektor pergeseran .....	15
Gambar 2.6 Struktur Persamaan Normal .....	19
Gambar 2.7 Sistem koordinat 3D XYZ dan xyz arah kanan .....	23
Gambar 2.8 Sudut rotasi pada sistem koordinat xyz .....	23
Gambar 2.9 Sudut rotasi $\omega$ pada sumbu putar $x'$ .....	24
Gambar 2.10 Sudut rotasi $\phi$ pada sumbu putar $y_1$ .....	25
Gambar 2.11 Sudut rotasi $k$ pada sumbu $z_2$ .....	26
Gambar 2.12 Lengkungan Fisher dengan derajat kebebasan pembilang $m$ dan penyebut $n$ .....	37
Gambar 3.1 Contoh data foto objek yang diamati .....	40
Gambar 3.2 Kamera SRL Nikon D 3100 tampak depan dan belakang .....	41
Gambar 3.3 Aksesori dari Kamera .....	42
Gambar 3.4 Striker Retro Target .....	42
Gambar 3.5 Diagram alir pelaksanaan penelitian .....	44
Gambar 3.6 Penampang objek target di Jembatan Layang Arjosari .....	47
Gambar 3.7 Penampang objek target di Jembatan Kereta Api Lawang .....	47
Gambar 3.8 Tampilan Awal Australis .....	48

Gambar 3.9 Satuan Ukuran .....	49
Gambar 3.10 Parameter Keluaran Yang Dibutuhkan .....	49
Gambar 3.11 Parameter Kalibrasi kamera .....	50
Gambar 3.12 Memasukan Data Parameter Kamera Ke Projek .....	51
Gambar 3.13 Penamaan Projek .....	51
Gambar 3.14 Memasukan Data Foto .....	52
Gambar 3.15 Ekstraksi Data koordinat Foto .....	53
Gambar 3.16 Relative Orientasi .....	53
Gambar 3.17 Relative Orientasi Array 3D data .....	54
Gambar 3.18 Intersection .....	54
Gambar 3.19 Triangulate 3D data.....	55
Gambar 3.20 Reseksi .....	55
Gambar 3.21 Bundle Adjusment .....	56
Gambar 3.22 Bundle 3D data.....	56
Gambar 3.23 Titik Kontrol Untuk Proses Transformasi.....	57
Gambar 3.24 3D Transformasi .....	58
Gambar 3.25 Tampilan awal <b>Microsoft Excel</b> untuk membuka file koordinat (X,Y,Z).....	59
Gambar 3.26 Membuka file <b>Bundle.xyz</b> pada epok1 .....	59
Gambar 3.27 Pengaturan <b>Original data Type</b> pada <b>Microsoft Excel</b> .....	60
Gambar 3.28 Pengaturan <b>Delimeters</b> pada <b>Microsoft Excel</b> .....	60
Gambar 3.29 File <b>Bundle.xyz</b> yang sudah di buka pada <b>Microsoft Excel</b> .....	61
Gambar 3.30 Membuka file <b>Trans.xyz</b> pada epok2.....	61
Gambar 3.31 File <b>Trans.xyz</b> yang sudah di buka pada <b>Microsoft Excel</b> .....	62



Gambar 3.32 Perhitungan Vektor Pergeseran ( $\bar{D}$ ) pada **Microsoft Excel**..... 62

Gambar 3.33 Membuka file **Q<sub>xx</sub>.txt** pada epok1 ..... 63

Gambar 3.34 File **Q<sub>xx</sub>.txt** yang sudah di buka pada **Microsoft Excel** ..... 64

Gambar 3.35 Matrik kovarian epok1 dan epok2 yang sudah dimasukkan pada tabel perhitungan deformasi di **Microsoft Excel** ..... 64

Gambar 3.36 Perhitungan Varian Dari Vektor D ( $Q_{dd}$ ) di sisi luar tabel perhitungan deformasi pada **Microsoft Excel** ..... 65

Gambar 3.37 Perangkat Lunak Statext v141 untuk pilihan F-Distribution ..... 66

Gambar 3.38 Pengaturan nilai V1 dan V2 dengan tingkat kepercayaan 95% ..... 66

Gambar 3.39 Hasil nilai ambang batas V1 dan V2 dengan tingkat kepercayaan 95% ..... 67

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Penelitian

Bumi bersifat dinamik. Seiring berjalannya waktu, dinamika alam menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan baik pada objek alam maupun pada objek buatan manusia. Dinamika alam ini dapat menyebabkan bencana jika bersinggungan dengan kehidupan manusia, seperti diantaranya banjir, erosi, longsor, kebakaran hutan, letusan gunung api, gempa bumi, angin puyuh, tsunami, amblasnya jalan akibat penurunan tanah, rusaknya rel seiring waktu, berubahnya struktur buatan manusia, dan lain-lain. Kerugian yang paling terasa bagi masyarakat berupa jatuhnya korban, kerusakan materi, properti dan infrastruktur, kehilangan tempat tinggal, juga bisa menyebabkan timbulnya berbagai penyakit. Untuk meminimalkan bencana yang terjadi, salah satu caranya adalah dengan melakukan pemantauan deformasi objek-objek di bumi, baik objek alam maupun objek buatan (*Hanifah, 2007*)

Deformasi objek alam maupun buatan manusia sangat penting untuk diamati dalam upaya pelaksanaan mitigasi bencana untuk keselamatan kelangsungan hidup masyarakat. Analisis deformasi dilakukan dengan analisis geometrik dan interpretasi fisik objek terdeformasi. Analisis geometrik dapat dilakukan dengan mengkuantifikasi besar deformasi yang terjadi dengan menentukan besarnya vektor pergeseran koordinat. Perhitungan deformasi secara geometrik ini untuk beberapa kasus memerlukan pengamatan yang menghasilkan data hingga fraksi milimeter. Hal ini harus ditunjang dengan alat, teknologi, dan

metode yang untuk kasus-kasus tertentu memiliki kemampuan pengambilan data hingga fraksi milimeter (*Hanifah, 2007*).

Pemantauan deformasi banyak dilakukan dengan menggunakan Electronic Distance Measurement (EDM), sipat datar, Global Positioning System (GPS), Interferometry Synthetic Aperture Radar (INSAR), Photogrammetry, serta gabungan dari dua atau lebih metode tersebut.

Untuk itu, penelitian ini mencoba metode alternatif yang relatif murah untuk melakukan pengamatan deformasi, yakni dengan teknologi *Close Range Photogrammetry* (CRP) atau Fotogrametri Rentang Dekat, dengan memanfaatkan kamera digital. Dalam teknik CRP, kualitas proses penentuan koordinat dapat ditingkatkan dengan cara melakukan pembidikan ke objek secara konvergen dari berbagai sudut pandang atau posisi kamera agar diperoleh ukuran lebih. Teknik ini mempunyai kelebihan terutama jika objek yang akan diukur sulit untuk dijangkau dan atau memiliki dimensi yang kecil. Selain itu, kamera-kamera digital populer (non-metrik) umumnya mempunyai harga yang relatif terjangkau (*Hanifah, 2007*).

Pada sekarang ini data hasil dari Fotogrametri sangat diperlukan, Fotogrametri mampu memberikan hasil yang maksimum dalam pengambilan data di lapangan yang mendekati obyek aslinya. Dengan perkembangan zaman dan teknologi terbaru saat ini, untuk memperoleh Image Permukaan dapat dilakukan dengan Fotogrametri yang cara pemrotretan dengan menggunakan kamera yang dapat menghasilkan Foto udara Digital yang berwarna dengan skala yang besar yang hasilnya lebih mendekati obyek aslinya (*Bakosurtanal, 2002*).

Menurut definisi, Fotogrametri adalah sebuah teknik untuk memperoleh informasi mengenai posisi, ukuran dan bentuk dari objek dengan mengukur beberapa foto secara langsung (*Cooper and Robson, 2001*).

Untuk melakukan pengambilan data di lapangan, Kamera DSLR yang akan digunakan harus dikalibrasi terlebih dahulu dengan menggunakan pendekatan parameter. Pendekatan parameter yang dimaksud diatas dapat diperoleh dengan metode *Closed-Form Solution* untuk pemrotretan dengan multifoto konvergen. Pada saat melakukan pemrotretan pada obyek, ada beberapa faktor yang harus diperhatikan yaitu penggunaan blitz pada saat pengambilan gambar, jarak antara kamera dan obyek, panjang fokus yang digunakan dan jarak posisi stiker pada obyek.

Unsur utama dari *resection* dalam fotogrametri yaitu unsur perhitungan yang menghubungkan koordinat foto dan koordinat permukaan tanah (*Thompson, 1996*). Unsur itu berisi 6 parameter yang dicari pada tiap foto, 3 unsur koordinat yang diketahui. Yaitu posisi kamera  $X_0, Y_0, Z_0$  dan 3 unsur koordinat rotasi  $\kappa, \phi, \omega$ . Unsur-unsur ini non-linier dan solusi dari  $X_0, Y_0, Z_0, \kappa, \phi, \omega$  adalah diperoleh dalam *iterative manner* dengan mengasumsikan unsur inisial (pendekatan) (*Shih dan Faig, 1988*).

Reduksi dari nilai 6 parameter hanya 3 parameter yang diketahui.. Persamaan dibangun oleh Church (*Baker, 1960*), dan dapat digunakan untuk analisa pendekatan nilai untuk  $X_0, Y_0, Z_0$  tidak linier dan membutuhkan nilai pendekatan parameter dan ditambah lagi dengan matrik rotasi terhadap titik  $X_0, Y_0, Z_0$  yaitu  $\kappa, \phi, \omega$ .

## 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dari penelitian ini adalah:

- Untuk mengetahui besarnya deformasi pada objek dalam waktu yang berbeda.
- Menguji ketelitian kamera digital SLR Auto-Focus untuk mendeteksi deformasi objek.

Hipotesis yang digunakan dalam penelitian ini adalah deformasi dapat dideteksi menggunakan kamera digital SLR Auto-Focus

## 1.3 Perumusan Penelitian

Untuk mengetahui sejauh mana metode DCRP menggunakan kamera digital SLR non-metrik bisa diaplikasikan dalam kaitannya dengan deformasi, maka perlu dilakukan uji coba mengenai pemanfaatan metode ini untuk pemantauan dan pengukuran deformasi. Hal penting dalam menentukan deformasi secara geometrik adalah penentuan koordinat, mengingat besarnya deformasi secara geometrik dihitung dari perubahan nilai koordinat antar kala. (*Hanifah, 2007*)

Teknik CRP hingga kini telah banyak diaplikasikan untuk pembangunan model 3-dimensi, teknik CRP telah diterapkan untuk pemantauan deformasi dengan menggunakan objek simulasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ini sangat berpotensi untuk diaplikasikan dalam pemantauan deformasi (*Effendi, 2000*).

Jenis kamera yang digunakan, proses kalibrasi kamera, pengukuran titik kontrol, titik target sangat mempengaruhi tingkat ketelitian yang dihasilkan. Dari penelitian yang pernah dilaksanakan, pemotretan dilakukan dengan fokus tertentu

(manual), dan dengan fokus yang tidak berubah dalam satu kali pengamatan atau waktu yang sama. Permasalahan yang hendak diuji adalah sejauh mana penggunaan kamera digital SLR non-metrik autofokus dapat diaplikasikan dalam penentuan posisi untuk keperluan pemantauan deformasi.

#### **1.4 Batasan Masalah**

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

- a. Penentuan Lokasi, yaitu di Jembatan Layang Arjosari dan jembatan Kereta api Lawang.
- b. Pengolahan data foto menggunakan Australis.
- c. Analisis Deformasi.

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 Pengertian Deformasi Secara Umum**

Deformasi diartikan sebagai perubahan bentuk dari sebuah objek dalam dimensi waktu. Deformasi dapat diketahui dengan teknik pengukuran menggunakan ilmu geodetik atau ilmu ukur deformasi. Objek biasa diamati dalam ukur deformasi dapat dibagi dua kategori yaitu deformasi benda atau struktur dan deformasi fisik atau permukaan bumi. Contoh objek yang diamati dengan pengukuran deformasi adalah seperti jembatan, terowong, bendungan dsb. Pada deformasi dalam kategori fisik contohnya adalah fenomena endapan tanah, pergerakan tektonik, perubahan fisik setempat akibat gempa bumi, tsunami dan sebagainya (*Abidin, 2002*).

Analisis deformasi dilakukan dengan tujuan untuk menentukan besarnya pergeseran dan parameter-parameter deformasi. Dalam analisis deformasi, diperlukan data tentang materi yang mengalami deformasi. Data tersebut meliputi status geometrik dan status fisiknya. Status geometrik terdiri atas posisi, bentuk dan dimensi materi, sedangkan status fisik meliputi sifat materi, tegangan yang terjadi pada materi (*internal stress*) dan hubungan antara gaya dan deformasi yang terjadi (*Hanifah, 2007*).

Geodesi berperan dalam melakukan analisis geometrik dengan menggunakan data hasil pengamatan geodetik untuk memperoleh data status geometrik sebagai efek respon suatu materi terhadap gaya deformasi yang bekerja. Analisis geometrik dapat menghasilkan interpretasi secara kualitatif terhadap

benda yang terdeformasi tanpa melibatkan efek-efek penyebab dan sifat-sifat materi. Analisis geometrik yang dilakukan dalam penelitian ini adalah analisis pergeseran (*displacement*). Analisis pergeseran merupakan analisis geometrik yang menunjukkan perubahan posisi suatu materi dengan menggunakan data perbedaan posisi yang didapat dari hasil pengamatan geodetik pada waktu yang berbeda.

Pemantauan deformasi pada umumnya dilakukan dengan membuat suatu jaring kerangka pengukuran yang stabil yang diwujudkan dengan titik yang tersebar di sekitar objek pengukuran. Jaring kerangka dasar pengukuran dalam pemantauan deformasi dapat dibagi menjadi dua, yaitu jaring kerangka dasar absolut dan jaring kerangka dasar relatif.

#### a. Kerangka dasar absolut

Pada kerangka dasar absolut titik ikat yang digunakan sebagai titik-titik referensi terletak di luar objek pengamatan deformasi. Titik-titik referensi tersebut ditetapkan pada lokasi yang dianggap stabil sehingga titik objek dapat ditentukan posisi relatif terhadap titik referensi tersebut.

#### b. Kerangka dasar relatif

Pada kerangka dasar relatif titik-titik referensi dan titik objek yang digunakan terletak di dalam area pengamatan deformasi (*Hanifah, 2007*).

Dalam fotogrametri jenis jaringan yang di gunakan ialah jaringan relatif, dimana titik-titik yang diamati deformasinya atau menentukan pergeserannya terhadap nilai titik referensi pada epok lain, dimana titik referensi tersebut terletak di dalam area pengamatan deformasi tersebut.



## 2.2 Pemahaman analisa deformasi

Analisa deformasi adalah suatu analisis yang mempunyai berbagai macam pemahaman. Pemahaman analisa deformasi dapat di bagi dalam kategori seperti berikut:

1. Berdasarkan jenis analisis, deformasi dapat dikategorikan:
  - a) analisis geometri
  - b) interpretasi fisik
2. Berdasarkan system koordinat yang di gunakan, analisis deformasi dapat dikategorikan:
  - a) 1D – terhadap salahsatu sumbu, dapat terhadap sumbu  $X$ , terhadap sumbu  $Y$ , atau sumbu  $Z$ , yaitu pengamatan terhadap pergeseran pada salahsatu sumbu.
  - b) 2D – terhadap sumbu  $X$  dan  $Y$ , yaitu pengamatan pergeseran pada jarak horizontal
  - c) 3D – terhadap sumbu  $X$ ,  $Y$ , dan  $Z$ , yaitu pengamatan dari semua bidang karena adanya perubahan bentuk.
3. Berdasarkan jenis jaringan yang digunakan (bergantung kepada bentuk deformasi yang berlaku), analisis deformasi dapat dikategorikan:
  - a) jaringan absolut
  - b) jaringan relatif
4. Berdasarkan metode dan peralatan yang digunakan, analisis deformasi dapat dikategorikan:
  - a) Metode geodetik – melibatkan teknik terapan konvensional (jaringan triangulasi); jaringan GPS; fotogrametri dsb.

- b) Gabungan metode geodetik + non-geodetik (geoteknik) –menggunakan peralatan geoteknik seperti strainmeter, extensometer, tiltmeter pendulum dsb (*Abidin, 2002*).

### 2.3 Close Range Photogrammetry

Fotogrametri dapat didefinisikan sebagai suatu seni, pengetahuan dan teknologi untuk memperoleh informasi yang dapat dipercaya tentang suatu obyek fisik dan keadaan di sekitarnya melalui proses perekaman, pengamatan/pengukuran dan interpretasi citra fotografis atau rekaman gambar gelombang elektromagnetik (*Santoso, 2004*). Salah satu karakteristik fotogrametri adalah pengukuran terhadap objek yang dilakukan tanpa perlu berhubungan ataupun bersentuhan secara langsung dengannya. Pengukuran terhadap objek tersebut dilakukan melalui data yang diperoleh pada sistem sensor yang digunakan.

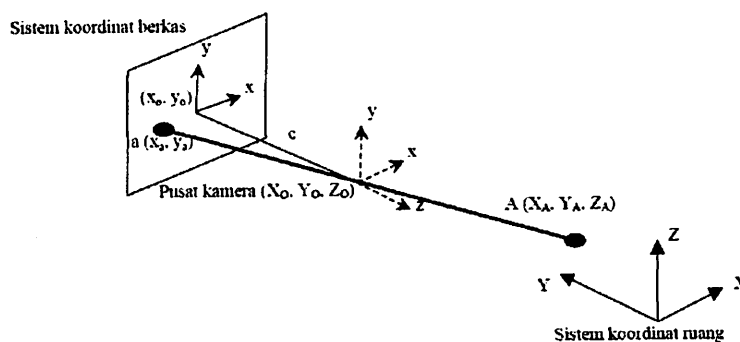
Terminologi *Close Range* atau Rentang Dekat muncul pada saat teknik ini digunakan untuk objek dengan jarak kurang dari 100 meter dari posisi kamera. Pada teknik CRP pengukuran terhadap suatu objek biasanya dilakukan terhadap hasil perekaman dari beberapa alat sensor. Kamera dan prosedur analisis fotogrametri terestris ini dimulai pada akhir abad ke 19 oleh seorang kolonel Perancis, Laussedat (*Atkinson, 1980*). Konsep fundamental fotogrametri tetap sama. Perkembangan pada dunia fotogrametri seiring majunya teknologi kamera dan komputasi meningkatkan efektivitas waktu dan tingkat akurasi (*Leitch, 2002*).

Pada tahun 1976, Torlegard dalam *Leitch (2002)* menyatakan bahwa pendekatan analitik seperti hitung perataan secara digital serta penggunaan kamera non-metrik akan berkembang penggunaannya di dunia industri dan teknik

sipil. Kamera non-metrik bukan didesain untuk keperluan fotogrametri, namun memiliki harga yang jauh lebih murah dan jangkauan pasar yang lebih luas.

## 2.4 Kondisi Kolinearitas

Pada saat sebuah foto diambil, berkas sinar dari objek akan menjalar menyerupai garis lurus menuju pusat lensa kamera hingga mencapai bidang film. Kondisi dimana titik objek pada dunia nyata, titik pusat proyeksi, dan titik obyek pada bidang foto terletak satu garis dalam ruang dinamakan kondisi kegarisan berkas sinar atau kondisi kolinearitas (*collinearity condition*) (Hanifah, 2007). Kondisi ini merupakan syarat fundamental dalam fotogrametri (Gambar 2.1).



Gambar 2.1 Kondisi kolinear atau prinsip kesegarisan (berdasarkan Atkinson, 1996, dan Suwardhi, 2007)

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

Pusat dari sistem koordinat berkas merupakan pusat dari lensa kamera, yang dikenal dengan nama pusat perspektif (*perspective center*). Titik pusat lensa

kamera diketahui, sehingga berkas sinar dari objek yang melewati pusat lensa kamera akan jatuh pada sebuah titik pada bidang foto yang dapat diketahui koordinat fotonya. Perhatikan Gambar 2.1.  $X_0, Y_0, Z_0$  merupakan titik pusat kamera,  $x_a, y_a, -c$  merupakan koordinat sebuah titik A pada system koordinat berkas, dan  $X_A, Y_A, Z_A$  merupakan koordinat titik A pada sistem koordinat tanah, maka persamaan kolineraritas adalah:

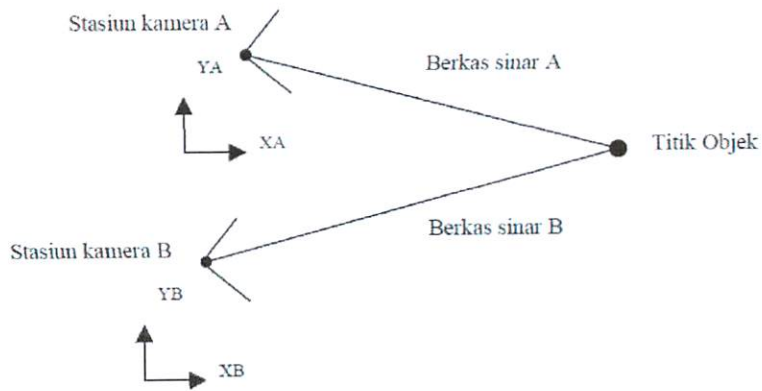
$$\begin{aligned}
 x_a &= -c \left[ \frac{r_{11}(X_0 - X_A) + r_{12}(Y_0 - y_A) + r_{13}(Z_0 - Z_A)}{r_{31}(X_0 - X_A) + r_{32}(Y_0 - y_A) + r_{33}(Z_0 - Z_A)} \right] \\
 y_a &= -c \left[ \frac{r_{21}(X_0 - X_A) + r_{22}(Y_0 - y_A) + r_{23}(Z_0 - Z_A)}{r_{31}(X_0 - X_A) + r_{32}(Y_0 - y_A) + r_{33}(Z_0 - Z_A)} \right] \dots\dots\dots(2.1)
 \end{aligned}$$

Dengan  $c$  merupakan *principal distance*, dan  $r_{ij}$  merupakan elemen dari matriks rotasi. Elemen dari matriks rotasi diberikan pada Persamaan 2.2.

$$R = R_k R_\varphi R_\omega = \begin{bmatrix} \cos\varphi \cos\kappa & \sin\omega \sin\varphi \cos\kappa + \cos\omega \sin\kappa & -\cos\omega \sin\varphi \cos\kappa + \sin\omega \sin\kappa \\ -\cos\varphi \sin\kappa & -\sin\omega \sin\varphi \sin\kappa + \cos\omega \cos\kappa & \cos\omega \sin\varphi \sin\kappa + \sin\omega \cos\kappa \\ \sin\varphi & -\sin\omega \cos\varphi & \cos\omega \cos\varphi \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.2)$$

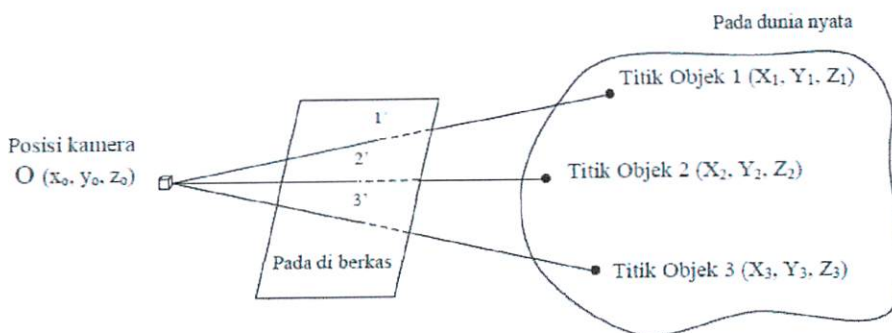
$R_k$  merupakan rotasi terhadap sumbu  $z$ ,  $R_\omega$  adalah rotasi terhadap sumbu  $y$ , sedangkan  $R_\varphi$  rotasi terhadap sumbu  $x$ . Untuk mendapatkan posisi objek pada dunia nyata, maka diperlukan berkas sinar objek yang sama dari foto lainnya (Leitch, 2002). Kedua berkas sinar akan berpotongan pada objek yang sama di dunia nyata. Perpotongan ini dinamakan interseksi spasial (Atkinson, 1996). Jika terdapat titik A di lapangan yang dapat diamati dari 2 foto, maka di setiap foto akan terdapat bayangan titik tersebut. Apabila diketahui posisi kamera dan arah sumbu optiknya maka perpotongan sinar garis dari foto 1 dan foto 2 akan dapat

menentukan posisi koordinat titik P tersebut (Wolf, 1993). Prinsip penentuan posisi dari perpotongan sinar ini dikenal dengan interseksi spasial (Gambar 2.2).



Gambar 2.2 Interseksi spasial (berdasarkan Leitch, 2002)

Untuk dapat menentukan posisi dari titik objek relatif terhadap sistem koordinat kamera, maka lokasi tepat dari pusat perspektif kamera dari setiap foto harus diketahui. Hal ini dilakukan dengan reseksi spasial (Gambar 2.3). Reseksi spasial atau *space resection* merupakan salah satu pemakaian persamaan kolinier. Pada reseksi spasial ini posisi atau koordinat dan orientasi kamera pada saat pemotretan (*exposure*) akan dicari. Untuk melakukan reseksi spasial, tiap foto harus mengandung setidaknya 3 titik yang diketahui koordinatnya sebagai titik kontrol.

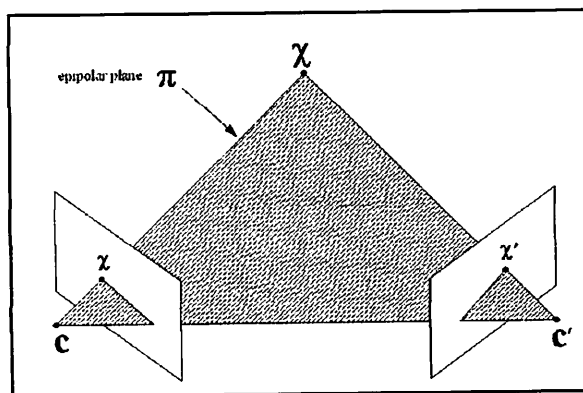


Gambar 2.3 Reseksi spasial

Pada reseksi spasial ini, harus diketahui koordinat (X, Y, Z) titik 1, 2, 3 di tanah, dalam hal ini pada objek, biasanya melalui pengukuran, dan juga diketahui koordinat (x, y, z) titik 1, 2, 3 di foto. Parameter yang dihitung adalah parameter orientasi relatif  $X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \chi$ .

### 2.5 Kondisi Koplanaritas

Kondisi coplanar atau kebersamaan bidang sesuai dengan ilustrasi yang di berikan pada Gambar 2.4, merupakan keadaan dimana dua buah stasiun (Harley, 1992) pemotretan suatu pasang foto stereo, titik objek pada ruang dan titik objek pada foto terletak pada satu bidang yang sama (Ghos, 2005; Mc Glone, 1989).



Gambar 2.4 Kondisi koplanar untuk dua buah foto (Harley, 1992)

Persamaan kondisi koplanar secara umum dapat dituliskan dalam bentuk sebagai berikut (Mikhail et al., 2001) :

$$F = \begin{bmatrix} b_x & b_y & b_z \\ u_1 & v_1 & w_1 \\ u_2 & v_2 & w_2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.3)$$

Atau dapat di tuliskan dalam fungsi determinan sebagai berikut :

$$F = b_x(v_1w_2 - w_1v_2) - b_y(u_1w_2 - w_1u_2) + b_z(u_1v_2 - v_1u_2) \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana tiap parameter yang diketahui pada persamaan diatas didapat dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$b_x = X_{L2} - X_{L1} ; b_y = Y_{L2} - Y_{L1} ; b_z = Z_{L2} - Z_{L1} \dots \dots \dots (2.5)$$

$$u = m_{11}x + m_{21}y - m_{31}f \dots \dots \dots (2.6)$$

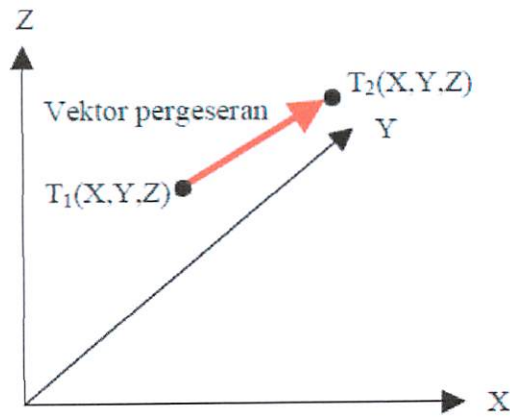
$$v = m_{12}x + m_{22}y - m_{32}f \dots \dots \dots (2.7)$$

$$w = m_{13}x + m_{23}y - m_{33}f \dots \dots \dots (2.8)$$

Didalam persamaan 2.4 – 2.8, tanda 1 dan 2 pada huruf  $u, v$  dan  $w$  menunjukkan pengertian tentang foto ke-1 dan foto ke-2. Notasi  $m_{11}, m_{12}, \dots, m_{33}$  merupakan element dari matrik rotasi dan  $X_L, Y_L, Z_L$  merupakan koordinat posisi kamera yang digunakan untuk menentukan nilai vektor basis  $b_x, b_y, b_z$  .

## 2.6 Pemantauan Deformasi

Pemantauan deformasi dilakukan dengan cara mengamati perubahan koordinat objek sebagai fungsi dari waktu. Besarnya perubahan bagian-bagian pada objek tersebut dinyatakan melalui pengukuran koordinat-koordinatnya secara tiga dimensi. Pemantauan deformasi menggunakan teknik CRP pada prinsipnya tidak berbeda dengan metode geodetik lainnya, yakni dengan melakukan pengamatan terhadap perubahan koordinat titik objek dengan cara melakukan pengukuran pada waktu yang berbeda. Dari setiap pengamatan diperoleh koordinat titik-titik objek sehingga selanjutnya dapat dihitung vektor pergeseran (Gambar 2.5). Cara untuk menghitung pergeseran diberikan pada Persamaan (2.9).



Gambar 2.5 Ilustrasi vektor pergeseran

$$\text{vektor pergeseran} = \sqrt{(X_{T2} - X_{T1})^2 + (Y_{T2} - Y_{T1})^2 + (Z_{T2} - Z_{T1})^2} \dots\dots (2.9)$$

Secara garis besar pengukuran deformasi menggunakan teknik CRP dilakukan dalam beberapa tahapan pekerjaan, yaitu pengadaan titik-titik kontrol, pemotretan, kalibrasi kamera, pengolahan data serta analisis.

## 2.7 Konfigurasi Data Foto

Dalam berbagai jenis pekerjaan fotogrametri, langkah mendesain jaringan merupakan faktor terpenting untuk mendapatkan tingkat akurasi yang tinggi. Hal pokok dalam mendesain konfigurasi pemotretan dalam suatu pekerjaan fotogrametri antara lain jarak maksimum kamera terhadap obyek, diameter target, jumlah dan distribusi dari titik-titik foto, dan sudut pengambilan (Shirkhani dan Saadatseresht, 2006). Jarak maksimum kamera terhadap obyek memiliki pengaruh terhadap diameter target yang digunakan sebagai *premark*, sehingga hubungan tersebut didapat sebuah persamaan untuk mendesain jarak pemotretan :



$$r = (p * fw * dw)/(f * pw) \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana  $f$  merupakan panjang fokus kamera,  $p$  merupakan jumlah piksel minimum target,  $d$  jarak kamera ke obyek,  $r$  adalah diameter target,  $fw$  lebar CDD kamera, dan  $pw$  jumlah horisontal piksel foto.

Untuk penentuan jumlah dan distribusi minimum dari titik-titik foto harus memenuhi persamaan :

$$2mn + 7 \geq 3n + 6m \dots \dots \dots (2.11)$$

Persamaan diatas menjelaskan bahwa total jumlah persamaan yang digunakan untuk menghitung jumlah  $3n + 6m$  parameter adalah  $2mn + 7$ . Dengan kata lain untuk mendapatkan nilai solusi yang unik dalam menyelesaikan sebuah persamaan minimum dibutuhkan 4 titik ( $n$ ) dan 3 buah foto ( $m$ ) atau titik ( $n$ ) dengan 2 buah foto ( $m$ ).

Kisaran besar sudut pengambilan tiap stasiun pemotretan dalam fotogrametri terestrial, berkisar  $90^\circ - 120^\circ$  dengan menambahkan rotasi  $90^\circ$  kekiri dan kekanan untuk tiap stasiun pengambilan data foto.

## 2.8 Perataan Jaringan Pemotretan ( *Bundle Adjustment* )

Proses perhitungan menggunakan hitung perataan memiliki kelebihan karena dapat mengakomodasi jumlah ukuran lebih sehingga ketelitian dapat ditingkatkan : *Least Square Estimation* (LSE) menyediakan suatu metoda sistematis untuk menghitung nilai koordinat dan elemen lain dalam fotogrametri bergantung banyaknya ukuran lebih dari berbagai pengamatan dan bobotnya. Dengan hitung perataan dimungkinkan adanya perhitungan variansi-kovariansi parameter yang sudah memperhitungkan variansi-kovariansi pengamatan. Jika terdapat asumsi awal dari besar variansi pengamatan maka dapat diperoleh

analisis apriori untuk dapat mendesain konfigurasi kamera dan konfigurasi objek untuk menentukan konfigurasi optimum yang memenuhi presisi, reliabilitas dan akurasi. Selain itu dengan hitung perataan terdapat fleksibilitas dimana elemen dapat diperlakukan sebagai parameter atau pengamatan atau nilai konstan.

*Bundle adjustment* adalah proses penentuan atau perhitungan parameter IO, EO dan koordinat obyek secara serempak bersamaan dengan menggunakan teknik hitung kuadrat terkecil (*Brown, 1974; Heindl, 1981; Schut, 1980 and Triggs, McLauchlan, Hartley and Fitzgibbon, 2000*). Dalam dekade sepuluh tahun terakhir teknik ini menjadi cara yang paling efisien untuk memproses data pemotretan seperti yang dilaporkan oleh *Trigs et al. (2000)*. Jika kesalahan sistematis dan defisiensi datum untuk sementara diabaikan, maka dengan metode *Helmert Blocking (Wolf, 1978)*, maka persamaan normalnya dapat dituliskan sebagai :

$$\begin{bmatrix} A_1^T P A_1 & A_1^T P A_2 \\ A_2^T P A_1 & A_2^T P A_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A_1^T P_w \\ A_2^T P_w \end{bmatrix} = 0 \quad \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana P disini adalah matrik bobot dari ketelitian pengukuran koordinat foto dijital :

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} 1/\sigma_x^2 & 0 \\ 0 & 1/\sigma_y^2 \end{bmatrix}_{ij} \quad \dots\dots\dots(2.13)$$

Disini  $\sigma_x$  dan  $\sigma_y$  adalah standard error dari ukuran titik obyek ke-j pada foto ke-i dari total n titik obyek dan m buah foto. Persamaan (2.12) dapat ditulis menurut notasi Brown (*Brown, 1974*) sebagai :

$$\begin{bmatrix} \dot{N}_{ij} & \bar{N}_{ij} \\ \bar{N}_{ij}^T & \dot{N}_{ij} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{C}_i \\ \dot{C}_j \end{bmatrix} = 0 \quad \text{or} \quad N\delta + C = 0 \dots\dots\dots(2.14)$$

Persamaan ini merupakan pengembangan dari persamaan kolinier dan setiap elemen didalamnya didefinisikan sebagai :

$$\begin{aligned} \dot{N}_{ij} &= \sum_{j=1}^n A_{1ij}^T P_{ij} A_{1ij} & : & & \dot{C}_i &= \sum_{j=1}^n A_{1ij}^T P_{ij} w_{ij} \\ \ddot{N}_{ij} &= \sum_{i=1}^m A_{2ij}^T P_{ij} A_{2ij} & : & & \ddot{C}_j &= \sum_{i=1}^m A_{2ij}^T P_{ij} w_{ij} \\ \bar{N}_{ij} &= A_{1ij}^T P_{ij} A_{2ij} & & & & \dots\dots\dots(2.15) \end{aligned}$$

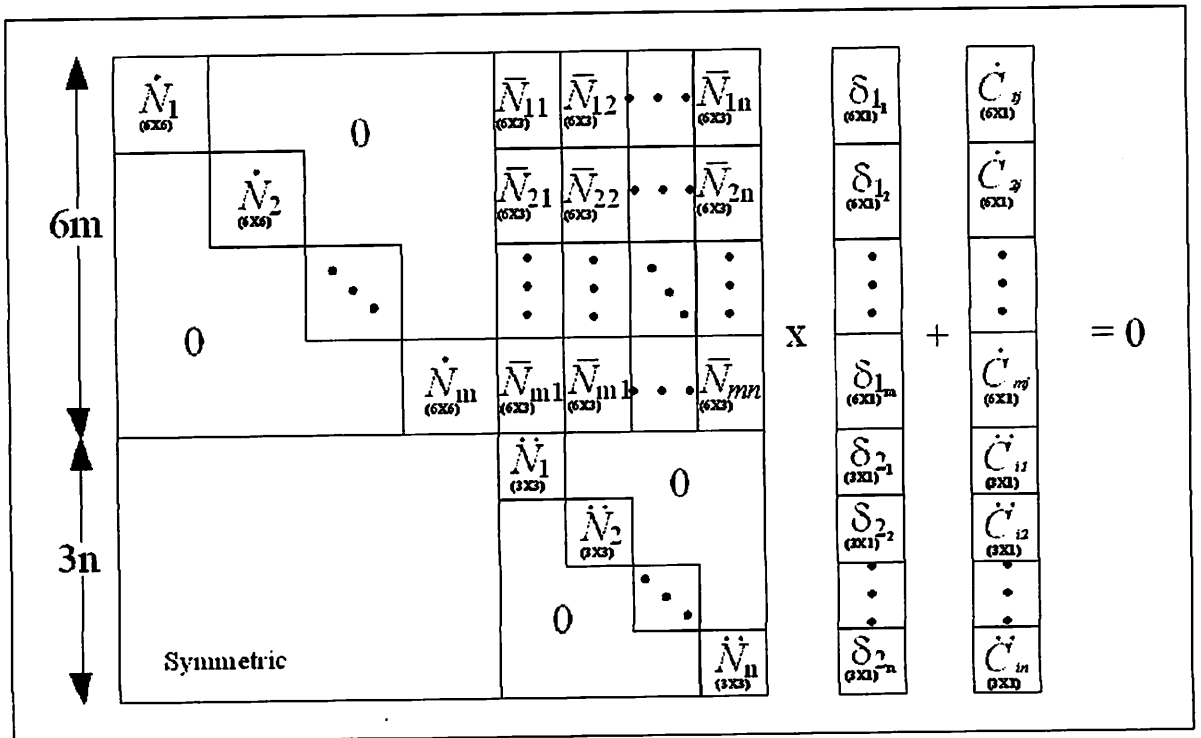
Dimana ' dan '' adalah sub-matrik dari matrik blok-diagonal, dimana blok ' merujuk pada parameter EO and '' mengacu pada koordinat titik-titik obyek seperti yang tersaji pada Persamaan (2.16).

$$N_{(6m+3n)(6m+3n)} = \begin{bmatrix} \dot{N}_{1j} & 0 & \dots & 0 & \bar{N}_{11} & \bar{N}_{12} & \dots & \bar{N}_{1n} \\ \vdots & \dot{N}_{2j} & \dots & 0 & \bar{N}_{21} & \bar{N}_{22} & \dots & \bar{N}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \dot{N}_{mj} & \bar{N}_{m1} & \bar{N}_{m2} & \dots & \bar{N}_{mn} \\ \hline \bar{N}_{11}^T & \bar{N}_{21}^T & \dots & \bar{N}_{m1}^T & \ddot{N}_{i1} & 0 & \dots & 0 \\ \bar{N}_{12}^T & \bar{N}_{22}^T & \dots & \bar{N}_{m2}^T & 0 & \dot{N}_{i2} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{N}_{1n}^T & \bar{N}_{2n}^T & \dots & \bar{N}_{mn}^T & 0 & 0 & \dots & \dot{N}_{in} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dimana :

$$\underset{(6m+3n).1}{\delta} = \begin{bmatrix} \delta_{1_1} \\ \delta_{1_2} \\ \vdots \\ \delta_{1_m} \\ \delta_{2_1} \\ \delta_{2_2} \\ \vdots \\ \delta_{2_n} \end{bmatrix} ; \quad \underset{(6m+3n).1}{C} = \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^n \dot{C}_{1j} \\ \sum_{j=1}^n \dot{C}_{2j} \\ \vdots \\ \sum_{j=1}^n \dot{C}_{mj} \\ \sum_{i=1}^m \ddot{C}_{i1} \\ \sum_{i=1}^m \ddot{C}_{i2} \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^m \ddot{C}_{in} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.17)$$

Struktur persamaan normal bundle adjustment juga dapat disusun seperti pada Gambar (2.6) sebagai berikut :



Gambar 2.6 Struktur Persamaan Normal

Persamaan (2.16) adalah teknik Bundle adjustment untuk mendapatkan nilai parameter EO dan koordinat titik obyek didalam sistem kartesian 3D. Jika titik-titik obyek ini hendak dihitng dengan tingkat kekurasian yang lebih tinggi lagi, maka maka kesalahan sistematis didalam kamera harus dimodelkan.

### 2.8.1 Penyelesaian Persamaan Normal Bundle Adjustment

Untuk menyelesaikan persamaan normal di atas dapat di selesaikan sebagai berikut (*Fraser, 1997*) :

$$\begin{bmatrix} \delta_1 \\ \delta_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1^T P A_1 & A_1^T P A_2 \\ A_2^T P A_1 & A_2^T P A_2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} A_1^T P_w \\ A_2^T P_w \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.18)$$

Penyelesaian dari teknik bundle adjustment bertujuan untuk mendapatkan nilai parameter EO (eksterior orientasi) dan koordinat titik objek didalam system kartesian 3D. Parameter orientasi luar (EO) yang terkoreksi dihitung menggunakan persamaan:

$$o = o^0 + \delta_1 \dots\dots\dots(2.19)$$

Koordinat titik objek yang terkoreksi dihitung menggunakan menggunakan persamaan berikut:

$$X = X^0 + \delta_2 \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana  $o^0$  dan  $X^0$  merupakan nilai pendekatan awal.  $O$  dan  $X$  merupakan nilai terkoreksi dari masing-masing parameter.

2.8.2 Efisiensi Algoritma Perhitungan

Dari persamaan normal seeperti Gambar 2.6 dapat dibagi dua persamaan matrik sebagai berikut (*Wong, 1980*) :

$$\dot{N}\delta_1 + \bar{N}\delta_2 = \dot{C} \dots\dots\dots(2.21)$$

$$\bar{N}^T \delta_1 + \ddot{N}\delta_2 = \ddot{C} \dots\dots\dots(2.22)$$

Penyelasain untuk  $\delta_2$  dalam Persamaan (2.22) dapat menghasilkan persamaan berikut (*Wong, 1980*):

$$\delta_2 = \ddot{N}^{-1}(\ddot{C} - \bar{N}^T \delta_1) \dots\dots\dots(2.23)$$

Subtitusikan Persamaan (2.23) ke dalam Persamaan (2.21) sehingga diperoleh persamaan baru sebagai berikut (*Wong, 1980*) :

$$(\dot{N} - \bar{N}\ddot{N}^{-1}\bar{N}^T)\delta_1 = (\dot{C} - \bar{N}\ddot{N}^{-1}\ddot{C}) \dots\dots\dots(2.24)$$

Selanjutnya dari proses subtitusi tersebut, maka Persamaan (2.24) secara sederhana dapat di bentuk sebagai berikut (*Wong, 1980*) :

$$\begin{matrix} S & \delta_1 \\ (6m, 6m) & (6M, 1) \end{matrix} = \begin{matrix} E \\ (6m, 1) \end{matrix} \dots\dots\dots(2.25)$$

dimana :

$$S = \sum_{j=1}^n [\dot{N}_j - \bar{N}_j(\ddot{N}_j + \ddot{P}_j)^{-1}\bar{N}_j^T] + \dot{P}_i \dots\dots\dots(2.26)$$

dan

$$E = \sum_{j=1}^n [\dot{C}_j - \bar{N}_j(\ddot{N}_j + \ddot{P}_j)^{-1}(\ddot{C}_j - \ddot{P}_j)] - \dot{P} \dots\dots\dots(2.27)$$

Setelah diperoleh nilai  $\delta_1$  (koreksi parameter eksterior luar kamera), maka menggunakan Persamaan (2.23) untuk setiap titik objek akan dihitung  $\delta_2$  (koreksi titik objek), dengan persamaan sebagai berikut (*Wong, 1980*) :

$$\delta_{1j} = (\ddot{N}_j + \ddot{P}_j)^{-1}(\ddot{C}_j - \ddot{P}_j) - Q_j \delta_1 \dots \dots \dots (2.28)$$

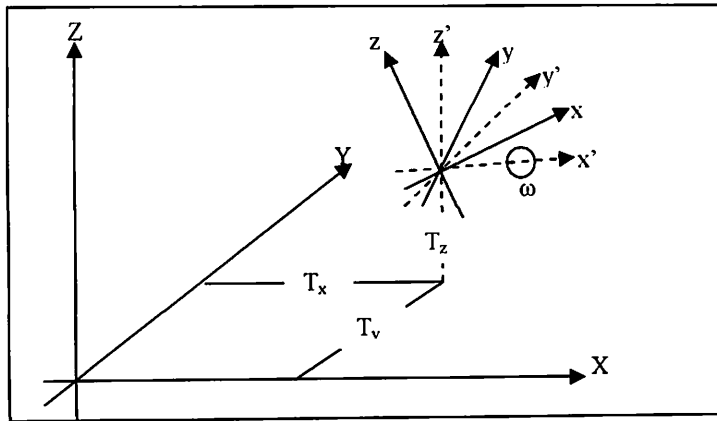
Untuk  $j = 1$  sampai ke- $n$  ( $n$  merupakan banyaknya titik objek), dimana persamaan  $Q_j$  sebagai berikut (*Wong, 1980*) :

$$Q_j = (\ddot{N}_j + \ddot{P}_j)^{-1} \bar{N}_j^T \dots \dots \dots (2.29)$$

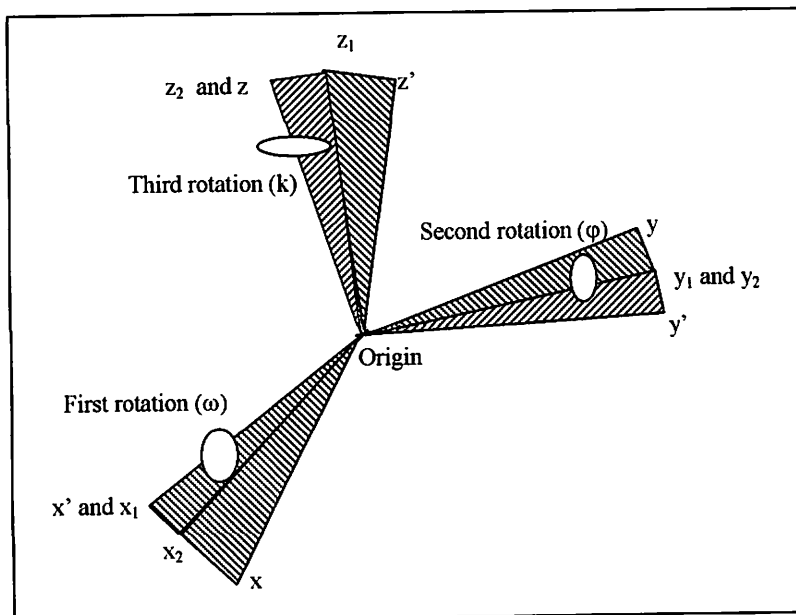
### 2.9 Absolute Orientasi / Transformasi Koordinat 3D

Absolut orientasi merupakan proses dalam ilmu fotogrametri untuk menentukan nilai skala dan elemen orientasi dari model geometri. Terdapat 7 parameter yang dicari yaitu: faktor *skala* ( $s$ ), tiga sudut rotasi omega ( $\omega$ ), *phi* ( $\varphi$ ), *kappa* ( $\kappa$ ), dan tiga faktor translasi ( $T_x, T_y, T_z$ ). Untuk melakukan proses absolut orientasi minimal diperlukan 3 koordinat 3D titik kontrol, tetapi agar diperoleh parameter unknown lebih baik nilainya maka dalam metode penyelesaian least square diperlukan koordinat titik objek lebih dari minimal data koordinat titik objek yang diperlukan.

Parameter absolut orientasi unknown akan diperoleh nilainya dengan menghubungkan system koordinat titik-titik kontrol ke dalam sistem koordinat lainnya.. Hubungan antara perputaran sudut rotasi dan sistem koordinat 3D XYZ, dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.7 Sistem koordinat 3D XYZ dan xyz arah kanan



Gambar 2.8. Sudut rotasi pada sistem koordinat xyz

Nilai koordinat XYZ akan bernilai positif jika posisinya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7, dan untuk nilai sudut rotasi  $\omega$ ,  $\varphi$ ,  $\kappa$  akan bernilai positif jika arah perputarannya berlawanan dengan arah jarum jam yang diamati dari ujung sumbu positif, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.

Penyelesaian untuk persamaan transformasi koordinat 3D dapat dilakukan dengan dua tahap dasar, yaitu:

1. Rotasi
2. Penskalaan dan Translasi

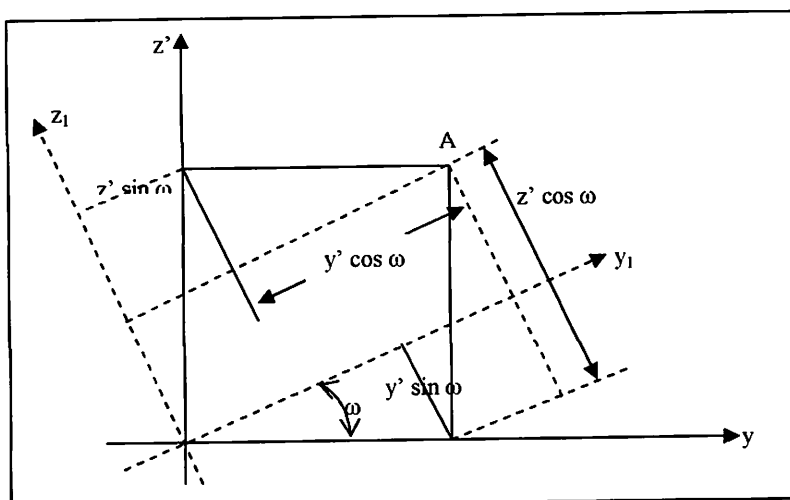


### 2.9.1 Tahapan 1 : Rotasi

Pada Gambar (2.7) sistem  $x', y', z'$  sejajar dengan sistem objek  $XYZ$  dengan sistem sumbu salib  $xyz$ . Didalam mengembangkan formula rotasi, biasanya dipertimbangkan bahwa tiga rotasi dapat diperoleh dengan dilakukan konversi dari sistem  $x', y', z'$  ke sistem  $xyz$ . Persamaan rotasi dikembangkan di dalam suatu rangkaian tiga rotasi 2D yang bebas. Rotasi ini dilukiskan pada Gambar (2.8) yang pertama, sudut rotasi  $\omega$  pada sumbu  $x'$  yang merubah sistem koordinat  $x', y', z'$  ke sistem  $x_1 y_1 z_1$ ; kedua, sudut rotasi  $\phi$  berputar sekali pada sumbu  $y_1$  yang merubah sistem koordinat  $x_1 y_1 z_1$  ke sistem  $x_2 y_2 z_2$ ; ketiga, sudut rotasi  $\kappa$  berputar dua kali pada sumbu yang merubah  $z_2$  yang merubah sistem koordinat  $x_2 y_2 z_2$  ke sistem  $xyz$  pada Gambar (2.7). Jumlah dan arah yang tepat bagi tiap transformasi koordinat 3D akan bergantung pada hubungan antara arah sistem koordinat  $xyz$  dan  $XYZ$ .

Pengembangan formula rotasi sebagai berikut :

- a) Koordinat sembarang titik  $A$  diputar sekali pada sistem  $x_1 y_1 z_1$ , seperti yang disajikan pada Gambar (2.9) yaitu:



Gambar 2. 9. Sudut rotasi  $\omega$  pada sumbu putar  $x'$

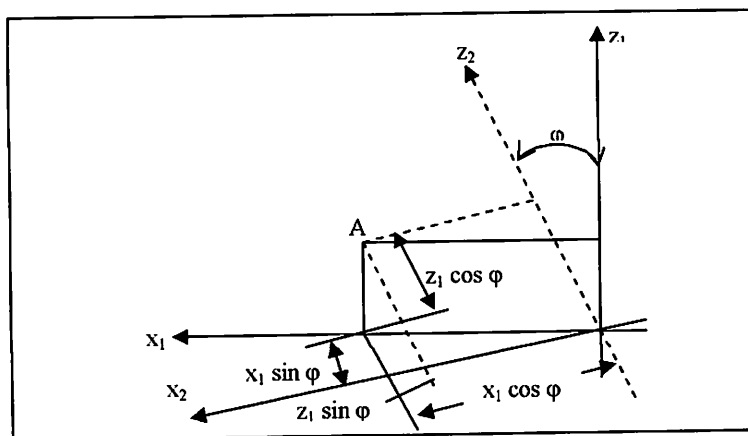
$$x_1 = x'$$

$$y_1 = y' \cos \omega + z' \sin \omega \dots \dots \dots (2.30)$$

$$z_1 = -y' \sin \omega + z' \cos \omega$$

Rotasi ini bersumbu pada  $x'$ , oleh karena sumbu  $x'$  dan  $x_1$  berimpit maka koordinat  $x$  dari titik  $A$  tidak berubah.

b) Koordinat sembarang titik  $A$  diputar dua kali pada sistem koordinat  $x_2 y_2 z_2$ , seperti yang disajikan pada Gambar (2.10) yaitu :



Gambar 2.10. Sudut rotasi  $\phi$  pada sumbu putar  $y_1$

$$x_2 = -z_1 \sin \phi + x_1 \cos \phi$$

$$y_2 = y_1 \dots \dots \dots (2.31)$$

$$z_2 = z_1 \cos \phi + x_1 \sin \phi$$

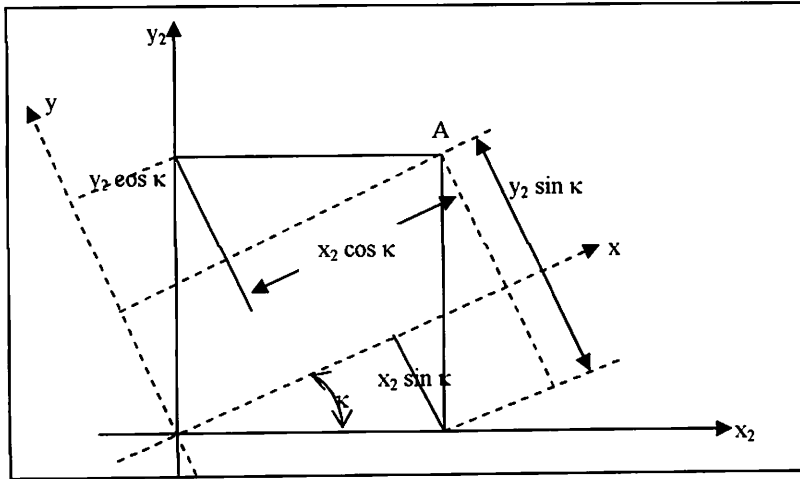
Rotasi ini bersumbu pada  $y_1$ , oleh karena sumbu  $y_1$  dan  $y_2$  berimpit maka koordinat  $y$  dari titik  $A$  tidak berubah.

$$x_2 = -(-y' \sin \omega + z' \cos \omega) \sin \phi + x' \cos \phi$$

$$y_2 = y' \cos \omega + z' \sin \omega \dots \dots \dots (2.32)$$

$$z_2 = (-y' \sin \omega + z' \cos \omega) \cos \phi + x_1 \sin \phi$$

c) Koordinat sembarang titik *A* diputar tiga kali pada sistem koordinat *xyz*, seperti yang disajikan pada Gambar (2.11) yaitu :



Gambar 2.11. Sudut rotasi  $\kappa$  pada sumbu  $z_2$

$$x = x_2 \cos \kappa + y_2 \sin \kappa$$

$$y = -x_2 \sin \kappa + y_2 \cos \kappa \dots \dots \dots (2.33)$$

$$z = z_2$$

Rotasi ini bersumbu pada  $z_2$ , oleh karena sumbu  $z_2$  dan  $z$  berimpit maka koordinat  $z$  dari titik *A* tidak berubah. Dengan jalan substitusi persamaan diperoleh :

$$x = [(y' \sin \omega - z' \cos \omega) \sin \varphi + x' \cos \varphi] \cos \kappa + (y' \cos \omega + z' \sin \omega) \sin \kappa$$

$$y = [(-y' \sin \omega + z' \cos \omega) \sin \varphi - x' \cos \varphi] \sin \kappa + (y' \cos \omega + z' \sin \omega) \cos \kappa$$

$$z = (-y' \sin \omega + z' \cos \omega) \cos \varphi + x' \sin \varphi \dots \dots \dots (2.34)$$

Dengan melakukan perkalian pada persamaan diatas maka :

$$x = x'(\cos \varphi \cos \kappa) + y'(\sin \omega \sin \varphi \cos \kappa + \cos \omega \sin \kappa) + z'(-\cos \omega \sin \varphi \cos \kappa + \sin \omega \sin \kappa)$$

$$y = x'(-\cos \varphi \sin \kappa) + y'(-\sin \omega \sin \varphi \sin \kappa + \cos \omega \cos \kappa) + z'(\cos \omega \sin \varphi \sin \kappa + \sin \omega \cos \kappa)$$

$$z = x'(\sin \varphi) + y'(-\sin \omega \cos \varphi) + z'(\cos \omega \cos \varphi) \dots \dots \dots (2.35)$$

Dengan substitusi  $m$  untuk koefisien  $x'$ ,  $y'$  dan  $z'$  pada persamaan diatas, maka persamaan ini menjadi :

$$\begin{aligned} x &= m_{11}x' + m_{12}y' + m_{13}z' \\ y &= m_{21}x' + m_{22}y' + m_{23}z' \dots\dots\dots(2.36) \\ z &= m_{31}x' + m_{32}y' + m_{33}z' \end{aligned}$$

Persamaan di bawah dapat dinyatakan menjadi (*Wolf, 2000*):

$$X = MX' \dots\dots\dots(2.37)$$

Dimana :

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

Matriks  $M$  biasanya disebut dengan matriks rotasi. Dimana untuk parameter rotasi dapat dilihat pada pembahasan sebelumnya (relatif orientasi).

Dengan menggunakan persamaan tersebut dapat ditulis kembali untuk menyatakan koordinat  $x' y' z'$  sesuai koordinat  $xyz$  sebagai berikut (*Wolf, 2000*):

$$X' = M \dots\dots\dots(2.38)$$

Didalam bentuk yang diperluas, persamaan ini menjadi :

$$\begin{aligned} x' &= m_{11}x + m_{12}y + m_{13}z \\ y' &= m_{21}x + m_{22}y + m_{23}z \dots\dots\dots(2.39) \\ z' &= m_{31}x + m_{32}y + m_{33}z \end{aligned}$$

### 2.9.2 Tahapan 2 : Skala Dan Translasi

Untuk sampai pada akhir persamaan transformasi koordinat 3D, misalnya : persamaan yang membuahkan koordinat didalam sistem  $XYZ$ , seperti pada Gambar (2.7) perlu dikalikan dengan faktor skala  $s$  dan menambahkan faktor penterjemahan  $T_x$ ,  $T_y$  dan  $T_z$ . Tahapan ini menyebabkan panjang tiap garis sama

besar pada kedua sistem koordinat dan translasi dari sumbu salib  $x' y' z'$  ke sistem sumbu salib  $XYZ$ . Pelaksanaan langkah ini (Wolf, 2000):

$$\begin{aligned} X &= sx' + T_x = s(m_{11}x + m_{12}y + m_{13}z) + T_x \\ Y &= sy' + T_y = s(m_{21}x + m_{22}y + m_{23}z) + T_y \dots \dots \dots (2.40) \\ Z &= sz' + T_z = s(m_{31}x + m_{32}y + m_{33}z) + T_z \end{aligned}$$

Didalam bentuk matriks, persamaan menjadi :

$$\bar{X} = sM^T X + T \dots \dots \dots (2.41)$$

Didalam persamaan, matriks  $M$  dan  $X$  telah didefinisikan didepan,  $s$  merupakan faktor skala, dan:

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad \text{dan} \quad T = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix}$$

Didalam persamaan terdapat sembilan  $m$  tidak bebas terhadap yang lain, seperti yang terlihat pada persamaan ,  $m$  merupakan fungsi tiga sudut rotasi  $\omega$ ,  $\phi$ ,  $\kappa$ . Sebagai tambahan terhadap tiga sudut rotasi, faktor translasi dan satu faktor skala yang tidak diketahui didalam persamaan yang keseluruhannya menjadi 7 parameter unknown.

Suatu penyelesaian yang unik akan diperoleh untuk parameter unknown jika diketahui koordinat  $x$  dan  $y$  dua titik mendatar dan koordinat  $XYZ$  diketahui, juga kedua sistem koordinat. Minimal diperlukan 7 koordinat, sehingga diperoleh persamaan pengulangan yang memungkinkan perbaikan penyelesaian dengan cara least square.

Metode *deret taylor* memerlukan pendekatan para meter untuk mendapatkan 7 parameter unknown. Misalkan ada 3 titik  $P, Q, R$  yang koordinatnya diketahui

pada kedua sisitem. Sehingga persamaannya dapat ditulis, sebagai berikut (Wolf, 2000):

- (1)  $X_P = s(m_{11}x_P + m_{21}y_P + m_{31}z_P) + T_x$
- (2)  $Y_P = s(m_{12}x_P + m_{22}y_P + m_{32}z_P) + T_y$
- (3)  $Z_P = s(m_{13}x_P + m_{23}y_P + m_{33}z_P) + T_z$
- (4)  $X_Q = s(m_{11}x_Q + m_{21}y_Q + m_{31}z_Q) + T_x$
- (5)  $Y_Q = s(m_{12}x_Q + m_{22}y_Q + m_{32}z_Q) + T_y$ .....(2.42)
- (6)  $Z_Q = s(m_{13}x_Q + m_{23}y_Q + m_{33}z_Q) + T_z$
- (7)  $X_R = s(m_{11}x_R + m_{21}y_R + m_{31}z_R) + T_x$
- (8)  $Y_R = s(m_{12}x_R + m_{22}y_R + m_{32}z_R) + T_y$
- (9)  $Z_R = s(m_{13}x_R + m_{23}y_R + m_{33}z_R) + T_z$

Persamaan (2.42) merupakan persamaan non linier yang mengandung 7 parameter unknown  $s, \omega, \varphi, \kappa, T_x, T_y,$  dan  $T_z$ . untuk menyelesaikan persamaan ini, dirubah menjadi bentuk linier dengan metode *Teorema Taylor*.

Bentuk linier dari Persamaan (2.42) untuk titik P adalah (Wolf, 2000) :

$$\begin{aligned}
 X_P &= (X_P)_0 \left( \frac{\delta X_P}{\delta s} \right)_0 ds + \left( \frac{\delta X_P}{\delta \omega} \right)_0 \delta \omega + \left( \frac{\delta X_P}{\delta \varphi} \right)_0 \delta \varphi + \left( \frac{\delta X_P}{\delta \kappa} \right)_0 \delta \kappa + \left( \frac{\delta X_P}{\delta T_x} \right)_0 \delta T_x + \\
 &\left( \frac{\delta X_P}{\delta T_y} \right)_0 \delta T_y + \left( \frac{\delta X_P}{\delta T_z} \right)_0 \delta T_z \\
 Y_P &= (Y_P)_0 \left( \frac{\delta Y_P}{\delta s} \right)_0 ds + \left( \frac{\delta Y_P}{\delta \omega} \right)_0 \delta \omega + \left( \frac{\delta Y_P}{\delta \varphi} \right)_0 \delta \varphi + \left( \frac{\delta Y_P}{\delta \kappa} \right)_0 \delta \kappa + \left( \frac{\delta Y_P}{\delta T_x} \right)_0 \delta T_x + \\
 &\left( \frac{\delta Y_P}{\delta T_y} \right)_0 \delta T_y + \left( \frac{\delta Y_P}{\delta T_z} \right)_0 \delta T_z \\
 Z_P &= (Z_P)_0 \left( \frac{\delta Z_P}{\delta s} \right)_0 ds + \left( \frac{\delta Z_P}{\delta \omega} \right)_0 \delta \omega + \left( \frac{\delta Z_P}{\delta \varphi} \right)_0 \delta \varphi + \left( \frac{\delta Z_P}{\delta \kappa} \right)_0 \delta \kappa + \left( \frac{\delta Z_P}{\delta T_x} \right)_0 \delta T_x + \\
 &\left( \frac{\delta Z_P}{\delta T_y} \right)_0 \delta T_y + \left( \frac{\delta Z_P}{\delta T_z} \right)_0 \delta T_z \dots\dots\dots(2.43)
 \end{aligned}$$

Dengan substitusi huruf untuk koefisien ubahan, Sembilan persamaan linier dalam bentuk Persamaan (2.43) semuanya diberikan menjadi (Wolf, 2000):

$$\begin{aligned}
 a_{11}ds + a_{12}d\omega + a_{13}d\varphi + a_{14}dk + a_{15}dT_X + a_{16}dT_Y + a_{17}dT_Z &= [X_P - (X_P)_0] + v_{XP} \\
 a_{21}ds + a_{22}d\omega + a_{23}d\varphi + a_{24}dk + a_{25}dT_X + a_{26}dT_Y + a_{27}dT_Z &= [Y_P - (Y_P)_0] + v_{YP} \\
 a_{31}ds + a_{32}d\omega + a_{33}d\varphi + a_{34}dk + a_{35}dT_X + a_{36}dT_Y + a_{37}dT_Z &= [Z_P - (Z_P)_0] + v_{ZP} \dots \dots (2.44)
 \end{aligned}$$

Dimana nilai koefisien  $\alpha$  untuk pendekatan parameter dievaluasi dengan menggunakan formula dibawah ini:

$$\begin{aligned}
 a_{11} &= m_{11}x_P + m_{21}y_P + m_{31}z_P \\
 a_{12} &= 0 \\
 a_{13} &= [(-\sin \varphi \cos \kappa)x_P + (\sin \varphi \sin \kappa)y_P + (\cos \varphi)z_P]s \\
 a_{14} &= (m_{21}x_P - m_{11}y_P)s \\
 a_{15} &= a_{26} = a_{37} = 1 \\
 a_{16} &= a_{17} = a_{25} = a_{27} = a_{35} = a_{36} = 0 \\
 a_{21} &= m_{12}x_P + m_{22}y_P + m_{32}z_P \\
 a_{22} &= (-m_{13}x_P - m_{23}y_P - m_{33}z_P)s \\
 a_{23} &= [(\sin \omega \cos \varphi \cos \kappa)x_P + (-\sin \omega \cos \varphi \sin \kappa)y_P + (\sin \omega \sin \varphi)z_P]s \\
 a_{24} &= (m_{22}x_P - m_{12}y_P)s \dots \dots \dots (2.45) \\
 a_{31} &= m_{13}x_P + m_{23}y_P + m_{33}z_P \\
 a_{32} &= (m_{12}x_P + m_{22}y_P + m_{32}z_P)s \\
 a_{33} &= [(-\cos \omega \cos \varphi \cos \kappa)x_P + (\cos \omega \cos \varphi \sin \kappa)y_P + (-\cos \omega \sin \varphi)z_P]s \\
 a_{34} &= (m_{23}x_P - m_{13}y_P)s
 \end{aligned}$$

Bentuk persamaan matriks linierisasi adalah (Wolf, 2000):

$$X = (A^T A)^{-1} (A^T L) \dots \dots \dots (2.46)$$

Dimana bentuk matriks  $A.L$  dan  $V$ , menjadi:

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & 1 & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & 0 & 1 & 0 \\ a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & 0 & 0 & 1 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & 1 & 0 & 0 \\ a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & 0 & 1 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & 0 & 0 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 1 & 0 & 0 \\ a_n & a_n & a_n & a_n & 0 & 1 & 0 \\ a_n & a_n & a_n & a_n & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad L = \begin{bmatrix} X_1 - (X_1)_0 \\ Y_1 - (Y_1)_0 \\ Z_1 - (Z_1)_0 \\ X_2 - (X_2)_0 \\ Y_2 - (Y_2)_0 \\ Z_2 - (Z_2)_0 \\ \vdots \\ X_n - (X_n)_0 \\ Y_n - (Y_n)_0 \\ Z_n - (Z_n)_0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.47)$$

$$X = \begin{bmatrix} ds \\ d\omega \\ d\varphi \\ d\kappa \\ dT_x \\ dT_y \\ dT_z \end{bmatrix} \quad V = \begin{bmatrix} Vx_1 \\ Vy_1 \\ Vz_1 \\ Vx_2 \\ Vy_2 \\ Vz_2 \\ \vdots \\ Vx_n \\ Vy_n \\ Vz_n \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.48)$$

Dimana matriks X adalah matriks koreksi faktor skala (s), tiga sudut rotasi *omega* ( $\omega$ ), *phi* ( $\varphi$ ), *kappa* ( $\kappa$ ), dan tiga faktor translasi  $T_x$ ,  $T_y$  dan  $T_z$  yang belum diketahui, matriks L adalah matriks observasi dan matriks V adalah matrik residu.

Setelah ditemukan nilai koreksi dari matrik X yang merupakan nilai dari parameter transformasi koordinat 3D kemudian dilakukan perhitungan nilai faktor skala (s), tiga sudut rotasi *omega*( $\omega$ ), *phi*( $\varphi$ ), *kappa*( $\kappa$ ), dan tiga faktor translasi  $T_x$ ,  $T_y$  dan  $T_z$  dengan menambahkan koreksinya dengan nilai matrik X.



## 2.10 Analisis Deformasi

Analisis deformasi dilakukan dengan tujuan untuk menentukan besarnya pergeseran dan parameter-parameter deformasi. Dalam analisis deformasi, diperlukan data tentang materi yang mengalami deformasi. Data tersebut meliputi status geometrik dan status fisiknya. Status geometrik terdiri atas posisi, bentuk dan dimensi materi, sedangkan status fisik meliputi sifat materi, tegangan yang terjadi pada materi (*internal stress*) dan hubungan antara gaya dan deformasi yang terjadi.

Analisis Deformasi ada dua macam di antaranya :

- Analisis Geometrik :

Analisis geometrik dapat menghasilkan interpretasi secara kualitatif terhadap benda yang terdeformasi tanpa melibatkan efek-efek penyebab dan sifat-sifat materi. Analisis geometrik adalah analisis pergeseran (*displacement*). Analisis pergeseran merupakan analisis geometrik yang menunjukkan perubahan posisi suatu materi dengan menggunakan data perbedaan posisi yang didapat dari hasil pengamatan geodetik pada waktu yang berbeda.

- Analisis Fisis :

Bila kita bermaksud untuk menentukan status fisis dari benda yang terdeformasi, regangan, dan hubungan antara gaya dengan deformasi yang terjadi.

Dalam analisis fisis deformasi, hubungan antara gaya dan deformasi dapat dimodelkan dengan menggunakan **metoda empiris (statistik)**, yaitu melalui korelasi antara pengamatan deformasi dan pengamatan gaya. Metoda lain dalam analisis fisis yaitu metoda **deterministik**, yang memanfaatkan informasi dari

gaya, jenis material dari benda, dan hubungan fisis antara regangan (*strain*) dan tegangan (*stress*) pada benda.

### 2.10.1 Analisa Pergeseran

Dalam Penentuan vektor pergeseran ( $\bar{D}$ ), parameter yang di perlukan yaitu  $XYZ_{epok 1}$  dan  $XYZ_{epok 2}$ , dengan persamaan :

$$\bar{D} = \sqrt{(X_{T2} - X_{T1})^2 + (Y_{T2} - Y_{T1})^2 + (Z_{T2} - Z_{T1})^2}$$

(terdapat pada Persamaan (2.9)).

Sebagai ukuran ketelitian, digunakan besaran varian. Apabila posisi titik control dinyatakan dalam system koordinat 3 Dimensi  $X, Y$ , dan  $Z$ , dan  $\bar{D}$  vektor yang di tentukan, maka menurut kaidah perambatan varian kovarian dapatlah di hitung varian dari  $\bar{D}$  ( $Q_{\bar{d}\bar{d}}$ ) dengan persamaan:

$$Q_{\bar{d}\bar{d}} = J \Sigma_{xx} J^T \dots\dots\dots(2.49)$$

$\Sigma_{xx}$  = matrik kovarian dari besaran  $XYZ$

$$\Sigma_{XX} = \left[ \begin{array}{ccc|ccc} Q_{xx2} & Q_{xy2} & Q_{xz2} & 0 & 0 & 0 \\ Q_{yx2} & Q_{yy2} & Q_{yz2} & 0 & 0 & 0 \\ Q_{zx2} & Q_{zy2} & Q_{zz2} & 0 & 0 & 0 \\ \hline 0 & 0 & 0 & Q_{xx1} & Q_{xy1} & Q_{xz1} \\ 0 & 0 & 0 & Q_{yx1} & Q_{yy1} & Q_{yz1} \\ 0 & 0 & 0 & Q_{zx1} & Q_{zy1} & Q_{zz1} \end{array} \right] \dots\dots\dots(2.50)$$

$J$  = Desain matrik jakobian

Dimana  $J$  adalah matrik dari turunan parsial. Penyelesain matrik  $J$ :

$$f_1 : d_x = X_2 - X_1$$

$$f_2 : d_y = Y_2 - Y_1$$

$$f_3 : d_z = Z_2 - Z_1$$

$$\partial_x = \begin{bmatrix} \partial_{x_2} \\ \partial_{y_2} \\ \partial_{z_2} \\ \partial_{x_1} \\ \partial_{y_1} \\ \partial_{z_1} \end{bmatrix}$$

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \frac{\partial f_1}{\partial y_2} & \frac{\partial f_1}{\partial z_2} & \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial y_1} & \frac{\partial f_1}{\partial z_1} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \frac{\partial f_2}{\partial y_2} & \frac{\partial f_2}{\partial z_2} & \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial y_1} & \frac{\partial f_2}{\partial z_1} \\ \frac{\partial f_3}{\partial x_2} & \frac{\partial f_3}{\partial y_2} & \frac{\partial f_3}{\partial z_2} & \frac{\partial f_3}{\partial x_1} & \frac{\partial f_3}{\partial y_1} & \frac{\partial f_3}{\partial z_1} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.51)$$

$$J = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

untuk menentukan ketelitian vektor pergeseran ( $\sigma\bar{D}$ ) :

$$\sigma\bar{D} = TRACE Q_{dd}$$

Dari penyelesaian persamaan di atas dapat ditentukan jika,

$$\sigma\bar{D} < \bar{D} = \text{Benar adanya pergeseran}$$

$$\sigma\bar{D} > \bar{D} = \text{Dapat di perkirakan akibat getaran atau hal lainnya}$$

### 2.10.2 Ellips Kesalahan

Salah satu parameter yang kerap digunakan untuk menilai kualitas koordinat relatif yang diperoleh dari proses pengolahan data fotogrametri adalah ukuran dari ellips kesalahan relatifnya. Ellips kesalahan relatif ini secara statistik memberikan daerah kepercayaan (*confidence region*) dari koordinat horizontal suatu titik relatif terhadap titik yang lainnya. Ellips kesalahan relatif ini kadangkala disebut juga sebagai ellips kesalahan garis.

Bentuk, ukuran serta orientasi dari suatu ellips kesalahan relatif umumnya direpresentasikan dengan parameter-parameter setengah sumbu panjang ( $a/S_U$ ),

setengah sumbu pendek ( $b/S_V$ ) serta sudut jurusan dari sumbu panjang ellips kesalahan ( $t$ ). Ketiga parameter tersebut dapat dihitung berdasarkan pada matriks kovarians dan standar deviasi ( $S_0$ ) dari hasil proses perataan. Sehingga, Apabila sebuah matrik kovarians dalam sistem koordinat dua-dimensi didefinisikan sebagai berikut :

$$Q = \begin{vmatrix} Q_{XX} & Q_{XY} \\ Q_{XY} & Q_{YY} \end{vmatrix} \dots\dots\dots(2.52)$$

Maka, seluruh parameter ellips kesalahan dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

a. Parameter sudut jurusan ( $t$ )

$$\tan 2t = \left( \frac{2Q_{XY}}{Q_{YY} - Q_{XX}} \right) = \frac{\sin 2t}{\cos 2t} \dots\dots\dots(2.53)$$

Dimana, nilai  $t$  tergantung dari permutasi tanda yang dihasilkan oleh  $\sin 2t$  dan  $\cos 2t$ , sehingga nilai  $t$  sebenarnya pada sistem kuadran dapat ditentukan sesuai dengan tabel dibawah ini :

Tabel 2.1 Tanda Aljabar

Tanda Aljabar		Kuadrant
$\sin 2t / 2Q_{XY}$	$\cos 2t / Q_{YY} - Q_{XX}$	
+	+	1
+	-	2
-	-	3
-	+	4

b. Parameter setengah sumbu panjang ( $S_U$ )

$$Q_{UU} = \frac{1}{2}(Q_{YY} + Q_{XX} + K) \dots\dots\dots(2.54)$$

Dimana,

$$K = [(Q_{YY} - Q_{XX})^2 + 4(Q_{XY})^2]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(2.55)$$

Sehingga

$$S_U = \pm S_0 \sqrt{Q_{UU}} \dots\dots\dots(2.56)$$

c. Parameter setengah sumbu pendek ( $S_V$ )

$$Q_{VV} = \frac{1}{2}(Q_{YY} + Q_{XX} - K) \dots\dots\dots(2.57)$$

Sehingga

$$S_V = \pm S_0 \sqrt{Q_{VV}} \dots\dots\dots(2.58)$$

d. Parameter tambahan ( $S_X$  dan  $S_Y$ )

$$S_X = \pm S_0 \sqrt{Q_{XX}} \dots\dots\dots(2.59)$$

$$S_Y = \pm S_0 \sqrt{Q_{YY}}$$

### 2.10.3 Uji Statistik

Pengamatan untuk mendapatkan besaran dari suatu objek yang di lakukan berulang kali akan menghasilkan nilai yang bervariasi. Nilai pengamatan yang bervariasi ini menunjukkan adanya variabel acak yang mempengaruhi hasil pengamatan. jika hasil uji statistika pada setiap epok pengamatan telah bebas dari pengaruh variabel acak, maka uji stistika untuk deformasi dapat di laksanakan.

Uji statistik yang digunakan dalam ukur deformasi adalah Fisher Test (F-tes), sebaran fisher didefinisikan sebagai perbandingan dua peubah acak khi-kuadrat yang bebas, dimana masing-masing dibagi dengan derajat kebebasannya.

Misalkan U dan V adalah dua peubah acak bebas, yang masing-masing berdistribusi khi-kuadrat dengan derajat kebebasan m dan n. Maka variabel acak akan membentuk sebaran fisher sebagai berikut (Sarsito, 1992):

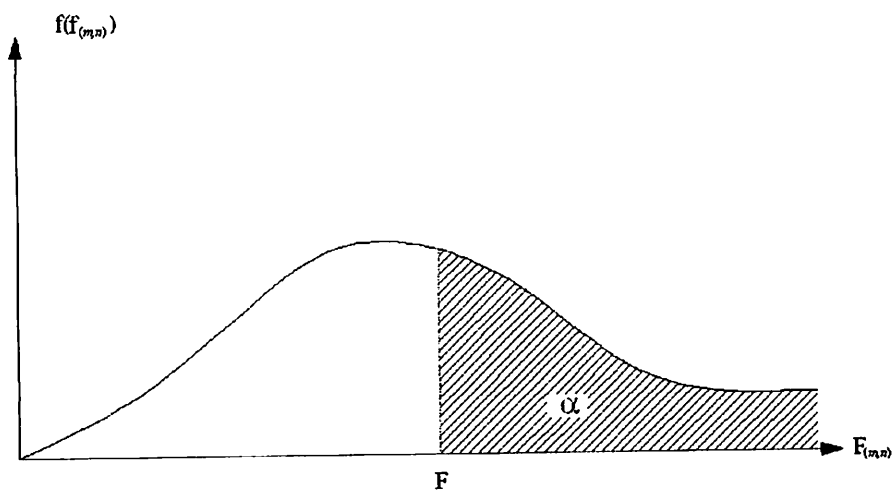
$$F_{m,n} = \frac{U/m}{V/n} \dots\dots\dots(2.60)$$

Fungsi densitasnya mempunyai persamaan :

$$Y = f(F_{m,n}) = K \frac{F_{m,n}^{0.5(m-2)}}{\left(1 + \frac{m}{n} F_{m,n}\right)^{0.5(m+n)}} \dots\dots\dots(2.61)$$

Dengan :

K adalah suatu konstanta yang dipilih yang tergantung pada derajat kebebasan m dan n, sehingga luas daerah dibawah lengkungan dan di atas sumbu  $F_{m,n}$  sama dengan satu.



Gambar 2.12. Lengkungan Fisher dengan derajat kebebasan pembilang m dan penyebut n (Sarsito, 1992).

Dimana :

F = nilai sebaran Fisher dengan peluang  $\alpha$  dan derajat kebebasan m dan n

$\alpha$  = peluang terjadinya kedua variabel acak

Fungsi F-tes dalam deformasi yaitu untuk menentukan kestabilan nilai vektor pergeseran pada suatu objek, dimana nilai F juga dapat di tentukan dengan bantuan tabel F test dengan adanya nilai Dof (derajat kebebasan),  $\alpha$  (nilai peluang terjadi variabel acak) , dan range.

Apabila nilai distribusi  $T > F$  maka objek tersebut dinyatakan bergeser, namun sebaliknya apabila nilai distribusi  $T < F$  maka objek tidak bergeser.

Persamaan untuk menentukan nilai distribusi T:

$$T = \frac{d^T \cdot Q_{dd}^{-1} \cdot d}{SO_{total} \cdot DoF_{total}} \dots\dots\dots(2.62)$$

Dimana:

$$Q_{dd} = J \sum_{xx} J^T \text{ (terdapat pada Persamaan 2.49)}$$

$$d = \begin{bmatrix} X_{epok_2} - X_{epok_1} \\ Y_{epok_2} - Y_{epok_1} \\ Z_{epok_2} - Z_{epok_1} \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.63)$$

$$DoF_{total} = DoF_{epok_1} + DoF_{epok_2} \dots\dots\dots(2.64)$$

$$V^T PV_{total} = V^T PV_{epok_1} + V^T PV_{epok_2} \dots\dots\dots(2.65)$$

$$SO_{total}^2 = \frac{V^T PV_{total}}{DoF_{total}} \dots\dots\dots(2.66)$$

Untuk mencari DoF pada proses fotogrametri:

$$Dof = U - V \dots\dots\dots(2.67)$$

Dimana

$$U = 2mn + 7 \dots\dots\dots(2.68)$$

$$V = 3n + 6m \dots\dots\dots(2.69)$$

Keterangan :

m = jumlah foto

n = jumlah titik

### 2.11 Inner Constraint / Free Network Adjustment

Untuk mendapatkan ketelitian yang tinggi pada hasil network adjustment, maka diperlukan koordinat beberapa titik yang telah diketahui sebagai titik ikat (titik kontrol). Keberadaan titik ikat ini mendefinisikan datum yang digunakan sebagai ruang hitungan. Jika tidak ada titik awal, maka solusi yang biasa digunakan untuk *network adjustment* adalah *free network adjustment (inner constraint)* dimana seluruh titik dijadikan parameter dan mempunyai ellips kesalahan.

Solusi *inner constraint*, atau *free network adjustment* memiliki karakteristik adalah sebagai berikut :

1. Ia akan mengatasi kekurangan rank dari cacat datum dan oleh karena itu akan mengizinkan suatu solusi khusus untuk sistem persamaan tersebut.
2. Dari semua solusi yang memungkinkan untuk system kekurangan barisan, akan memilih solusi dengan minimum magnitude dan minimum varians.

Untuk jaringan horisontal 2-D tanpa pengamatan jarak, matrix konstrain akan susah di hitung :

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ Y_i^0 & -X_i^0 & Y_j^0 & -X_j^0 & Y_k^0 & -X_k^0 \\ X_i^0 & Y_i^0 & X_j^0 & Y_j^0 & X_k^0 & Y_k^0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.70)$$



di mana koordinat  $X^0$ ,  $Y^0$  dari ketiga titik digunakan. Apabila terdapat pengamatan jarak maka kekurangan datum akan menjadi kurang satu, dan baris ke empat dari matrix dalam Persamaan (2.70) tak akan diperlukan.

Untuk jaringan 3-D, seperti yang biasanya ditemukan dalam fotogrammetri, kekurangan datum yang dihasilkan dari tak adanya informasi titik kontrol yaitu ada tujuh. Oleh karena itu dibutuhkan tujuh persamaan *constraint* untuk memecahkan kekurangan tersebut. Matrix *inner constraint (free network adjustment)* dapat dituliskan langsung, adalah sebagai berikut:

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & \dots \\ 0 & Z_i^0 & -Y_i^0 & 0 & Z_j^0 & -Y_j^0 & \dots \\ -Z_i^0 & 0 & X_i^0 & -Z_j^0 & 0 & X_j^0 & \dots \\ Y_i^0 & -X_i^0 & 0 & Y_j^0 & -X_j^0 & 0 & \dots \\ X_i^0 & Y_i^0 & Z_i^0 & X_j^0 & Y_j^0 & Z_j^0 & \dots \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.71)$$

di mana pada setiap tiga kolom berhubungan dengan sebuah titik pada jaring.

Jika terdapat pengamatan jarak maka kekurangan datum hanya ada enam, dan baris terakhir dalam susunan matrix pada Persamaan (2.71) dapat dihilangkan.

Untuk menunjukkan hal yang masuk akal dari solusi ini, akan ditunjukkan bahwa setiap baris pada susunan matrix pada persamaan (2.70) adalah orthogonal terhadap koefisien persamaan kondisi sudut. Persamaan kondisi ini menunjukkan persamaan yang paling sangat digunakan dalam jaringan triangulasi horisontal 2D. Untuk sudut searah jarum jam di titik i, dari titik j ke titik k, baris vektor berikut menunjukkan koefisien persamaan kondisi sudut yang dilinierisasi (Mikhail, 1980).

$$\mathbf{b} = \left[ \begin{array}{cccccc} \frac{\partial F_\theta}{\partial X_i} & \frac{\partial F_\theta}{\partial Y_i} & \frac{\partial F_\theta}{\partial X_j} & \frac{\partial F_\theta}{\partial Y_j} & \frac{\partial F_\theta}{\partial X_k} & \frac{\partial F_\theta}{\partial Y_k} \end{array} \right] \dots\dots\dots(2.72)$$

$\mathbf{b} =$

$$\frac{Y_k^o - Y_i^o}{(S_{ik}^o)^2} - \frac{Y_j^o - Y_i^o}{(S_{ij}^o)^2} - \frac{X_k^o - X_i^o}{(S_{ik}^o)^2} + \frac{X_j^o - X_i^o}{(S_{ij}^o)^2} \frac{Y_j^o - Y_i^o}{(S_{ij}^o)^2} - \frac{X_j^o - X_i^o}{(S_{ij}^o)^2} \frac{Y_k^o - Y_i^o}{(S_{ik}^o)^2} - \frac{X_k^o - X_i^o}{(S_{ik}^o)^2} \dots\dots\dots(2.73)$$

Jika mengambil salahsatu *inner product* dari  $\mathbf{b}$  dengan baris dari  $\mathbf{C}$ , hasilnya adalah suatu vektor nol. Dengan kata lain, baris dari  $\mathbf{C}$  adalah orthogonal terhadap  $\mathbf{b}$ .

$$\mathbf{bC}^T = [0 \ 0 \ 0 \ 0] \dots\dots\dots(2.74)$$

dan

$$\mathbf{NC}^T = \left[ \begin{array}{cccc} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right] \dots\dots\dots(2.75)$$

Jadi dapat kita lihat bahwa baris-baris dari  $\mathbf{C}$  adalah orthogonal terhadap baris-baris dari  $\mathbf{N}$ , dan oleh karena itu  $\mathbf{C}$  dapat berfungsi sebagai *inner constrains* untuk matrix  $\mathbf{N}$ . Suatu demonstrasi serupa dapat dilakukan dengan  $\mathbf{C}$  dari Persamaan (2.71) dan persamaan kolinieritas yang biasanya digunakan dalam jaringan 3-D dalam fotogrammetri.

Pengembangan berikutnya, berdasarkan Leick (1982), menunjukkan arti geometri menggunakan *inner constrains*. Pengembangan ini akan diringkas untuk

keadaan 2-D. Suatu kelanjutan sederhana dapat dilakukan untuk keadaan 3-D. Perhatikan suatu transformasi kesamaan (empat parameter) antara koordinat perataan,  $X_a$ , dan koordinat perkiraan,  $X_0$ ,

$$X_a = T + (1 + k)R_a X_0 \dots\dots\dots(2.76)$$

dimana T adalah vektor translasi,  $(1 + k)$  adalah faktor skala, dan  $R_a$  adalah matrix rotasi dari sudut kecil. Dituliskan,

$$\begin{bmatrix} x_a \\ y_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix} + (1 + k) \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x^o \\ y^o \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.77)$$

Dengan mengasumsi suatu sudut kecil dan suatu faktor skala sudah mendekati kesatuan, dan mengasumsikan bahwa produk dalam jumlah kecil bisa diabaikan, kita dapatkan

$$\begin{bmatrix} x_a \\ y_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x^o \\ y^o \end{bmatrix} + \alpha \begin{bmatrix} y^o \\ -x^o \end{bmatrix} + k \begin{bmatrix} x^o \\ y^o \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.78)$$

Karena hal ini merupakan suatu langkah dalam solusi iteratif, maka:

$$\begin{bmatrix} x_a \\ y_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x^o + dx \\ y^o + dy \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.79)$$

kita dapat menggabungkan dua persamaan terakhir untuk mendapatkan

$$\begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix} + \alpha \begin{bmatrix} y^o \\ -x^o \end{bmatrix} + k \begin{bmatrix} x^o \\ y^o \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.80)$$

Dengan menyusun kembali persamaan tersebut menjadi:

$$\begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & y^o & x^o \\ 0 & 1 & -x^o & y^o \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ \alpha \\ k \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.81)$$

Untuk setiap titik dalam jaringan, persamaannya adalah:

$$\begin{bmatrix} dx_1 \\ dy_1 \\ dx_2 \\ \vdots \\ dx_n \\ dy_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & y_1^o & x_1^o \\ 0 & 1 & -x_1^o & y_1^o \\ 1 & 0 & y_2^o & x_2^o \\ 0 & 1 & -x_2^o & y_2^o \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & 0 & y_n^o & x_n^o \\ 0 & 1 & -x_n^o & y_n^o \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ \alpha \\ k \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.82)$$

Jika dianggap sebagai suatu sistem persamaan overdetermined, maka:

$$f \approx B\delta \dots\dots\dots(2.83)$$

maka dapat diselesaikan dalam pengertian kuadrat terkecil dengan persamaan normal biasa,

$$\delta = (B^T B)^{-1} B^T f \dots\dots\dots(2.84)$$

kondisi antara titik koordinat sebelum dan setelah koreksi iteratif bahwa tak ada pergeseran, rotasi, atau perubahan skala. Dengan kata lain,

$$\delta = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ \alpha \\ k \end{bmatrix} = 0 \dots\dots\dots(2.85)$$

Ini dapat dilakukan dengan menentukan

$$B^T f = 0 \dots\dots\dots(2.86)$$

atau, dituliskan,

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & \dots & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & \dots & 0 & 1 \\ y_1^o & -x_1^o & y_2^o & -x_2^o & \dots & y_n^o & -x_n^o \\ x_1^o & y_1^o & x_2^o & y_2^o & \dots & x_n^o & y_n^o \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dx_1 \\ dy_1 \\ dx_2 \\ \vdots \\ dx_n \\ dy_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.87)$$

Matrix koefisien di sini identik bentuknya dengan bentuk Persamaan (2.70). Ditunjukkan sebelumnya bahwa rangkaian persamaan ini, dianggap sebagai persamaan *constrains*, akan membentuk suatu basis untuk ruang nol dari persamaan normal yang kekurangan datum, dan oleh karena itu dapat digunakan sebagai *matrix inner constrains*. Interpretasi solusi geometri *inner constrains* adalah bahwa setiap melakukan iterasi, tak akan ada pergeseran, rotasi, atau perubahan skala antara posisi koordinat perkiraan dan koordinat perataan.

Dengan *inner constraint* atau solusi *free network adjustment*, setiap titik memiliki suatu elips kesalahan. Dan *inner constrains* menghasilkan suatu solusi minimum varians, dan *trace matrix varians kovarians* akan minimum diantara semua solusi konstrain. cara ini paling berguna dalam analisis dan pra analisis jaringan. Pada hal sebenarnya, jaringan pada akhirnya harus dibatasi pada titik-titik tetap, untuk memiliki konsistensi terbaik dengan titik-titik kontrol yang ada.

## 2.12 Estimasi Presisi (*standard error*)

Kita dapat menilai ketepatan atau presisi suatu perhitungan dengan melihat kovarian dari parameternya. Varian dari satu parameter dapat dikatakan sebagai sebaran dari nilai parameter itu. Semakin besar nilai varian dari parameter semakin tidak baik parameter tersebut, parameter yang sempurna akan memiliki varian nol. Sebuah persamaan kuadrat terkecil akan menghasilkan varian dari parameternya. Varian ini sering disebut *standard deviasi*, dimana *standard deviasi* merupakan varian yang berbentuk akar kuadrat dan memiliki satuan yang sama dengan parameternya (Mikhail et al, 20010).

Nilai estimasi untuk faktor varians ( $\sigma_0^2$ ) dapat diperoleh melalui hitung perataan sebagai fungsi baik residual (V) maupun matrik bobot (P), berikut persamaan untuk menentukan faktor varian:

$$\sigma_0^2 = \frac{V^T P V}{N-U} = \frac{V^T P V}{DoF} \dots\dots\dots(2.88)$$

Kofaktor matrik dari koordinat titik objek dapat dihitung secara pendekatan melalui persamaan berikut (Wang dan Clarke, 1998):

$$Qx_1 = (A_1^T P_l A_1)^{-1} = A_{11}^{-1} \dots\dots\dots(2.89)$$

Matrik kovarian untuk koordinat 3D adalah sebagai berikut (Wang dan Clarke, 1998) :

$$Cx_{1i} = \sigma_0^2 Qx_{1i} \dots\dots\dots(2.90)$$

Kofaktor matrik dari parameter dapat dihitung secara pendekatan melalui persamaan sebagai berikut (Wang dan Clarke, 1998):

$$Qx_2 = (A_2^T P_l A_2)^{-1} = A_{22}^{-1} \dots\dots\dots(2.91)$$

Dan matrik kovarian untuk parameter adalah sebagai berikut (Wang dan Clarke, 1998):

$$Cx_{2j} = \sigma_0^2 Qx_{2j} \dots\dots\dots(2.92)$$

## BAB III

### PELAKSANAAN PENELITIAN

#### 3.1 Persiapan Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian sebelumnya ada beberapa hal yang harus di persiapkan agar penelitian dapat berjalan dengan lancar dan dapat memperoleh hasil yang maksimal, dalam hal ini penelitian harus mengacu pada teori-teori yang ada agar dapat dipertanggung jawabkan. Adapun hal-hal yang harus dipersiapkan adalah:

##### 3.1.1 Materi Penelitian

Materi yang mendasari pada penelitian ini dan sebagai bahan dalam proses perhitungan data yaitu sebagai berikut:

- a) Data foto objek yang di amati dalam tiap epok, yang merupakan data dasar dalam penelitian.



*Gambar 3.1 Contoh data foto objek yang diamati*

- b) Data koordinat titik objek  $(X,Y,Z)$  pada setiap epok yang diperoleh dari proses pada software Australis.

- c) Data matrik kovarian ( $Q_{xx}$ ) dari tiap koordinat titik objek tersebut, yang juga dihasilkan dari Australis.
- d) Serta data nilai derajat kebebasan ( $Dof$ ), dan nilai Standard deviasi ( $So$ ) dalam perhitungan koordinat tersebut, dimana data tersebut sangat diperlukan dalam proses perhitungan deformasi.

### 3.1.2 Alat Penelitian

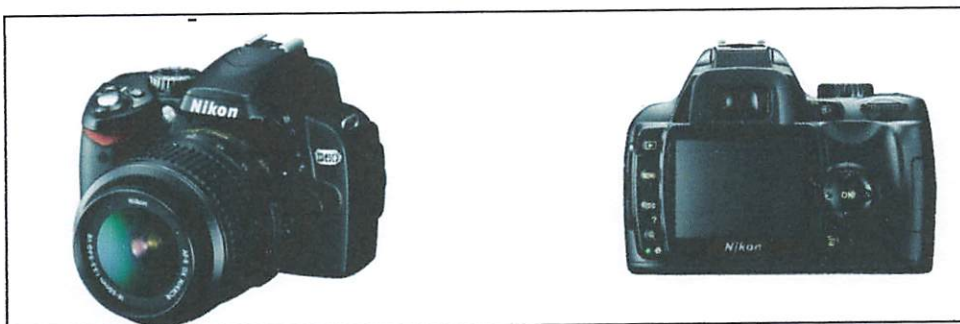
Untuk mendukung pelaksanaan kegiatan penelitian ini, maka diperlukan beberapa perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*), Adapun alat-alat yang dipergunakan dalam Penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a) Perangkat keras (*hardware*) yang diperlukan yaitu sebagai berikut:

- Kamera DSLR Nikon D 3100

Spesifikasi kamera SLR Nikon D 3100 sebagai berikut :

- Tipe Lensa : *Single-lens reflex digital camera*
- LCD screen : 3-inch
- Image Sensor : 23.1 x 15.4 mm CCD sensor
- Image Size : 4608 x 3072 (L)



Gambar 3.2 Kamera SRL Nikon D 3100 tampak depan dan belakang



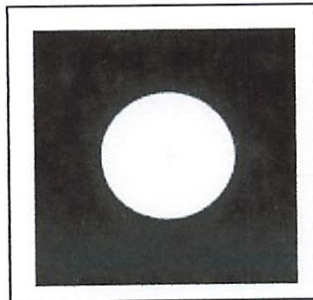


*Gambar 3.3 Aksesoris dari Kamera*

*( Tipe Lensa, Baterai, Memori )*

- Stiker Retro Target

Jenis ukuran stiker retro target dengan diameter 2.5 cm berjumlah 150 biji



*Gambar 3.4 Striker Retro Target*

- Notebook (Acer Aspire 4736)

Spesifikasinya sebagai berikut :

- |  |        |
|--|--------|
| - Intel Core™ 2 Duo Processor T6600 2,20 GHz | 1 unit |
| - RAM 2GB DDR2                               | 1 unit |
| - Hard Disk 320 GB                           | 1 unit |
| - Printer Cannon IP 1700                     | 1 unit |
| - Kabel data kamera                          | 1 unit |

b) Perangkat lunak (*software*) yang diperlukan yaitu sebagai berikut:

- *Microsoft Excel 2007*

*Microsoft Excel 2007* adalah perangkat lunak spreadsheet yang sangat berperan penting dalam proses perhitungan data secara langsung, dimana data-data yang di hasilkan dari Australis seperti koordinat titik objek  $(X,Y,Z)$ , matrik kovarian  $(Q_{xx})$ , diproses perhitungannya pada *Microsoft Excel 2007*.

- *Microsoft Word 2007*

*Microsoft Word 2007* adalah perangkat lunak yang sudah biasa dipergunakan oleh setiap orang sebagai media olah kata, dan perangkat lunak inilah yang dipergunakan dalam penyusunan laporan penelitian ini sehingga dapat di dokumentasikan.

- *Australis 6.05*

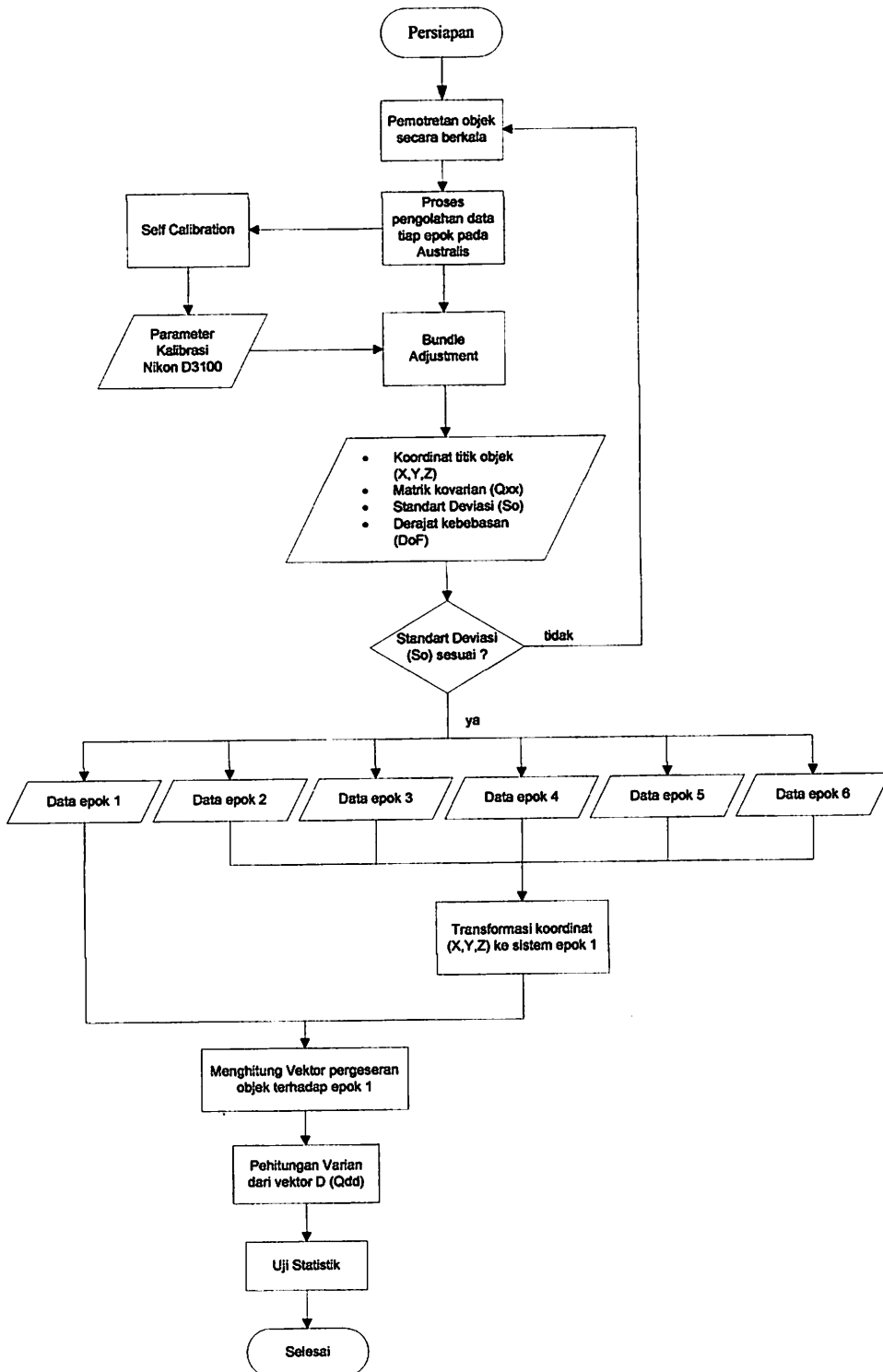
*Australis* merupakan salah satu perangkat lunak yang berfungsi dalam pengolahan data foto, yang menghasikan data titik objek  $(X,Y,Z)$ , dan data pendukung lainnya.

- *Statext v141*

*Statext v141* dalah perangkat lunak yang berfungsi untuk menentukan nilai sebaran *Fisher (F)* yang digunakan untuk perhitungan Uji Statistik.

### 3.2 Diagram Alir Penelitian

Kerangka pekerjaan dalam penelitian dapat dilihat pada diagram alir dibawah ini :



Gambar 3.5 Diagram alir pelaksanaan penelitian

### 3.3 Pelaksanaan

Dari urutan tahap-tahap pekerjaan penelitian yang telah divisualisasikan dalam bentuk bagan alir di atas, akan di jelaskan proses pelaksanaan secara rinci sebagai berikut:

#### 3.3.1 Pelaksanaan Kegiatan Lapangan

Dalam pelaksanaan kegiatan lapangan penelitian ini bertujuan agar penelitian dapat berjalan dengan lancar dan bisa mencapai hasil yang maksimal dan memperoleh data-data yang mendukung, adapun hal-hal yang mencakup dalam kegiatan lapangan ini adalah sebagai berikut:

##### 3.3.1.1 Persiapan

Awal dari pekerjaan penelitian ini adalah menyiapkan materi, alat, dan bahan penelitian. Melakukan persiapan awal yaitu dengan mempersiapkan surat perijinan untuk penempelan stiker sebagai *retro-reflektor target*. Secara spesifik, tahapan ini mencakup pemeriksaan kelayakan dan kesiapan alat dan bahan yang digunakan dalam proses pengambilan data, agar hasil yang dicapai dapat sesuai yujuan dari penelitian ini.

##### 3.3.1.2 Pemotretan Objek Secara Berkala

Hal penting dalam penelitian ini adalah melakukan pemotretan target dengan menggunakan Kamera DSLR Nikon D3100 pada bangunan Jembatan Layang Arjosari dan Jembatan Kereta Api Lawang secara berkala. Posisi pemotretan dilakukan secara konvergen dan posisi kamera pada posisi mendatar, kemudian

dirotasi ke kiri  $90^0$ , dan ke kanan  $90^0$ , jadi jumlah foto pada 1 penampang objek antara 35 foto sampai 65 foto. Jadwal pengamatan pada setiap epok dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

*Tabel 3.1 Jadwal Pengamatan Tiap Epok*

NO	RINCIAN	FEBRUARI				MARET				APRIL				MEI				JUNI				JULI			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Survey awal																								
2	Pengamatan Epok 1																								
3	Pengamatan Epok 2																								
4	Pengamatan Epok 3																								
5	Pengamatan Epok 4																								
6	Pengamatan Epok 5																								
7	Pengamatan Epok 6																								

Pemotretan target pada 2 lokasi yaitu Jembatan Layang Arjosari dan Jembatan Kereta Api Lawang di bagi menjadi 6 penampang objek target yang diamati yakni 4 penampang (Penampang A, B, C, D) untuk di lokasi Jembatan Layang Arjosari dan 2 penampang (Penampang E, F) untuk di lokasi Jembatan Kereta Api Lawang.



Penampang A



Penampang B



Penampang C



Penampang D

*Gambar 3.6 Penampang objek target di Jembatan Layang Arjosari*



Penampang E



Penampang F

*Gambar 3.7 Penampang objek target di Jembatan Kereta Api Lawang*

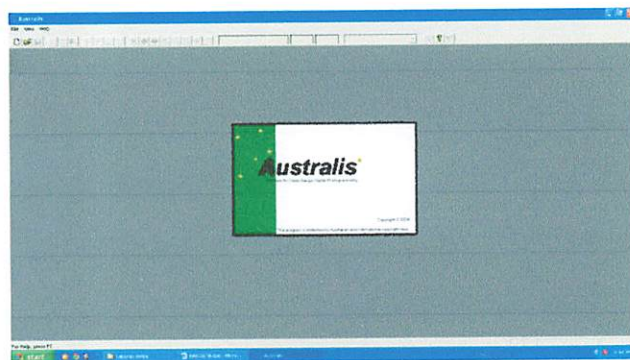
### 3.3.2 Pelaksanaan Pengolahan Data

Setelah selesai pelaksanaan kegiatan lapangan dan memperoleh data-data yang diperlukan, kemudian data-data tersebut diproses untuk perhitungan deformasi. Adapun tahapan dalam pengolahan data adalah sebagai berikut:


#### 3.3.2.1 Proses Pengolahan Data Tiap Epok Pada Australis

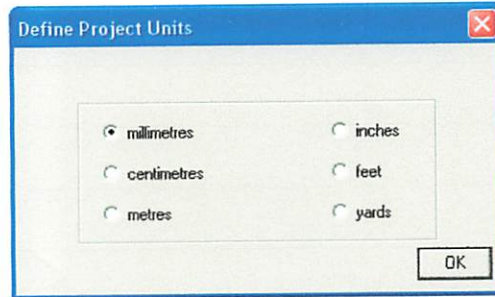
Dalam Penelitian ini, proses untuk mendapatkan data titik dalam ruang tiga-dimensi pada tiap epok (waktu) akan menggunakan proses fotogrametri. pada proses pengolahan foto, akan digunakan sebuah perangkat lunak fotogrametri yaitu Australis 6.05. Adapun proses pengolahan data tiap epok pada perangkat lunak Australis 6.05 akan dijelaskan sebagai berikut :

1. Siapkan sebuah folder kosong, kemudian masukan data foto yang akan diolah sebagai data awal proses fotogrametri. Hal ini sangat penting dilakukan, karena pada aplikasi ini akan secara otomatis menyimpan seluruh hasil proses fotogrametri dalam folder data tersebut.
2. Buka aplikasi *Australis 6.05* dengan melakukan **double-click** pada **icon** *Australis 6.05* yang berada pada **desktop**. Sehingga, akan muncul sebuah tampilan awal aplikasi sebagai berikut.



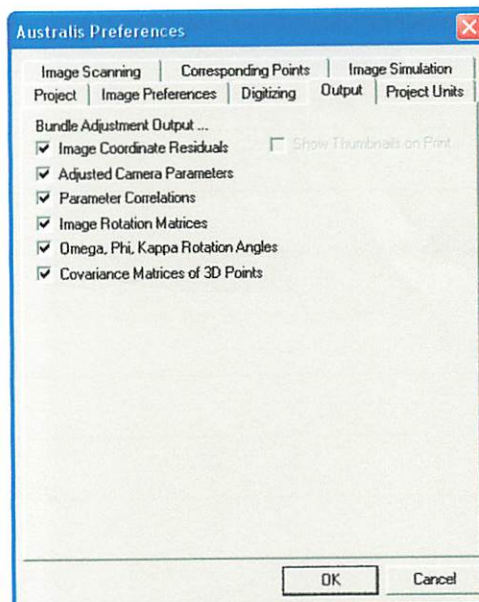
Gambar 3.8 Tampilan Awal Australis

3. Untuk memulai project baru, click  atau melalui menu **File** → **New**. Kemudian akan muncul sebuah jendela **Define Project Units** → **Cawang salah satu pilihan** → **OK** untuk menentukan jenis satuan ukuran yang akan digunakan (meter, centimeter, milimeter, dsb).



Gambar 3.9 Satuan Ukuran

4. Sebelum melakukan pengolahan foto, terlebih dahulu melakukan setting terhadap nilai parameter keluaran yang dibutuhkan dengan cara click pada menu **Project** → **Preference** → Muncul jendela **Australis Preference** → Tab **Output**. Berikan tanda cawang pada tiap pilihan **Bundle Adjustment Output**, seperti pada gambar dibawah ini, kemudian click **OK**.

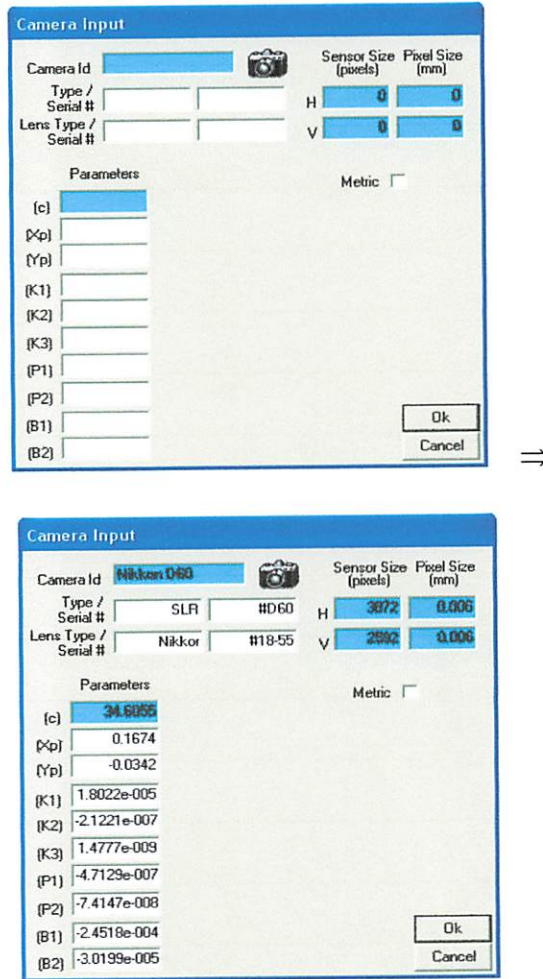


Gambar 3.10 Parameter Keluaran Yang Dibutuhkan






5. Selanjutnya, *click-kanan* pada *Camera Database* → *Add Camera Database*.

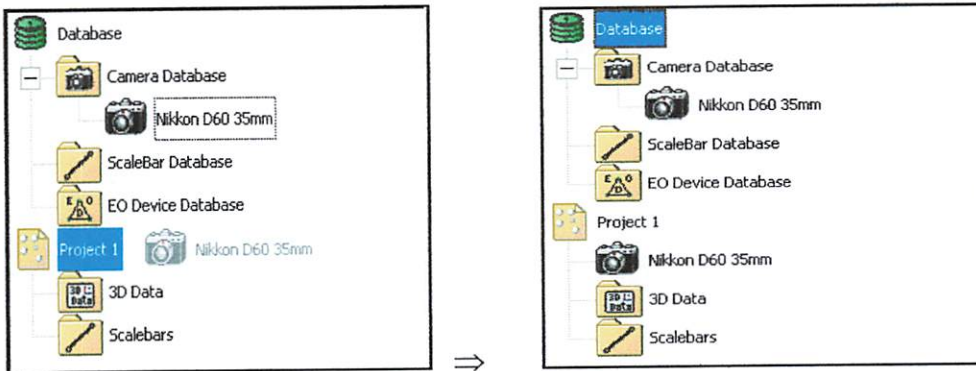
Sehingga akan muncul sebuah jendela *Camera Input* seperti dibawah ini.



Gambar 3.11 Parameter Kalibrasi kamera

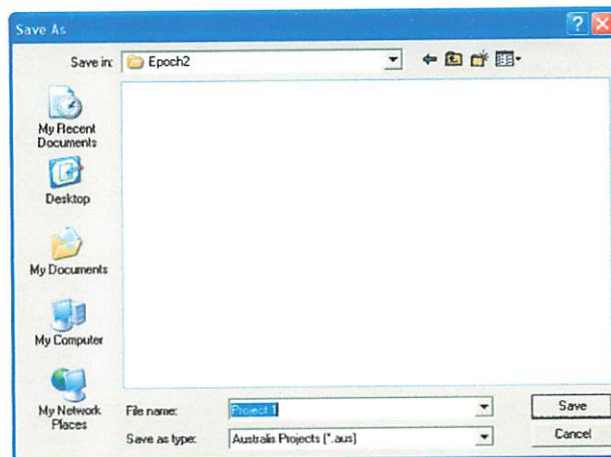
Isi tiap kolom parameter dengan data Id Camera, ukuran sensor kamera, ukuran piksel, dan 10 parameter kalibrasi kamera berupa panjang fokus, *principle point* (x,y), 3 parameter distorsi radial, 2 parameter distorsi decentring, dan 2 parameter distorsi affinity. Click **OK** untuk menyimpan data parameter kamera. Dalam hal ini Proses dalam kalibrasi kamera di lakukan dengan metode *Self Calibration*.

6. Untuk memulai proses pengolahan data foto pada Project, **drag**  pada **Camera Database** → arahkan / letakkan pada icon  (nama project) → sehingga akan muncul icon  yang sama dengan **Id Camera** pada **Camera Database**.




Gambar 3.12 Memasukan Data Parameter Kamera Ke Projek

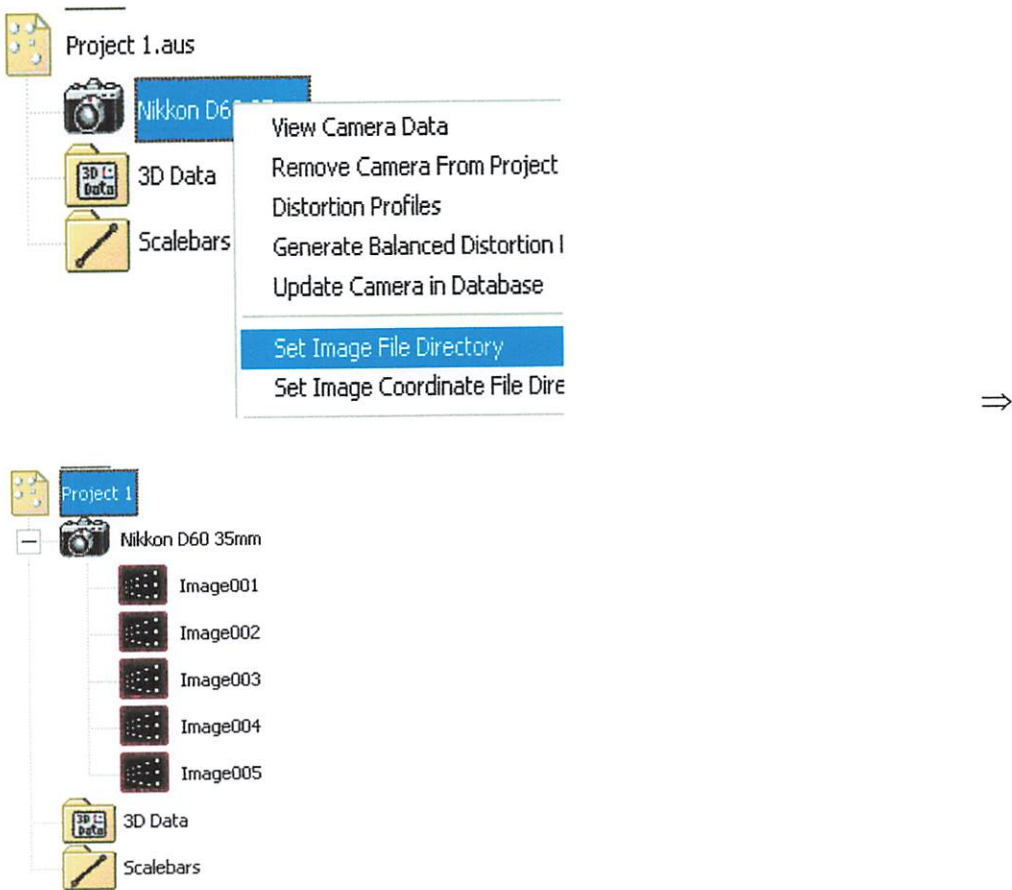
7. Simpan project untuk pertama kali, dan secara otomatis akan muncul jendela **Save As** seperti dibawah ini.





Gambar 3.13 Penamaan Projek

Beri nama project dan kemudian click **Save**. Perlu di ingat **File project (\*.aus)** harus disimpan satu folder bersama dengan file foto yang akan diolah.

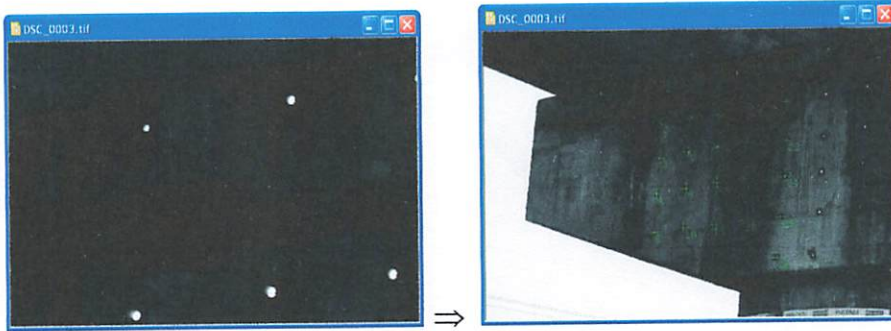
8. Setelah seluruh parameter kamera berada pada struktur *Project.aus*, langkah selanjutnya ialah melakukan input data foto dengan cara click-kanan pada  yang berada didalam *Project.aus* → *Set Image File Directory* → *Open*. Seluruh file foto akan secara otomatis masuk kedalam struktur *Project.aus*.
9. Masukkan data foto di lapangan ke dalam Projek.



Gambar 3.14 Memasukan Data Foto

10. Apabila seluruh data foto yang akan diolah telah masuk ke dalam project yang telah dibuat, proses selanjutnya ialah melakukan ekstraksi data koordinat foto menggunakan metode centroid dengan cara : *double-click* pada  Image001 → *muncul sebuah jendela yang berisikan sebuah foto* → aktifkan icon 

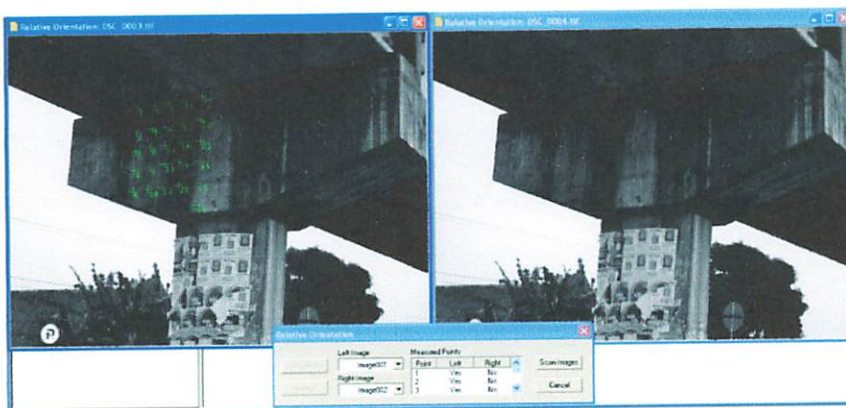
pada toolbar → kemudian arahkan *pointer* ke tengah-tengah *sticker retro-target* → *click target* → muncul *tanda silang dan nomor id* titik yang menandakan target telah ditandai.



Gambar 3.15 Ekstraksi Data koordinat Foto

Lakukan langkah diatas pada seluruh titik retro-target yang terlihat pada foto tersebut.

11. Selanjutnya ialah melakukan proses **Relative Orientation** untuk mengorientasikan data foto lain terhadap data foto image001. Proses ini dapat dilakukan dengan cara click *Adjust* → **Relative Orientation** sehingga akan muncul jendela relative orientasi sebagai berikut :

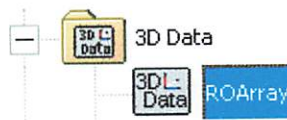


Gambar 3.16 Relative Orientasi

Pada jendela **Relative Orientation** → set **Left Image** dengan *image001* yang telah diproses pada *point 9* → set **Right Image** dengan data foto yang

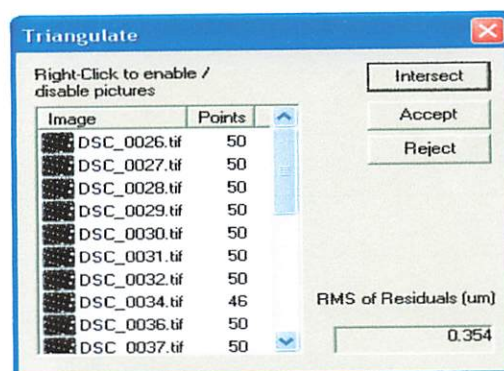
memiliki basis pemotretan yang lebih besar terhadap *image001* → ekstraksi data koordinat foto untuk data foto Right Image dengan cara yang sama sesuai dengan *point 9* → **Compute RO** → apabila nilai **Measured Points** memiliki nilai kurang dari sama dengan *1.00* click **Accept** → jika tidak, ulangi dengan konfigurasi foto dan titik yang lain.

Setelah proses ini dilakukan, maka akan secara otomatis muncul sebuah file **ROArray** pada folder **3D Data**.



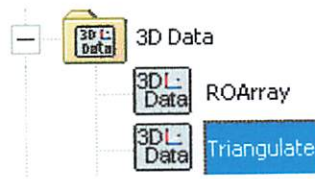
Gambar 3.17 Relative Orientasi Array 3D data

12. Setelah proses **Relative Orientasi** sukses dilakukan, proses selanjutnya ialah proses **Intersection**. Adapun prosedur pelaksanaan proses intersection dapat dilakukan dengan cara click **Adjust** → **Triangulate** → **Intersect** → apabila nilai **RMS of Residual** kurang dari sama dengan *1.00* → **Accept** → jika tidak → **Reject**.



Gambar 3.18 Intersection

Setelah proses ini dilakukan, maka akan secara otomatis muncul sebuah file **Triangulate** pada folder **3D Data**.



Gambar 3.19 Triangulate 3D data

13. Proses fotogrametri selanjutnya ialah proses **Resection**. Proses ini dilakukan untuk tiap data foto yang belum terorientasi. Prosedur pelaksanaannya ialah terlebih dahulu melakukan proses ekstraksi data koordinat foto sesuai dengan *point 10* untuk seluruh titik yang terekam dalam foto. Selanjutnya apabila seluruh proses ekstraksi data foto telah selesai dilakukan untuk semua foto click **Adjust** → **Resect All Project Images** → **OK**. Pastikan Nilai **RMS** lebih kecil sama dengan *1.00*.

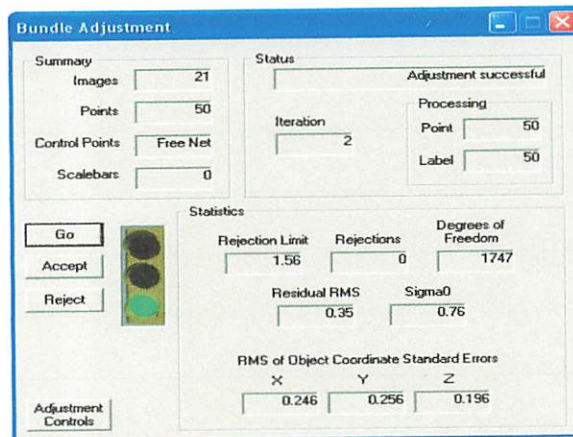
Station	RMS(um)	Used Points
Image001	0.4	50
Image002	0.3	50
Image003	0.3	50
Image004	0.3	50
Image005	0.3	50
Image006	0.2	50
Image007	0.4	50
Image008	0.4	46
Image009	0.4	50
Image010	0.3	50
Image011	0.4	50
Image012	0.4	50

Gambar 3.20 Reseksi

14. Ulangi proses pada *point 11* untuk melakukan proses **Intersection** untuk seluruh data foto.

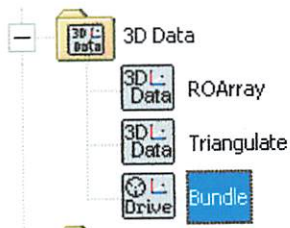
15. Proses terakhir merupakan proses **Bundle Adjustment** yang mana proses ini merupakan proses perataan secara keseluruhan untuk seluruh parameter Kamera (**Self Calibrating**), Parameter Eksterior Orientasi, Parameter Koordinat Tiga-dimensi secara bersama-sama. Adapun prosesnya dapat

dilakukan dengan cara click *Adjust* → *Run Bundle* → *Go* → apabila aplikasi menunjukkan tanda hijau maka click *Accept* → sebaliknya apabila tanda merah *Reject*, atau Apabila  $\text{Sigma}_0 > 1.00$  maka ulangi proses ekstraksi koordinat foto atau kembali ke lapangan untuk mengulang pemotretan objek.



Gambar 3.21 Bundle Adjusment

Setelah proses ini dilakukan, maka akan secara otomatis muncul sebuah file *Bundle* pada folder *3D Data*.



Gambar 3.22 Bundle 3D data

16. Keseluruhan hasil proses fotogrametri ini tersimpan dalam 3 jenis file ekstensi. Ketiga ekstensi tersebut antara lain :

a. Ekstensi *\*.txt* yang diantaranya ialah :

- Bundle.txt
- Camera.txt
- Correlation.txt

- PointQxx.txt
- Resection.txt
- Triangulate.txt
- Residual.txt

b. Ekstensi \*.xyz yang diantaranya :

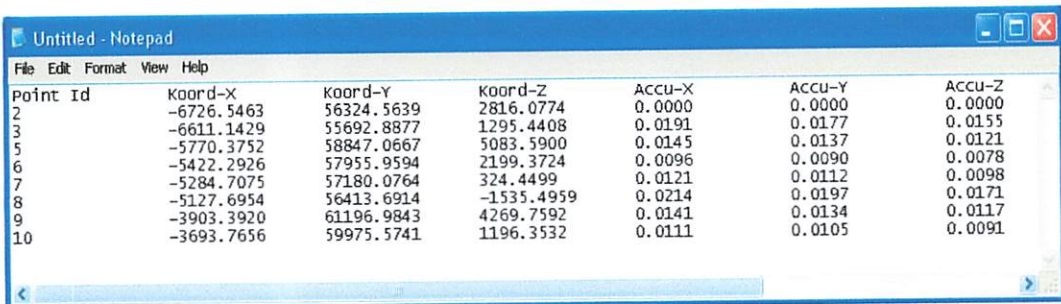
- Bundle.xyz
- ROArray.xyz
- Triangulate.xyz

c. Ekstensi \*.icf

- “\*Imagename”.icf (\* : nama file data foto).

17. Untuk proses pengolahan data epok yang lain dilakukan sama seperti proses pada point 1-14.

18. Setelah seluruh data epok telah diolah, selanjutnya ialah proses penyamaan system datum. Proses ini dapat dilakukan dengan cara transformasi tiga-dimensi. Dimana koordinat Epok 2 - Epok 6 di tranformasi ke sistem Epok 1, agar setiap epok memiliki system yang sama. Dalam proses ini dibutuhkan titik kontrol yang dapat diambil dari salah satu epok dan disusun dalam sebuah notepad dengan format sebagai berikut.

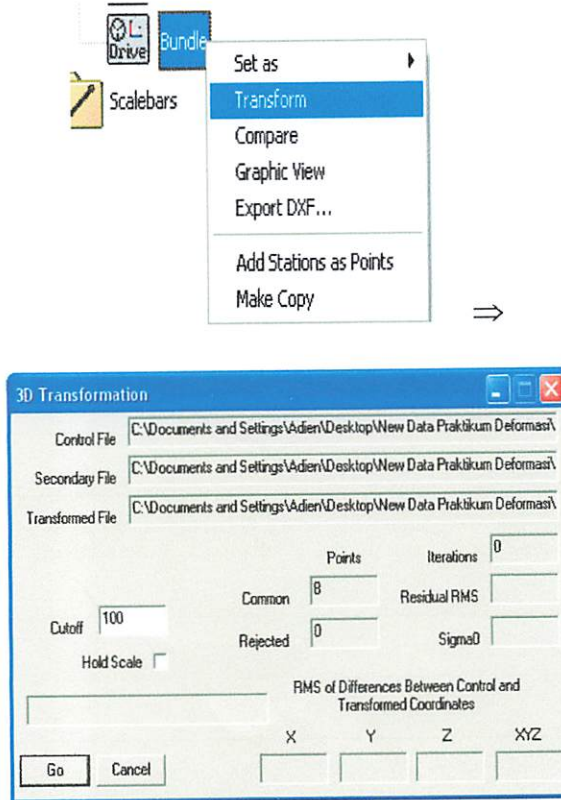


Point Id	Koord-X	Koord-Y	Koord-Z	ACCU-X	ACCU-Y	ACCU-Z
2	-6726.5463	56324.5639	2816.0774	0.0000	0.0000	0.0000
3	-6611.1429	55692.8877	1295.4408	0.0191	0.0177	0.0155
5	-5770.3752	58847.0667	5083.5900	0.0145	0.0137	0.0121
6	-5422.2926	57955.9594	2199.3724	0.0096	0.0090	0.0078
7	-5284.7075	57180.0764	324.4499	0.0121	0.0112	0.0098
8	-5127.6954	56413.6914	-1535.4959	0.0214	0.0197	0.0171
9	-3903.3920	61196.9843	4269.7592	0.0141	0.0134	0.0117
10	-3693.7656	59975.5741	1196.3532	0.0111	0.0105	0.0091

Gambar 3.23 Titik Kontrol Untuk Proses Transformasi



19. Proses transformasi dapat dilakukan dengan cara click-kanan pada **Bundle** → **Transform** → pilih file Control Point berekstensi \*.xyz → **Open** → **Go**.



Gambar 3.24 3D Transformasi

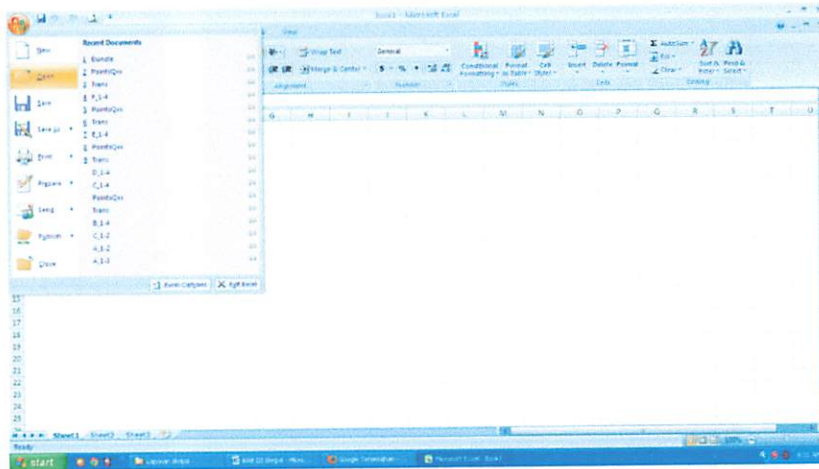
Apabila nilai **Residual RMS** dan **Sigma0** dirasa cukup kecil maka click **Accept**, jika tidak click **Reject** dan ulangi proses tersebut dengan mengganti nilai titik kontrol yang memiliki nilai akurasi yang cukup.

Dari semua proses yang telah di lakukan, data yang diperoleh dan data yang di perlukan untuk perhitungan Deformasi ialah Koordinat Titik Objek ( $X, Y, Z$ ), Nilai Standard Deviasi Pengukuran ( $S_o$ ), Derajat Kebebasan (Dof).

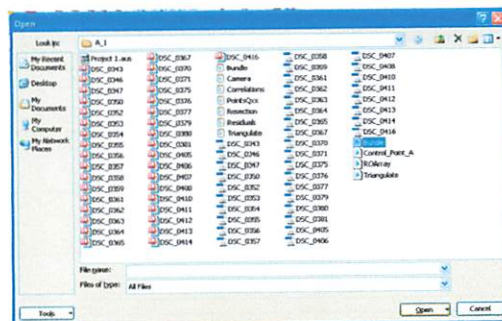
### 3.3.2.2 Menghitung Vektor Pergeseran Objek Terhadap Epok 1

Untuk menentukan vektor pergeseran ( $\vec{D}$ ), Data yang di perlukan yaitu  $XYZ_{epok 1}$  dan  $XYZ_{epok 2}$ , vektor pergeseran ( $\vec{D}$ ) dapat dihitung dengan Persamaan (2.9), dan proses pengolahan data di perangkat lunak *Microsoft Excel* adalah sebagai berikut:

1. Buka aplikasi *Microsoft Excel* kemudian pada menu pilih *open*, buka file *bundle.xyz* di folder salah satu penampang pada Epok1 yang menyajikan data koordinat  $(X,Y,Z)$ , klik *open*.

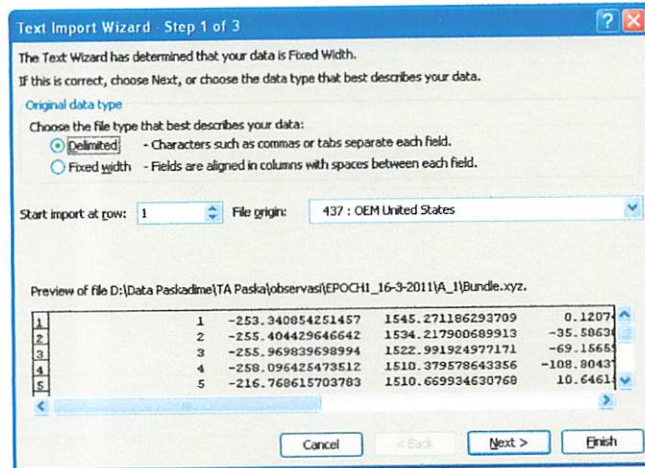


Gambar 3.25 Tampilan awal *Microsoft Excel* untuk membuka file koordinat  $(X,Y,Z)$



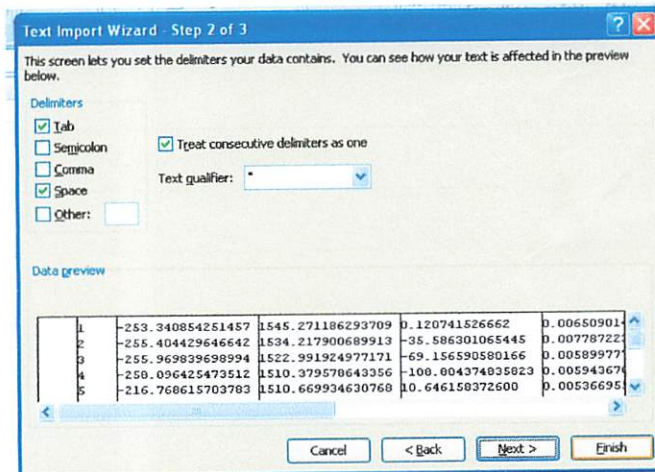
Gambar 3.26 Membuka file *Bundle.xyz* pada Epok1

2. Pada pilihan *Original data type*, pilih *Delimited*, kemudian klik *Next*

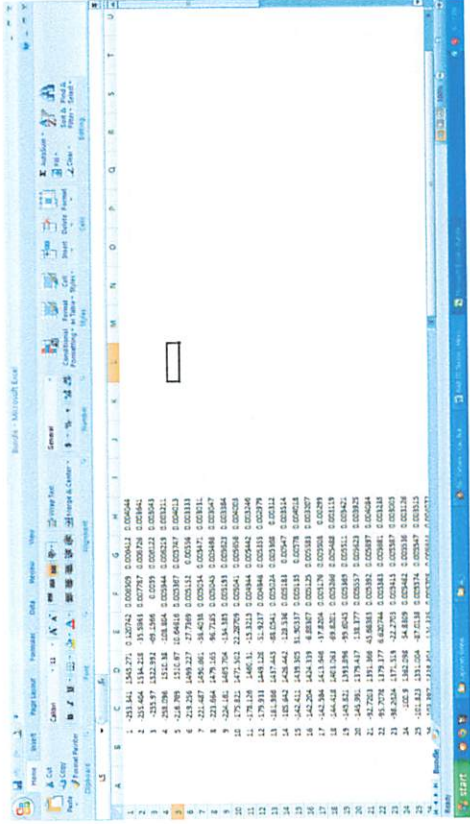


Gambar 3.27 Pengaturan *Original data Type* pada *Microsoft Excel*

3. Pada pilihan *Delimiters*, cawang *space* agar data dengan ekstensi \*.xyz dapat di baca dengan adanya spasi pada *Microsoft excel*, kemudian klik *finish*, kemudian *Save file*.



Gambar 3.28 Pengaturan *Delimiters* pada *Microsoft Excel*

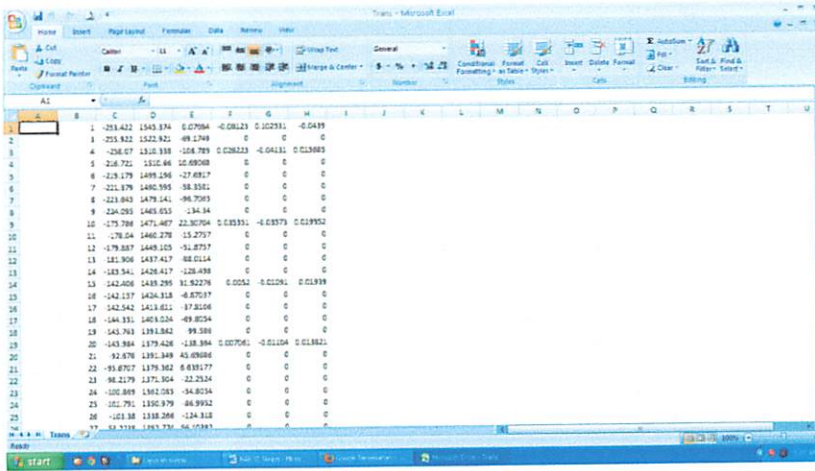


Gambar 3.29 File *Bundle.xyz* yang sudah di buka pada *Microsoft Excel*

4. Ulangi proses langkah 1-3 tadi untuk data koordinat (X,Y,Z) salah satu penampang yang sama pada epok2, namun data yang di masuk kan adalah data *Bundle* yang sudah di transformasi ke sistem Epok1, dengan membuka file *Trans.xyz*



Gambar 3.30 Membuka file *Trans.xyz* pada *Epok2*



Gambar 3.31 File *Trans.xyz* yang sudah di buka pada *Microsoft Excel*

5. Kemudian *Copy* data koordinat Epok1 dan Epok2 dan *paste* pada kolom masing-masing epok yang sudah di sediakan pada tabel analisa Deformasi yang sudah di di olah pada *Microsoft Excel*, dan vektor pergeseran ( $\vec{D}$ ) dapat dihitung dengan membuat formula pada *Microsoft Excel* sesuai dengan Persamaan (2.9)

DELTA COORDINATE (unit)							
VALUE			COVARIANCE MATRIX (Q <sub>dd</sub> )	TRACE Q <sub>dd</sub>	D	TRACE Q <sub>dd</sub> > D	TR
DX	DY	DZ					
0.0618	0.0332	0.0010	7.54E-05 -3.46E-05 -1.51E-05 -3.46E-05 7.76E-05 9.51E-07 -1.51E-05 9.51E-07 4.06E-05	0.0139	=SQRT(Z7^2+AA7^2+AB7^2)		
-0.0393	-0.0428	-0.0066	6.45E-05 -3.56E-05 -6.36E-06 -3.56E-05 6.42E-05 -3.30E-08 -6.36E-06 -3.30E-08 1.86E-05	0.0121	0.0585		
-0.0430	-0.0392	0.0068	6.46E-05 -3.68E-05 -4.73E-06 -3.68E-05 6.08E-05 -2.62E-06 -4.73E-06 -2.62E-06 1.77E-05	0.0120	0.0586		
-0.0278	-0.0396	-0.0093	6.57E-05 -3.64E-05 -4.33E-06 -3.64E-05 5.92E-05 -6.11E-06 -4.33E-06 -6.11E-06 2.21E-05	0.0121	0.0493		
-0.0109	-0.0054	0.0247	5.47E-05 -2.83E-05 -7.29E-06 -2.83E-05 5.77E-05 6.08E-06 -7.29E-06 6.08E-06 3.30E-05	0.0121	0.0275		
			5.13E-05 -3.01E-05 -3.68E-06				

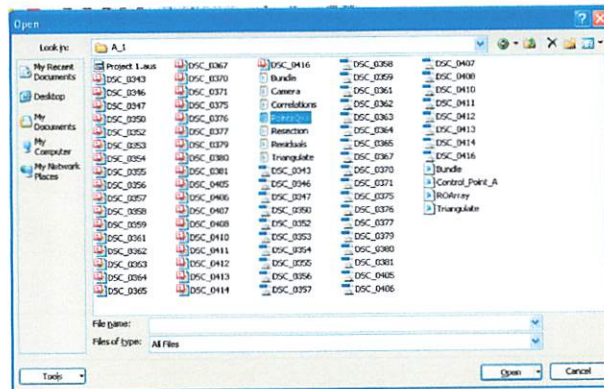
Gambar 3.32 Perhitungan Vektor Pergeseran ( $\vec{D}$ ) pada *Microsoft Excel*

### 3.3.2.3 Perhitungan Varian Dari Vektor D ( $Q_{dd}$ )

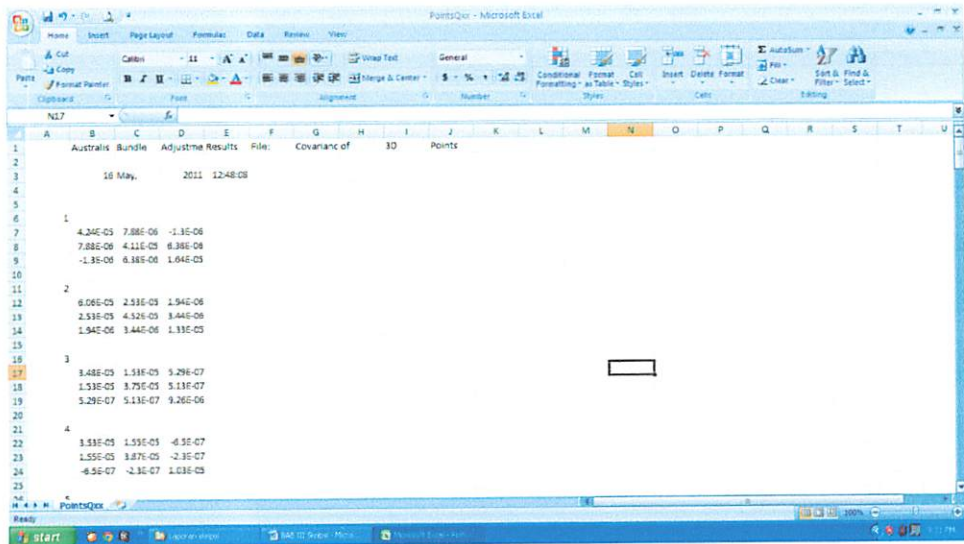
Untuk menentukan varian dari vektor ( $\vec{D}$ ), Data yang di perlukan yaitu matrik kovarian ( $Q_{xx_{epok1}}$ ) dari salah satu penampang pada Epok1 dan kovarian ( $Q_{xx_{epok2}}$ ) pada Epok2, matrik varian dari  $\vec{D}$  ( $Q_{dd}$ ) dapat di hitung dengan kaidah perambatan varian kovarian yaitu dengan Persamaan (2.49), dan dengan ketentuan matrik  $\sum_{xx}$  yaitu disusun dengan Persamaan (2.50), dan matrik  $J$  dihitug dengan Persamaan (2.51).

Untuk Proses pengolahan data di perangkat lunak *Microsoft Excel* adalah sebagai berikut:

1. Buka aplikasi *Microsoft Excel* kemudian untuk proses memasukan data, sama seperti langkah 1-4 pada Sub bab 3.3.2.2, namun data yang di pakai ialah data file  $Q_{xx.txt}$  di folder salah satu penampang pada Epok1 dan Epok2 yang menyajikan data kovarian ( $Q_{xx}$ ).



Gambar 3.33 Membuka file  $Q_{xx.txt}$  pada Epok1



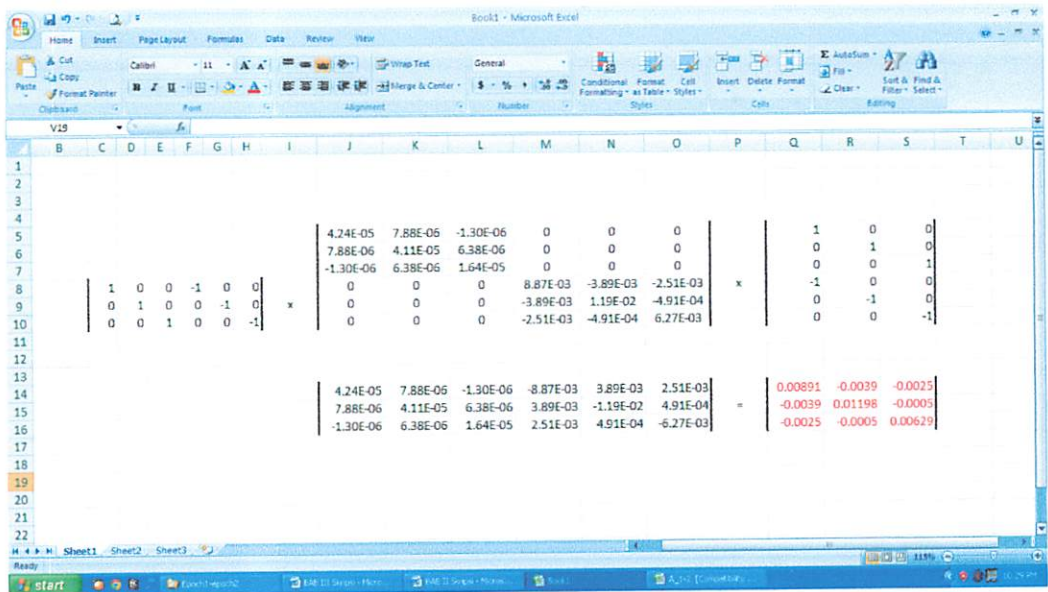
Gambar 3.34 File  $Q_{xx}.txt$  yang sudah di buka pada Microsoft Excel

2. Kemudian *Copy* data matrik kovarian ( $Q_{xx}$ ) Epok1 dan Epok2 dan *paste* pada kolom masing-masing epok yang sudah di sediakan pada tabel analisa Deformasi yang sudah di di olah pada Microsoft Excel.

POINT ID	EPOCH 1 (unit)							EPOCH 2 (unit)						
	COORDINATE			DoF	So	V <sup>PV</sup>	COVARIANCE MATRIX (Q <sub>xx</sub> )	COORDINATE			DoF	So	V <sup>PV</sup>	COVARIANCE MATRIX
X	Y	Z	X					Y	Z					
1	-253.34028543	1545.27119	0.120741527	3336	0.777	2016.851	4.24E-05 7.88E-06 -1.30E-06 7.88E-06 4.11E-05 6.38E-06 -1.30E-06 6.38E-06 1.64E-05	-253.3831189	1545.330481	0.06910964	3368	0.885	2542.489	8.87E-03 -3.88E-03 -2.51E-03 -3.88E-03 1.19E-02 -4.81E-04 -2.51E-03 -4.81E-04 6.27E-03
2	-255.4044296	1534.2179	-35.5863011	3339	0.777	2016.851	6.06E-05 2.53E-05 1.94E-06 2.53E-05 4.52E-05 3.44E-06 1.94E-06 3.44E-06 1.33E-05							
3	-255.9698397	1522.99192	-69.1565906	3336	0.777	2016.851	3.48E-05 1.53E-05 5.29E-07 1.53E-05 3.75E-05 5.13E-07 5.29E-07 5.13E-07 9.26E-06	-255.933567	1522.919124	-69.1866824	3368	0.885	2542.489	9.18E-03 -5.61E-03 -1.51E-03 -5.61E-03 1.06E-02 4.81E-04 -1.51E-03 4.81E-04 2.72E-03
4	-258.0964255	1510.37938	-108.804379	3336	0.777	2016.851	3.53E-05 1.55E-05 -6.45E-07 1.55E-05 3.87E-05 -2.29E-07 -6.45E-07 -2.29E-07 1.03E-05	-258.0867606	1510.387116	-108.7765966	3368	0.885	2542.489	8.44E-03 -4.09E-03 -1.16E-03 -4.09E-03 7.61E-03 -1.84E-04 -1.16E-03 -1.84E-04 2.68E-03
5	-216.7686157	1510.66993	10.64615837	3336	0.777	2016.851	2.88E-05 1.03E-05 1.88E-07 1.03E-05 3.90E-05 5.04E-06 1.88E-07 5.04E-06 1.61E-05	-216.7378336	1510.629989	10.65268584	3368	0.885	2542.489	5.95E-03 -2.05E-03 -1.53E-03 -2.05E-03 5.80E-03 6.05E-04 -1.53E-03 6.05E-04 5.02E-03
6	-219.256153	1499.22678	-27.736907	3339	0.777	2016.851	2.65E-05 1.32E-05 1.09E-06 1.32E-05 3.09E-05 1.62E-06 1.09E-06 1.62E-06 1.11E-05	-219.1972707	1499.18958	-27.7111703	3368	0.885	2542.489	5.91E-03 -2.47E-03 -1.07E-03 -2.47E-03 5.39E-03 6.63E-04 -1.07E-03 6.63E-04 2.82E-03

Gambar 3.35 Matrik kovarian Epok1 dan Epok2 yang sudah dimasukkan pada tabel perhitungan deformasi di Microsoft Excel

3. Masukan nilai matrik *Jakobian* ( $J$ ) dan matrik  $\sum_{xx}$  yang terdapat di Persamaan (2.50, 2.51) pada sisi luar tabel perhitungan deformasi pada *Excel* untuk mempermudah proses perhitungan, selanjutnya perhitungan Varian Dari Vektor D ( $Q_{dd}$ ) dapat di hitung dengan Persamaan (2.49)



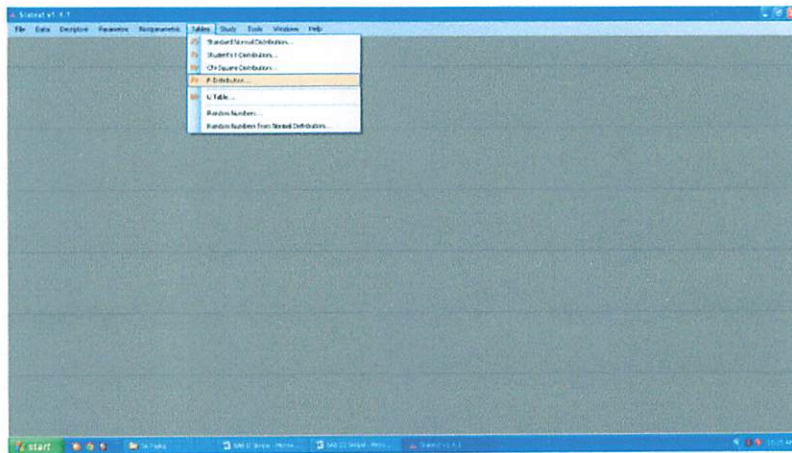
Gambar 3.36 Perhitungan Varian Dari Vektor D ( $Q_{dd}$ ) di sisi luar tabel perhitungan deformasi pada *Microsoft Excel*

### 3.3.2.4 Uji Statistik

Dalam proses Uji Statistik, data yang di butuhkan adalah Distribusi  $T$  dan Sebaran Fisher ( $F$ ). Nilai distribusi  $T$  di hitung dengan Persamaan (2.62), dan penyelaian persamaan tersebut di hitung dengan Persamaan (2.49, 2.63-2.69).

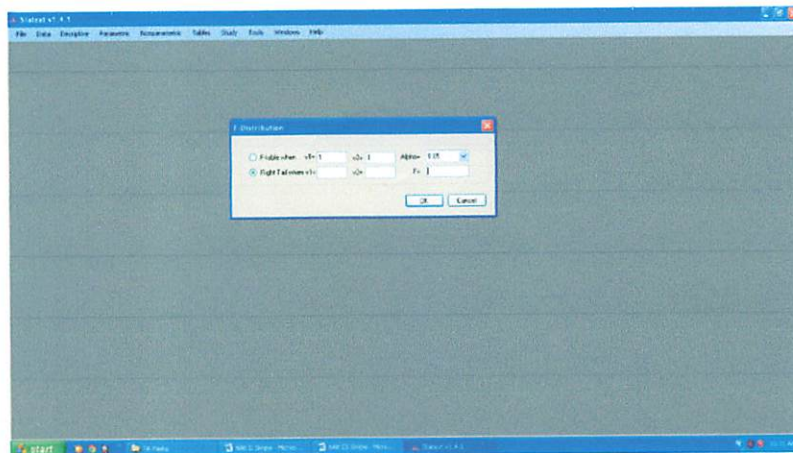
Untuk penentuan Sebaran Fisher ( $F$ ) di bantu dengan penggunaan perangkat lunak *staxtext v141*. Untuk proses hitunganya di lakukan langkah sebagai berikut : buka *staxtext v141* dan pada table pilih F-Distribution.





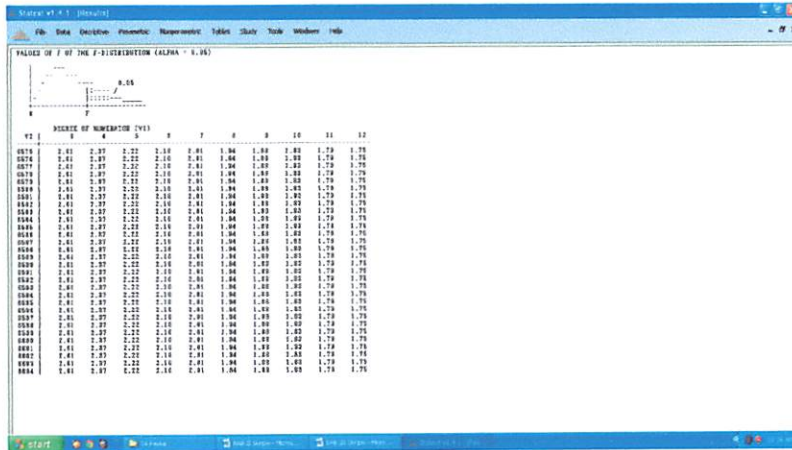
Gambar 3.37 Perangkat Lunak Statext v141 untuk pilihan F-Distribution

kemudian pilih tables lalu masukan nilai alpha yaitu 0.1 untuk kepercayaan 90%, 0.05 untuk kepercayaan 95%, dan 0.01 untuk kepercayaan 99%. setelah itu masukan nilai parameter rank( $V1$ ) dan  $DoF$  totalnya ( $V2$ ).



Gambar 3.38 Pengaturan nilai  $V1$  dan  $V2$  dengan tingkat kepercayaan 95%

Setelah itu klik ok, maka nilainya akan keluar.



Gambar 3.39 Hasil nilai ambang batas  $V1$  dan  $V2$  dengan tingkat kepercayaan 95%

Dari Perhitungan dan langkah-langkah di atas sehingga menghasilkan nilai Distribusi T dan sebaran fisher ( $F$ ), maka Uji statistik dapat di lakukan dengan ketentuan sebagai berikut: apabila nilai distribusi  $T > F$  maka objek tersebut dinyatakan bergeser, namun sebaliknya apabila nilai distribusi  $T < F$  maka objek tidak bergeser.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Proses Pengolahan Data Tiap Epok Pada Australis

Hasil perhitungan menggunakan perangkat lunak *Australis 6.05* dan proses pengolahan data tiap epok pada *Australis* menghasilkan nilai-nilai adalah sebagai berikut:

##### 4.1.1 Data Koordinat Tiap Epok

Berikut adalah sebagian contoh data koordinat dari proses pengolahan Data pada *Australis* (untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada lampiran):

Tabel 4.1 Data koordinat Epok 1 pada penampang A

Label	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
1	-253.3409	1545.2712	0.1207
2	-255.4044	1534.2179	-35.5863
3	-255.9698	1522.9919	-69.1566
4	-258.0964	1510.3796	-108.8044
5	-216.7686	1510.6699	10.6462

Tabel 4.2 Data koordinat Epok 2 pada penampang A hasil dari transformasi

Label	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
1	-253.3831	1545.3305	0.0691
2	(Titik Target Rusak)		
3	-255.9336	1522.9191	-69.1867
4	-258.0868	1510.3871	-108.7766
5	-216.7378	1510.6300	10.6527

Tabel 4.3 Data koordinat Epok 3 pada penampang A hasil dari transformasi

Label	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
1	-253.409	1545.329	0.090909
2	(Titik Target Rusak)		
3	-255.924	1522.922	-69.1693
4	-258.092	1510.392	-108.794
5	-216.749	1510.653	10.67859

Tabel 4.4 Data koordinat Epok 4 pada penampang A hasil dari transformasi

Label	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
1	-253.422	1545.374	0.07684
2	(Titik Target Rusak)		
3	-255.922	1522.921	-69.1749
4	-258.07	1510.338	-108.789
5	-216.721	1510.66	10.69068

Tabel 4.5 Data koordinat Epok 5 pada penampang A hasil dari transformasi

Label	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
1	-253.457	1545.386	0.065478
2	(Titik Target Rusak)		
3	-255.931	1522.906	-69.1794
4	-258.066	1510.356	-108.784
5	-216.758	1510.629	10.68601

Tabel 4.6 Data koordinat Epok 6 pada penampang A hasil dari transformasi

Label	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
1	-253.443	1545.365	0.050383
2	(Titik Target Rusak)		
3	-255.927	1522.918	-69.1775
4	-258.073	1510.358	-108.781
5	-216.738	1510.633	10.67404

#### 4.1.2 Data *Bundle Adjustment* Pada *Australis*

Berikut adalah sebagian contoh data *Bundle Adjustment* dari proses pengolahan Data pada *Australis* (untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada lampiran):

Tabel 4.7 Data *Bundle Adjustment* Epok 1-6 pada Penampang A

Pengamatan	Total Residuals (RMS) (unit micrometres)			Sigma0	DoF	Observations	Parameters	Constraints
	X	Y	Total					
Epok 1	0.4	0.34	0.37	0.777	3339	3714	382	7
Epok 2	0.46	0.36	0.41	0.865	3398	3782	391	7
Epok 3	0.39	0.3	0.35	0.737	3436	3820	391	7
Epok 4	0.38	0.29	0.34	0.719	3098	3464	373	7
Epok 5	0.39	0.33	0.36	0.758	3154	3520	373	7
Epok 6	0.39	0.32	0.35	0.747	3154	3520	373	7

#### 4.1.3 Data Parameter Dan Presisi *Transformasi* Koordinat Ke Sistem Epok 1 Pada *Australis*

Berikut adalah sebagian contoh data *Transformasi* koordinat dan presisi *Transformasi* dari proses pengolahan Data pada *Australis* (untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada lampiran):

Tabel 4.8 Data *Transformasi* koordinat Epok 2 ke sistem Epok 1 pada Penampang A

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	16160.01	0.927054
Yo(mm)	23349.09	0.861991
Zo(mm)	-4188.61	1.544084
Scale	0.074421	0.000586
Omega	-10.8153	0.004402
Phi	16.02401	0.00578
Kappa	100.8305	0.002807

Tabel 4.9 Data *Transformasi* koordinat Epok 3 ke sistem Epok 1 pada Penampang A

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	48.78867	0.186166
Yo(mm)	-59.051	0.163276
Zo(mm)	-19.9686	0.320458
Scale	0.421062	0.000119
Omega	1.483866	0.006031
Phi	2.538012	0.005593
Kappa	1.844435	0.003295

bel 4.10 Data *Transformasi* koordinat Epok 4 ke sistem Epok 1 pada Penampang A

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	304.4792	0.112592
Yo(mm)	420.0865	0.102349
Zo(mm)	-79.2161	0.192051
Scale	0.777793	0.000072
Omega	5.772159	0.00733
Phi	2.045964	0.005544
Kappa	9.568939	0.003692

bel 4.11 Data *Transformasi* koordinat Epok 5 ke sistem Epok 1 pada Penampang A

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	7227.806	0.684171
Yo(mm)	5012.676	0.745799
Zo(mm)	-1184.99	1.316843
Scale	0.151867	0.000487
Omega	-0.29456	0.0116
Phi	13.4666	0.004536
Kappa	52.49886	0.004681

bel 4.12 Data *Transformasi* koordinat Epok 6 ke sistem Epok 1 pada Penampang A

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	3318.143	0.280611
Yo(mm)	2378.007	0.30516
Zo(mm)	-663.945	0.535825
Scale	0.314984	0.000199
Omega	0.796372	0.009934
Phi	14.97146	0.003704
Kappa	49.49266	0.004013

## 4.2 Hasil Perhitungan Nilai Vektor Pergeseran ( $\vec{D}$ ) Dan Matrik Kovarian

( $Q_{\vec{a}\vec{a}}$ ) Menggunakan *Microsoft Excel*

Setelah dihitung menggunakan *Microsoft Excel* dengan Persamaan (2.9, 2.49-2.51) dapat dilihat nilai Vektor Pergeseran ( $\vec{D}$ ) dan Matrik Kovarian ( $Q_{\vec{a}\vec{a}}$ ) adalah sebagai berikut (untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada lampiran):

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Nilai Vektor Pergeseran Dan Matrik Kovarian Epok1 Terhadap Epok2 Pada Penampang A Menggunakan *Microsoft Excel*.

POINT ID	VALUE			COVARIANCE MATRIX (Qdd)	TRACE Qdd	D		
	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)					
1	-0.0423	0.0593	-0.0516	8.91E-03 -3.89E-03 -2.51E-03	-3.89E-03 1.20E-02 -4.84E-04	-2.51E-03 -4.84E-04 6.29E-03	0.1649	0.0893
2	(Titik Target Rusak)							
3	0.0363	-0.0728	-0.0301	9.22E-03 -5.59E-03 -1.51E-03	-5.59E-03 1.07E-02 4.82E-04	-1.51E-03 4.82E-04 2.73E-03	0.1504	0.0867
4	0.0097	0.0075	0.0278	8.48E-03 -4.07E-03 -1.16E-03	-4.07E-03 7.65E-03 -1.85E-04	-1.16E-03 -1.85E-04 2.70E-03	0.1372	0.0304
5	0.0308	-0.0399	0.0065	5.98E-03 -2.04E-03 -1.53E-03	-2.04E-03 5.83E-03 6.10E-04	-1.53E-03 6.10E-04 5.03E-03	0.1298	0.0509



Tabel 4.14 Hasil Perhitungan Nilai Vektor Pergeseran Dan Matrik Kovarian Epok1 Terhadap Epok3 Pada Penampang A Menggunakan *Microsoft Excel*.

POINT ID	VALUE			COVARIANCE MATRIX (Qdd)	TRACE Qdd	D		
	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)					
1	-0.0423	0.0593	-0.0516	8.91E-03 -3.89E-03 -2.51E-03	-3.89E-03 1.20E-02 -4.84E-04	-2.51E-03 -4.84E-04 6.29E-03	0.1649	0.0893
2	(Titik Target Rusak)							
3	0.0363	-0.0728	-0.0301	9.22E-03 -5.59E-03 -1.51E-03	-5.59E-03 1.07E-02 4.82E-04	-1.51E-03 4.82E-04 2.73E-03	0.1504	0.0867
4	0.0097	0.0075	0.0278	8.48E-03 -4.07E-03 -1.16E-03	-4.07E-03 7.65E-03 -1.85E-04	-1.16E-03 -1.85E-04 2.70E-03	0.1372	0.0304
5	0.0308	-0.0399	0.0065	5.98E-03 -2.04E-03 -1.53E-03	-2.04E-03 5.83E-03 6.10E-04	-1.53E-03 6.10E-04 5.03E-03	0.1298	0.0509

Tabel 4.15 Hasil Perhitungan Nilai Vektor Pergeseran Dan Matrik Kovarian Epok1 Terhadap Epok4 Pada Penampang A Menggunakan *Microsoft Excel*.

POINT ID	VALUE			COVARIANCE MATRIX (Qdd)	TRACE Qdd	D		
	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)					
1	-0.0423	0.0593	-0.0516	8.91E-03 -3.89E-03 -2.51E-03	-3.89E-03 1.20E-02 -4.84E-04	-2.51E-03 -4.84E-04 6.29E-03	0.1649	0.0893
2	(Titik Target Rusak)							
3	0.0363	-0.0728	-0.0301	9.22E-03 -5.59E-03 -1.51E-03	-5.59E-03 1.07E-02 4.82E-04	-1.51E-03 4.82E-04 2.73E-03	0.1504	0.0867
4	0.0097	0.0075	0.0278	8.48E-03 -4.07E-03 -1.16E-03	-4.07E-03 7.65E-03 -1.85E-04	-1.16E-03 -1.85E-04 2.70E-03	0.1372	0.0304
5	0.0308	-0.0399	0.0065	5.98E-03 -2.04E-03 -1.53E-03	-2.04E-03 5.83E-03 6.10E-04	-1.53E-03 6.10E-04 5.03E-03	0.1298	0.0509

Tabel 4.16 Hasil Perhitungan Nilai Vektor Pergeseran Dan Matrik Kovarian Epok1 Terhadap Epok5 Pada Penampang A Menggunakan *Microsoft Excel*.

POINT ID	VALUE			COVARIANCE MATRIX (Qdd)	TRACE Qdd	D		
	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)					
1	-0.0423	0.0593	-0.0516	8.91E-03 -3.89E-03 -2.51E-03	-3.89E-03 1.20E-02 -4.84E-04	-2.51E-03 -4.84E-04 6.29E-03	0.1649	0.0893
2	(Titik Target Rusak)							
3	0.0363	-0.0728	-0.0301	9.22E-03 -5.59E-03 -1.51E-03	-5.59E-03 1.07E-02 4.82E-04	-1.51E-03 4.82E-04 2.73E-03	0.1504	0.0867
4	0.0097	0.0075	0.0278	8.48E-03 -4.07E-03 -1.16E-03	-4.07E-03 7.65E-03 -1.85E-04	-1.16E-03 -1.85E-04 2.70E-03	0.1372	0.0304
5	0.0308	-0.0399	0.0065	5.98E-03 -2.04E-03 -1.53E-03	-2.04E-03 5.83E-03 6.10E-04	-1.53E-03 6.10E-04 5.03E-03	0.1298	0.0509

Tabel 4.17 Hasil Perhitungan Nilai Vektor Pergeseran Dan Matrik Kovarian Epok1 Terhadap Epok6 Pada Penampang A Menggunakan *Microsoft Excel*.

POINT ID	VALUE			COVARIANCE MATRIX (Qdd)	TRACE Qdd	D		
	DX (mm)	DY (mm)	DZ (mm)					
1	-0.0423	0.0593	-0.0516	8.91E-03 -3.89E-03 -2.51E-03	-3.89E-03 1.20E-02 -4.84E-04	-2.51E-03 -4.84E-04 6.29E-03	0.1649	0.0893
2	(Titik Target Rusak)							
3	0.0363	-0.0728	-0.0301	9.22E-03 -5.59E-03 -1.51E-03	-5.59E-03 1.07E-02 4.82E-04	-1.51E-03 4.82E-04 2.73E-03	0.1504	0.0867
4	0.0097	0.0075	0.0278	8.48E-03 -4.07E-03 -1.16E-03	-4.07E-03 7.65E-03 -1.85E-04	-1.16E-03 -1.85E-04 2.70E-03	0.1372	0.0304
5	0.0308	-0.0399	0.0065	5.98E-03 -2.04E-03 -1.53E-03	-2.04E-03 5.83E-03 6.10E-04	-1.53E-03 6.10E-04 5.03E-03	0.1298	0.0509

Dari perhitungan di atas dapat di analisa dengan ketentuan ialah sebagai berikut:

TRACE Qdd <  $\bar{D}$  = Benar adanya pergeseran

TRACE Qdd >  $\bar{D}$  = Dapat di perkirakan akibat getaran atau hal lainnya

### 4.3 Data Hasil Uji Statistik

Dalam perhitungan Uji statistik, jenis uji statistik yang digunakan adalah *Fisher Test*, dimana fungsi F-test dalam deformasi yaitu untuk menentukan kestabilan nilai vektor pergeseran pada suatu objek. Dalam perhitungan uji statistik, nilai yang di tentukan adalah nilai sebaran Fisher (F) yang dihasilkan menggunakan bantuan perangkat lunak *Statext v141*, dan nilai distribusi T yang dihitung dengan Persamaan (2.49, 2.62-2.69). Berikut adalah data hasil uji Statistik yang dihitung menggunakan *Microsft Excel* (untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada lampiran):

Tabel 4.18 Data Hasil Uji Statistik Epok1 Terhadap Epok2 pada Penampang A

No	T	STATISTIC TEST (F)			ANALISYS					
		90%	95%	99%	T > F	T < F	T > F	T < F	T > F	T < F
		a = 0.1	a = 0.05	a = 0.01						
1	0.0002	2.08	2.61	3.78	-	√	-	√	-	√
2	(Titik Target Rusak)									
3	0.0001	2.08	2.61	3.78	-	√	-	√	-	√
4	0.0001	2.08	2.61	3.78	-	√	-	√	-	√
5	0.0001	2.08	2.61	3.78	-	√	-	√	-	√

Tabel 4.19 Data Hasil Uji Statistik Epok1 Terhadap Epok3 pada Penampang A

No	T	STATISTIC TEST (F)			ANALISYS					
		90%	95%	99%	T > F	T < F	T > F	T < F	T > F	T < F
		a = 0.1	a = 0.05	a = 0.01						
1	0.0115	2.08	2.61	3.78	-	√	-	√	-	√
2	(Titik Target Rusak)									
3	0.0111	2.08	2.61	3.78	-	√	-	√	-	√
4	0.0005	2.08	2.61	3.78	-	√	-	√	-	√
5	0.0035	2.08	2.61	3.78	-	√	-	√	-	√

Tabel 4.20 Data Hasil Uji Statistik Epok1 Terhadap Epok4 pada Penampang A

No	T	STATISTIC TEST (F)			ANALISYS					
		90%	95%	99%	T > F	T < F	T > F	T < F	T > F	T < F
		a = 0.1	a = 0.05	a = 0.01						
1	0.0680	2.08	2.61	3.78	-	√	-	√	-	√
2	(Titik Target Rusak)									
3	0.0296	2.08	2.61	3.78	-	√	-	√	-	√
4	0.0116	2.08	2.61	3.78	-	√	-	√	-	√
5	0.0220	2.08	2.61	3.78	-	√	-	√	-	√

Tabel 4.21 Data Hasil Uji Statistik Epok1 Terhadap Epok5 pada Penampang A

No	T	STATISTIC TEST (F)			ANALISYS					
		90%	95%	99%	T > F	T < F	T > F	T < F	T > F	T < F
		a = 0.1	a = 0.05	a = 0.01						
1	0.0049	2.08	2.61	3.78	-	√	-	√	-	√
2	(Titik Target Rusak)									
3	0.0008	2.08	2.61	3.78	-	√	-	√	-	√
4	0.0005	2.08	2.61	3.78	-	√	-	√	-	√
5	0.0007	2.08	2.61	3.78	-	√	-	√	-	√

Tabel 4.22 Data Hasil Uji Statistik Epok1 Terhadap Epok6 pada Penampang A

No	T	STATISTIC TEST (F)			ANALISYS					
		90%	95%	99%	T > F	T < F	T > F	T < F	T > F	T < F
		a = 0.1	a = 0.05	a = 0.01						
1	0.0198	2.08	2.61	3.78	-	√	-	√	-	√
2	(Titik Target Rusak)									
3	0.0032	2.08	2.61	3.78	-	√	-	√	-	√
4	0.0019	2.08	2.61	3.78	-	√	-	√	-	√
5	0.0028	2.08	2.61	3.78	-	√	-	√	-	√

Apabila nilai distribusi  $T > F$  maka objek tersebut dinyatakan bergeser, namun sebaliknya apabila nilai distribusi  $T < F$  maka objek tidak bergeser.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil selama proses pelaksanaan penelitian dengan judul “Pemantauan Deformasi Menggunakan Kamera Digital Non-Metrik Auto-Fokus Di Jembatan Layang Arjosari Dan Jembatan Kereta Api Lawang” adalah sebagai berikut:

1. Pemantauan deformasi menggunakan kamera digital SLR adalah metode pemantauan yang sederhana dan dapat terjangkau untuk hampir semua kalangan masyarakat, pemerintah, serta pihak-pihak lain yang bersangkutan karena penggunaan metode ini masih tergolong murah.
2. Ketelitian kamera digital SLR Non-Metrik Auto-Fokus sudah sangat bagus, sehingga dapat digunakan untuk mendeteksi deformasi objek, dalam hal ini standart deviasi pengukuran menggunakan kamera digital SLR Nikon D3100 dibawah 1 milimeter.
3. Untuk mengatasi ketidakstabilan kamera, koreksi karena kesalahan kamera dilakukan metode *self-calibration*.
4. Nilai vektor pergeseran dari data multi epok pada jangka waktu 6 bulan, dari hasil uji statistik tidak menunjukkan adanya deformasi pada objek yang diamati.

## 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian dengan judul “Pemantauan Deformasi Menggunakan Kamera Digital Non-Metrik Auto-Fokus Di Jembatan Layang Arjosari Dan Jembatan Kereta Api Lawang” adalah sebagai berikut:

1. Faktor pencahayaan perlu diperhatikan untuk mendapat kualitas foto yang baik, data foto yang mendapatkan pencahayaan berlebih akan memiliki ketelitian yang tidak bagus karena sangat mempengaruhi dalam penentuan centroid pada stiker *retro reflective target*. untuk mengatasi hal tersebut pencahayaan dari kamera dapat diatur pada pengaturan kamera.
2. Pemotretan sebaiknya dilakukan pada malam hari agar stiker *retro reflective target* dapat memantulkan cahaya dengan bagus sehingga kualitas data foto yang diperoleh dapat lebih baik seperti yang diharapkan.
3. Jangka waktu pengamatan deformasi sebaiknya lebih dari 6 bulan agar dapat menemukan adanya pergeseran dalam jangka waktu tertentu.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H.Z. 2006. *Pembangunan Perisian Bagi Pengesanan Deformasi Menggunakan Kaedah Geodetik*.
- Atkinson. 1996. *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Whittles Publishing. Scotland. UK.
- Atkinson. 1980. *Developments in Close Range Photogrammetry-1*. Applied Science Publishers. London.
- Brown, D. C. 1974. *Evolution, Application and Potential of Bundle Method of Photogrammetric Triangulation*. Melbourne, Florida, Geodetic Service, Inc: 95.
- Cooper, M.A.R. and Robson, S. 2001. *Theory Of Range Photogrametry*. Wittles Publishing, London.
- Effendi, Fauzi. 2000. *Teknik Close Range Photogrammetry Untuk Pemantauan Deformasi*. Skripsi Sarjana Departemen Teknik Geodesi ITB. Bandung.
- Fraser, C. S. 1997. *Photogrammetric Orientation: Transformation from Image to Object Space*. Photogrammetry 451-447. Melbourne, The University of Melbourne.
- Ghos, S.K. 2005. *Fundamental of Computational Photogrammetry*. Concept Publising Co.
- Hanifah. 2007. *Studi Penggunaan Kamera Digital Low-Cost Non-Metrik Auto-Focus Untuk Pemantauan deformasi*.
- Harley, R.I. 1992. *Estimation of Relative Camera Position for Uncalibrated Cameras*. ECCV. 579-587.
- Heindl, F. J. 1981. *Direct Editing of Normal Equations of the Banded-Bordered Form*. Photogrammetric Engineering And Remote Sensing 47(4): 489-493.
- Leitch, Kenneth. 2002. *Close Range Photogrammetric Measurement of Bridge Deformation*. Disertasi New Mexico State University. Meksiko.
- Mcglone, J.C. 1989. *Analytic Data-Reduction Schemes in Non-Topographic Photogrammetry*, Falls Church, Virginia. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.



- Mikhail, E. M., Bethel, J. S. & Mcglone, J. C. 2001. *Introduction to Modern Photogrammetry*. John Wiley & Sons Inc. Brisbane.
- Rampal, K. K. (1979). *A Closed-Form Solution for Space Resection*. journal of the American Society of Photogrammetry, No. AP9 ASP vol 45.
- Santoso, B. 2004a. *Review Fotogrametri: Teknik Pengadaan Data & Sistem Pemetaan*. Program Magister Departemen Teknik Geodesi dan Geomatika. Institut Teknologi Bandung.
- Sarsito, DA. 1992. *Model Matematika Status Geometrik Deformasi (Studi Kasus: DAM)*. Skripsi Sarjana Departemen Teknik Geodesi ITB. Bandung.
- Schut, G., H. 1980. *Block Adjustment of Bundle*. The Canadian Surveyor 34 (2): 139-152.
- Shirkhani, A., D. M. Varshosaz, et al. 2006. *3D Coordinate Measurement of Dam by Close Range Photogrammetry*. Department of Photogrammetry and Remote Sensing. Tehran, K.N. Toosi University of Technology.
- Suwardhi, D. 2007. *Development of Multi Resolution Dense Correspondence Models to Enhance Craniofacial Geometric Morphometric Database System*. Draft Disertasi. Universiti Teknologi Malaysia.
- T.Y. Shih and W. Faig (1988). *A Solution For Space Resection in Closed-Form*.
- Triggs, B., P. McLauchlan, F., et al. 2000. *Bundle Adjustment-A Modern Synthesis*. Lecture Notes in Computer Science 1883: 298-372.
- Wolf, P.R. 1993. *Element of Photogrammetry With Air Photo Interpretation and Remote Sensing, Second Edition*. Madison, The University of Wisconsin.
- Wolf, P. R. and B. A. Dewitt. 2000. *Element of Photogrammetry With Applications in GIS*. Madison, Thomas Casson.
- Wong, 1980. *Manual of Photogrammetry*.

# LAMPIRAN A

**DATA BUNDLE ADJUSTMENT DARI PROSES PENGOLAHAN DATA PADA  
PERANGKAT LUNAK AUSTRALIS**

Data Bundle Adjustment Epoch 1-6 pada Penampang A

Pengamatan	Total Residuals (RMS) (unit micrometres)			Sigma0	DoF	Observations	Parameters	Constraints
	X	Y	Total					
Epok 1	0.4	0.34	0.37	0.777	3339	3714	382	7
Epok 2	0.46	0.36	0.41	0.865	3398	3782	391	7
Epok 3	0.39	0.3	0.35	0.737	3436	3820	391	7
Epok 4	0.38	0.29	0.34	0.719	3098	3464	373	7
Epok 5	0.39	0.33	0.36	0.758	3154	3520	373	7
Epok 6	0.39	0.32	0.35	0.747	3154	3520	373	7

Data Bundle Adjustment Epoch 1-6 pada Penampang B

Pengamatan	Total Residuals (RMS) (unit micrometres)			Sigma0	DoF	Observations	Parameters	Constraints
	X	Y	Total					
Epok 1	0.38	0.33	0.35	0.746	3494	3884	397	7
Epok 2	0.39	0.28	0.34	0.717	3906	4314	415	7
Epok 3	0.38	0.3	0.34	0.721	3390	3768	385	7
Epok 4	0.45	0.4	0.42	0.896	3274	3646	379	7
Epok 5	0.32	0.26	0.29	0.615	3264	3636	379	7
Epok 6	0.36	0.3	0.33	0.693	3192	3564	379	7

Data Bundle Adjustment Epoch 1-6 pada Penampang C

Pengamatan	Total Residuals (RMS) (unit micrometres)			Sigma0	DoF	Observations	Parameters	Constraints
	X	Y	Total					
Epok 1	0.39	0.34	0.37	0.775	3409	3790	388	7
Epok 2	0.33	0.28	0.31	0.646	3497	3884	394	7
Epok 3	0.34	0.26	0.31	0.643	3587	3980	400	7
Epok 4	0.37	0.31	0.34	0.717	3115	3478	370	7
Epok 5	0.31	0.24	0.28	0.591	3121	3484	370	7
Epok 6	0.35	0.28	0.32	0.674	3117	3480	370	7

Data Bundle Adjustment Epoch 1-6 pada Penampang D

Pengamatan	Total Residuals (RMS) (unit micrometres)			Sigma0	DoF	Observations	Parameters	Constraints
	X	Y	Total					
Epok 1	0.38	0.34	0.36	0.756	3919	4330	418	7
Epok 2	0.4	0.32	0.36	0.767	3333	3714	388	7
Epok 3	0.38	0.29	0.34	0.716	3201	3570	376	7
Epok 4	0.4	0.29	0.35	0.739	3079	3442	370	7
Epok 5	0.39	0.31	0.35	0.746	3079	3442	370	7
Epok 6	0.43	0.32	0.38	0.801	3083	3446	370	7

Data Bundle Adjustment Epoch 1-6 pada Penampang E

Pengamatan	Total Residuals (RMS) (unit micrometres)			Sigma0	DoF	Observations	Parameters	Constraints
	X	Y	Total					
Epok 1	0.27	0.24	0.25	0.533	5261	5822	568	7
Epok 2	0.31	0.26	0.28	0.597	5689	6286	604	7
Epok 3	0.27	0.26	0.27	0.562	5291	5864	580	7
Epok 4	0.32	0.24	0.28	0.597	5123	5684	568	7
Epok 5	0.35	0.29	0.32	0.679	5155	5716	568	7
Epok 6	0.3	0.27	0.29	0.602	5217	5778	568	7

Data Bundle Adjustment Epoch 1-6 pada Penampang F

Pengamatan	Total Residuals (RMS) (unit micrometres)			Sigma0	DoF	Observations	Parameters	Constraints
	X	Y	Total					
Epok 1	0.26	0.25	0.25	0.537	5113	5692	586	7
Epok 2	0.3	0.3	0.3	0.634	4925	5480	562	7
Epok 3	0.36	0.34	0.35	0.735	4701	5256	562	7
Epok 4	0.33	0.31	0.32	0.681	4485	5046	568	7
Epok 5	0.35	0.32	0.34	0.72	4469	5030	568	7
Epok 6	0.39	0.33	0.36	0.762	4349	4892	550	7

**DATA PARAMETER DAN PRESISI TRANSFORMASI KOORDINAT KE SISTEM  
EPOK 1 PADA PERANGKAT LUNAK AUSTRALIS**

• **Data Parameter Dan Presisi Transformasi Koordinat Epok 2 Ke Sistem Epok 1**

**Penampang A**

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	16160.01	0.927054
Yo(mm)	23349.09	0.861991
Zo(mm)	-4188.61	1.544084
Scale	0.074421	0.000586
Omega	-10.8153	0.004402
Phi	16.02401	0.00578
Kappa	100.8305	0.002807

**Penampang B**

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	-83.247	0.080471
Yo(mm)	34.77367	0.069022
Zo(mm)	-8.06344	0.120708
Scale	0.883373	0.000052
Omega	-2.59911	0.004824
Phi	1.198592	0.005041
Kappa	-2.79725	0.002999

**Penampang C**

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	-1400.46	0.041507
Yo(mm)	985.9394	0.0433
Zo(mm)	-232.703	0.074419
Scale	1.477453	0.000018
Omega	-14.1168	0.002872
Phi	-9.0945	0.002592
Kappa	-81.4659	0.001714

**Penampang D**

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	-3992.49	0.353765
Yo(mm)	4121.205	0.403614
Zo(mm)	-1211.84	0.444526
Scale	1.446659	0.000058
Omega	-16.6606	0.007271
Phi	-15.928	0.00649
Kappa	-92.061	0.006206

**Penampang E**

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	-155.371	0.074245
Yo(mm)	-398.56	0.072763
Zo(mm)	62.93561	0.874019
Scale	0.762549	0.000035
Omega	-1.44531	0.018668
Phi	-1.13022	0.007197
Kappa	-2.66833	0.001542

**Penampang F**

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	-283.541	0.096899
Yo(mm)	-130.545	0.078653
Zo(mm)	39.13402	0.906858
Scale	4.563784	0.000005
Omega	-3.79648	0.016538
Phi	0.556481	0.004869
Kappa	-6.07493	0.001567

- Data Parameter Dan Presisi Transformasi Koordinat Epok 3 Ke Sistem Epok 1**

**Penampang A**

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	48.78867	0.186166
Yo(mm)	-59.051	0.163276
Zo(mm)	-19.9686	0.320458
Scale	0.421062	0.000119
Omega	1.483866	0.006031
Phi	2.538012	0.005593
Kappa	1.844435	0.003295

**Penampang B**

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	-4822.91	0.385255
Yo(mm)	2707.233	0.411416
Zo(mm)	-549.397	0.661247
Scale	0.219553	0.00028
Omega	-0.93808	0.008751
Phi	-7.16868	0.003545
Kappa	-49.925	0.003869

**Penampang C**

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	-6320.73	0.113693
Yo(mm)	4206.748	0.119589
Zo(mm)	-776.551	0.206502
Scale	0.330386	0.00005
Omega	-12.4582	0.001848
Phi	-8.28157	0.001517
Kappa	-77.3917	0.001058

**Penampang D**

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	-12386.4	1.099912
Yo(mm)	14435.49	1.260254
Zo(mm)	-3302.74	1.37888
Scale	0.435139	0.000182
Omega	-14.7137	0.006543
Phi	-13.4519	0.006259
Kappa	-95.5634	0.005745

**Penampang E**

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	1582.609	0.254276
Yo(mm)	31.2004	0.233811
Zo(mm)	-8.77774	2.797562
Scale	0.216458	0.000112
Omega	-0.41482	0.017964
Phi	1.740129	0.002876
Kappa	10.03267	0.001557

**Penampang F**

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	-360.667	0.300689
Yo(mm)	-301.258	0.272764
Zo(mm)	528.8481	3.064381
Scale	0.9915	0.000017
Omega	-4.2246	0.011842
Phi	-0.59686	0.004443
Kappa	-1.76344	0.001049

- Data Parameter Dan Presisi Transformasi Koordinat Epok 4 Ke Sistem Epok 1**

**Penampang A**

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	304.4792	0.112592
Yo(mm)	420.0865	0.102349
Zo(mm)	-79.2161	0.192051
Scale	0.777793	0.000072
Omega	5.772159	0.00733
Phi	2.045964	0.005544
Kappa	9.568939	0.003692

**Penampang B**

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	-2643	0.219701
Yo(mm)	1138.105	0.232388
Zo(mm)	-185.174	0.37827
Scale	0.410052	0.00016
Omega	-2.44866	0.009293
Phi	-5.90877	0.003777
Kappa	-50.6557	0.004121

**Penampang C**

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	-5853.1	0.282715
Yo(mm)	1074.362	0.280737
Zo(mm)	-84.0506	0.502128
Scale	0.248271	0.000121
Omega	-4.8047	0.003983
Phi	-4.54168	0.001728
Kappa	-39.6168	0.001915

**Penampang D**

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	-2771.05	0.252901
Yo(mm)	2280.681	0.282913
Zo(mm)	-431.829	0.311058
Scale	1.854657	0.000041
Omega	-1.28818	0.007556
Phi	-12.209	0.004429
Kappa	-54.6189	0.005477

**Penampang E**

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	14433.48	0.327378
Yo(mm)	4777.804	0.316938
Zo(mm)	-246.597	3.810107
Scale	0.102019	0.000152
Omega	-0.85669	0.010453
Phi	0.415789	0.005184
Kappa	44.1657	0.000909

**Penampang F**

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	475.9184	0.115378
Yo(mm)	-290.143	0.09962
Zo(mm)	65.08471	1.128993
Scale	3.219397	0.000006
Omega	-1.29513	0.013439
Phi	-0.46539	0.006961
Kappa	5.212129	0.001268



• **Data Parameter Dan Presisi Transformasi Koordinat Epok 5 Ke Sistem Epok 1**

**Penampang A**

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	7227.806	0.684171
Yo(mm)	5012.676	0.745799
Zo(mm)	-1184.99	1.316843
Scale	0.151867	0.000487
Omega	-0.29456	0.0116
Phi	13.4666	0.004536
Kappa	52.49886	0.004681

**Penampang B**

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	-3068.95	0.413636
Yo(mm)	2530.156	0.432211
Zo(mm)	-356.612	0.672688
Scale	0.280725	0.00029
Omega	4.629158	0.01131
Phi	-2.96474	0.005174
Kappa	-37.6253	0.005177

**Penampang C**

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	-2985.7	0.164272
Yo(mm)	1034.178	0.159909
Zo(mm)	-177.316	0.28315
Scale	0.338394	0.000069
Omega	0.670377	0.003022
Phi	-4.91079	0.001479
Kappa	-27.1372	0.001483

**Penampang D**

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	-8004.27	0.967137
Yo(mm)	6067.632	1.002785
Zo(mm)	-945.21	1.130579
Scale	0.514223	0.00015
Omega	1.865399	0.007508
Phi	-8.21642	0.004582
Kappa	-42.3065	0.005482

**Penampang E**

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	1832.997	0.130427
Yo(mm)	-79.4374	0.133604
Zo(mm)	-86.3434	1.567186
Scale	0.411175	0.000063
Omega	0.230267	0.019289
Phi	-0.32715	0.001749
Kappa	20.83579	0.001482

**Penampang F**

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	753.9401	0.377287
Yo(mm)	-520.557	0.324003
Zo(mm)	210.7545	3.674003
Scale	2.148236	0.000021
Omega	-3.59353	0.029149
Phi	-0.41892	0.015184
Kappa	5.346414	0.002763

• **Data Parameter Dan Presisi Transformasi Koordinat Epok 6 Ke Sistem Epok 1**

**Penampang A**

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	3318.143	0.280611
Yo(mm)	2378.007	0.30516
Zo(mm)	-663.945	0.535825
Scale	0.314984	0.000199
Omega	0.796372	0.009934
Phi	14.97146	0.003704
Kappa	49.49266	0.004013

**Penampang B**

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	-4295.08	0.558609
Yo(mm)	2974.167	0.578679
Zo(mm)	-564.343	0.914225
Scale	0.183747	0.000393
Omega	4.037152	0.009964
Phi	-4.21032	0.004716
Kappa	-35.7187	0.004557

**Penampang C**

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	-4756.52	0.163127
Yo(mm)	1725.559	0.167247
Zo(mm)	-226.431	0.29235
Scale	0.328382	0.000071
Omega	-3.1612	0.003074
Phi	-5.97409	0.001355
Kappa	-45.1786	0.001479

**Penampang D**

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	-2485.58	0.238525
Yo(mm)	2025.324	0.268715
Zo(mm)	-336.331	0.294872
Scale	2.083448	0.000039
Omega	-1.90663	0.008002
Phi	-11.2097	0.004729
Kappa	-56.2459	0.00581

**Penampang E**

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	1407.874	0.12337
Yo(mm)	-118.786	0.124719
Zo(mm)	89.01533	1.483041
Scale	0.471194	0.000059
Omega	-1.71381	0.020912
Phi	-0.64382	0.001608
Kappa	17.57377	0.001605

**Penampang F**

Parameter		Standard Error (mm)
Xo(mm)	-523.107	0.32428
Yo(mm)	-262.341	0.263446
Zo(mm)	183.5536	2.928327
Scale	1.724284	0.000017
Omega	-4.49585	0.019906
Phi	0.775064	0.006839
Kappa	-3.41988	0.001951