

MONITORING PERGERAKAN STRUKTUR JEMBATAN DI SEMARANG BERBASIS FOTOGRAMETRI JARAK DEKAT
(STUDI KASUS: JEMBATAN TOL SEMARANG SOLO SEKSI 1 SEMARANG – UNGARAN DI KM 20 DIWILAYAH SUSUKAN, UNGARAN TIMUR, KABUPATEN SEMARANG)

Amran Nur Utomo ¹⁾ Ir. Sutomo Kahar, M.Si. ²⁾ Andri Suprayogi, ST., MT. ³⁾

¹⁾ Mahasiswa Teknik Geodesi Universitas Diponegoro, Semarang

²⁾ Dosen Pembimbing I Teknik Geodesi Universitas Diponegoro, Semarang

³⁾ Dosen Pembimbing II Teknik Geodesi Universitas Diponegoro, Semarang

ABSTRAK

Jembatan merupakan bangunan yang membentangi sungai, jalan, saluran air, jurang dan lain sebagainya untuk menghubungkan kedua tepi yang dibentangi itu agar orang dan kendaraan dapat menyeberang. Secara umum, jembatan mempunyai struktur atas, bangunan bawah dan pondasi.

Kebanyakan pada jembatan mengalami kerusakan fasilitas infrastruktur yang disebabkan oleh keadaan alam, bencana alam, kerusakan pemakaian yang berlebihan maupun penuaan. Maka Perlu dilakukan monitoring / pengamatan secara berkala supaya didapat data yang akurat mengenai pergerakan struktur ataupun deformasi yang terjadi pada suatu jembatan. Selama ini untuk mengetahui informasi mengenai struktur dan perubahan dimensi jembatan belum ada dikarenakan untuk melakukannya memerlukan biaya yang tidak sedikit.

Tugas akhir ini menerapkan metode *Close Range Photogrammetry* (CRP) atau fotogrametri jarak dekat sebagai metode alternatif untuk melakukan pengukuran dalam menentukan deformasi jembatan dengan memanfaatkan teknologi kamera digital non metric. Metode fotogrametri jarak dekat mempunyai kelebihan terutama jika objek yang akan diukur sulit untuk dijangkau atau memiliki dimensi yang kecil. Dengan teknik dan metodologi pengukuran deformasi ataupun struktur jembatan dapat dilakukan secara cepat dan akurat hanya dengan kamera digital SLR.

Kata Kunci : Jembatan, Struktur, Deformasi, Kamera digital SLR, *Close Range Photogrammetry* (CRP)

ABSTRACT

The bridge is a structure that connects the rivers, roads, drains, ravines, etc. to connect the two edges so people and vehicles can cross. In general, the bridge has a structural top, bottom and foundation building.

Most of the bridges were damaged infrastructure facilities caused by natural conditions, natural disasters, damage to the overuse and aging. Then needs to perform monitoring / observation periodically so obtained accurate data on the movement of the structure or deformation that occurs at a bridge. All this to find out information about the structure and dimensions of the bridge has been no change because to do so requires no small cost.

The final task is to apply the method Photogrammetry Close Range (CRP) or close range photogrammetry as an alternative method to measure the deformation of the bridge to determine the use of non-metric digital camera technology. Close range photogrammetry method has the advantage, especially if the object to be measured is difficult to reach or have small dimensions. With the techniques and methodologies for measuring deformation or bridge structure can be performed quickly and accurately with just a digital SLR camera.

Keywords: Bridge, Structure, Deformation, Digital SLR Cameras, Close Range Photogrammetry (CRP)

PENDAHULUAN

Jembatan merupakan bangunan yang membentangi sungai, jalan, saluran air, jurang dan lain sebagainya untuk menghubungkan kedua tepi yang dibentangi itu agar orang dan kendaraan dapat menyeberang. Secara umum, jembatan mempunyai struktur atas, bangunan bawah dan pondasi. Bangunan atas memikul beban lalu lintas kendaraan yang bergerak di atasnya. Beban tersebut disalurkan ke kepala jembatan yang harus didukung pula oleh pondasi. Dalam kasus tertentu dengan bentang yang panjang dibutuhkan pilar yang mendukung beban yang terletak diantara ujung / kepala jembatan.

Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu benda [Kuang,1996]. Sebuah jembatan mencirikan dua macam deformasi yang berbeda, yaitu Gerakanan jangka panjang yang disebabkan oleh pondasi, dek jembatan dan tekanan regangan dan Gerakanan jangka pendek yg disebabkan oleh angin, suhu, pasang surut, gempa bumi dan lalu lintas. Tidak seperti deformasi jembatan jangka panjang, yang tidak dapat kembali ke bentuk aslinya, deformasi jembatan jangka pendek disebut dengan *difleksi (deflection)*. Disebut *difleksi* atau lendutan dikarenakan objek yang terdeformasi akan kembali ke posisi dan bentuknya semula jika terlepas dari seluruh muatannya.

Untuk menyelesaikan masalah pengambilan titik pengukuran permukaan tanah, tugas akhir ini menerapkan metode *Close Range Photogrammetry (CRP)* atau fotogrametri jarak dekat sebagai metode alternatif untuk melakukan pengukuran dalam menentukan deformasi jembatan dengan memanfaatkan teknologi kamera digital non metric. Metode fotogrametri jarak dekat mempunyai kelebihan terutama jika objek yang akan diukur sulit untuk dijangkau atau memiliki dimensi yang kecil.

Perumusan Masalah

Permasalahan yang muncul dari latar belakang penelitian yang telah dijabarkan sebelumnya adalah sebagai berikut :

1. Seberapa besar deformasi yang terjadi pada Jembatan penggaron di ruas jalan tol Semarang – Solo Seksi 1 Semarang – ungaran, di Km 20 di wilayah Susukan, Ungaran Timur, Kabupaten Semarang?
2. Bagaimanakah pola dari deformasi Jembatan penggaron di ruas jalan tol Semarang – Solo Seksi 1 Semarang – ungaran, di Km 20 di wilayah Susukan, Ungaran Timur, Kabupaten Semarang?
3. Apakah penelitian ini dapat dijadikan sebagai acuan dalam *monitoring* suatu jembatan?

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya deformasi dan pergerakan struktur Jembatan penggaron di ruas jalan tol Semarang – Solo Seksi 1 Semarang – ungaran, di Km 20 di wilayah Susukan, Ungaran Timur, Kabupaten Semarang.

Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang diajukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini dilakukan menggunakan alat Camera Nikon D3100.
2. Studi deformasi dan pergerakan Jembatan penggaron di ruas jalan tol Semarang – Solo Seksi 1 Semarang – ungaran, di Km 20 di wilayah Susukan, Ungaran Timur, Kabupaten Semarang, terhadap posisi muka tanah.

Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut, yaitu :

1. Memberikan pengetahuan mengenai pemanfaatan alat Camera digital untuk pemanfaatan survey deformasi.
2. Dapat membantu dalam proses *updating* data jembatan di Semarang.
3. Memberikan informasi yang nantinya dapat dijadikan acuan *monitoring* dan *controlling* Jembatan Di Semarang.
4. Melalui hasil yang telah diperoleh, bisa digunakan sebagai inspirasi untuk *monitoring* jembatan lainnya.

Metodologi Penelitian

Secara garis besar metode penelitian meliputi beberapa hal berikut ini :

1. Persiapan
Tahap awal penelitian ini meliputi kegiatan studi literatur, dimana segala sumber referensi yang berhubungan dengan tema penelitian akan dikumpulkan demi mempermudah penyelesaian tugas akhir ini. Tahap lain yang perlu dilakukan adalah menghubungi instansi terkait, dalam hal ini Trans Marga Jateng, selaku tempat untuk penelitian.
2. Pengumpulan Data
Tahap penumpulan data merupakan proses lanjutan dari tahap persiapan. Dalam tahap ini, segala data yang telah direncanakan dikumpulkan untuk nantinya akan diolah. Data yang dimaksud adalah data objek , titik kontrol dan titik sekutu yang diteliti. Titik kontrol di lapangan meliputi pengukuran dengan menggunakan *Electronic Total Station* dan Camera Digital SLR Nikon D3100.
3. Pengolahan Data
Pengolahan data hasil pengukuran *Electronic Total Station* dengan menggunakan software *Photo Modeler Scanner*.
4. Analisa dan Kesimpulan
Pada hasil akhir ini dilakukan analisa mengenai vektor arah pergeseran dan seberapa besar deformasi / pergerakan pada jembatan yang diteliti.

DASAR TEORI

Jembatan juga merupakan suatu bangunan pelengkap prasarana lalu lintas darat dengan konstruksi terdiri dari pondasi, struktur bangunan bawah dan struktur. Berdasarkan UU 38 Tahun 2004 bahwa jalan dan juga termasuk bangunan atas jembatan sebagai bagian dari sistem transportasi nasional mempunyai peranan penting terutama dalam mendukung bidang ekonomi, sosial dan budaya serta lingkungan yang dikembangkan melalui pendekatan pengembangan wilayah agar tercapai keseimbangan dan pemerataan pembangunan antar daerah.

Foto grametri dapat di definisikan sebagai seni, ilmu pengetahuan dan teknologi untuk memperoleh informasi yang dapat dipercaya tentang suatu objek fisik dan keadaan di sekitarnya melalui proses perekaman, pengamatan/pengukuran dan interpretasi citra fotografis atau rekaman gambar gelombang elektromagnetik (Dipokusumo, 2001). Salah satu karakteristik fotogrametri adalah pengukuran terhadap objek yang dilakukan tanpa perlu berhubungan ataupun bersentuhan secara langsung dengan objek tersebut. Pengukuran terhadap objek tersebut dilakukan melalui data yang diperoleh dari system sensor yang digunakan.

Fotogrametri Jarak dekat (*Close Range Photogrametry*)

Istilah *Close Range Photogrametry* atau Fotogrametri Jarak dekat diperkenalkan sebagai suatu teknik fotogrametri dengan jarak antara camera dengan objek kurang dari 100 m (Cooper & Robson, 1996). Terminology *Close Range Photogrametry* atau Fotogrametri Jarak dekat muncul pada saat teknik ini digunakan untuk objek dengan jarak kurang dari 100 meter dari posisi kamera. Pada teknik *Close Range Photogrametry* 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 colonel perancis, Laussedat (Atkinson, 1980). Seiring dengan majunya teknologinya kamera dan komputasi digital meningkatkan efektifitas waktu dan tingkat akurasi dari system fotogrametri yang sudah ada. (Leitch, 2002).

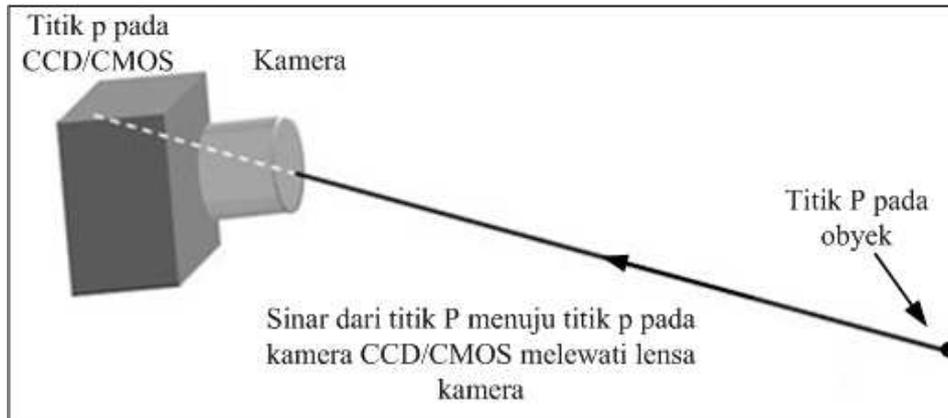
Kamera Digital Dan Sensor Kamera Digital

Kamera merupakan salah satu alat perekam objek yang menggunakan prinsip optic geometric dengan media rekam berupa film, diman dari film tersebut dapat dihasilkan gambar objek dengan bentuk film negatif maupun positif (*diapositif*). Ada dua tipe kamera yang sering digunakan dalam fotogrametri yaitu kamera analog dan kamera digital. Pada kamera analog, media perekaman menggunakan film. Untuk kamera digital, media

perekam berupa sensor *Charge Coupled Device* (CCD) ataupun *Complementary Metal Oxide Semiconductor* (CMOS).

Penentuan Nilai Koordinat Pendekatan Jaringan Pemotretan

Nilai luaran utama dalam sistem ini adalah koordinat titik tengah (lingkaran putih pada stiker) dalam sistem kartesian 3-dimensi (X, Y, Z) pada datum lokal. Pengukuran dilakukan untuk setiap foto, yaitu pengukuran masing-masing centroid lingkaran putih stiker dalam sistem kartesian 2-dimensi (x, y) yang didefinisikan untuk setiap foto. Pengkonversian sistem *piksel* menjadi koordinat foto mengikuti arahan (Cooper dan Robson, 2001). Titik koordinat yang diamati pada foto adalah lokasi jatuhnya berkas sinar pada bidang sensor (CCD atau CMOS) yang dipantulkan dari obyek, seperti diilustrasikan pada Gambar II.3



Gambar 1. Kondisi ideal berkas sinar yang memantul dari obyek ke bidang CCD yang melewati lensa kamera merupakan garis lurus

Didalam kondisi ideal seperti pada Gambar II.3, berkas sinar pantulan dari obyek **P** yang menuju ke titik **p** pada bidang sensor, akan berupa garis lurus (Cooper dan Robson, 2001). Tetapi pada kenyataannya, berkas sinar yang sampai pada bidang sensor telah mengalami pembelokan (*distorsi*) baik karena disebabkan oleh kecacatan dalam proses perakitan dan penyusunan komponen lensa maupun karena ketidakstabilan posisi sensor CCD/CMOS didalam cangkang kamera.

Persamaan garis lurus (persamaan kolinier) antar titik tengah lingkaran pada obyek dan pada foto seperti yang diilustrasikan pada Gambar II.3 adalah sebagai berikut (Mikhail et al., 2001), (Luhmann et al., 2006):

$$\begin{aligned}
 x - x_o + \Delta_x + c \frac{r_{11}(X - X^c) + r_{12}(Y - Y^c) + r_{13}(Z - Z^c)}{r_{31}(X - X^c) + r_{32}(Y - Y^c) + r_{33}(Z - Z^c)} &= 0 \\
 y - y_o + \Delta_y + c \frac{r_{21}(X - X^c) + r_{22}(Y - Y^c) + r_{23}(Z - Z^c)}{r_{31}(X - X^c) + r_{32}(Y - Y^c) + r_{33}(Z - Z^c)} &= 0
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Dimana Δ_x dan Δ_y adalah model kesalahan sistematik dalam arah x dan y, r_{ij} merupakan elemen dari matrik rotasi, x_o, y_o adalah koordinat *principal point*, c adalah panjang fokus kamera, X, Y, Z adalah koordinat 3-dimensi titik-titik obyek (stiker), X^c, Y^c, Z^c adalah koordinat 3-dimensi kamera saat pemotretan, dan x, y merupakan koordinat foto, yaitu satu-satunya informasi yang diketahui (*known observation*) dari pengukuran langsung, sedangkan parameter yang lain tidak diketahui nilainya (*unknown*). Untuk setiap pengukuran koordinat foto akan menghasilkan sepasang persamaan garis lurus (Persamaan 2).

Perataan Berkas Sinar (*Bundle adjustment*)

Jika Persamaan 2 dilinierisasikan dengan deret Taylor akan menjadi persamaan linier berupa:

$$v_{(2mn),1} = A_1 \delta_1 + A_2 \delta_2 + A_3 \delta_3 + w_{(2mn,1)} \quad (2)$$

Jika m adalah jumlah foto yang terlibat dalam pemotretan dan n adalah banyaknya titik-titik obyek yang diamati, maka vektor v akan berisikan 2mn buah nilai residu pengukuran koordinat foto. Matrik A₁ berisikan turunan terhadap parameter orientasi luar dan berdimensi 2mn x 6m; matrik A₂ berisikan 2mn x 3n elemen turunan terhadap titik-titik obyek; dan matrik A₃ berdimensi 2mn x p yang merupakan turunan terhadap q buah parameter kesalahan sistematis kamera.

Vektor δ_1 , Vektor δ_2 dan Vektor δ_3 berturut-turut berisikan nilai koreksi parameter orientasi luar (EO), koordinat titik-titik obyek yang diamati deformasinya, dan model kesalahan sistematis kamera. Sedangkan 2mn buah elemen vektor w berisikan selisih perbedaan antara nilai pengukuran dengan nilai terkoreksi dari Persamaan 2.

Persamaan 3 adalah persamaan hitung kuadrat terkecil untuk seluruh berkas sinar (*bundle adjustment*) dari titik-titik obyek yang diamati. Proses hitungan ini diilustrasikan pada Gambar 4, dan proses akan berhenti apabila kuadrat dari nilai residu ($v^T v$) telah mencapai minimum.

PELAKSANAAN PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Jalan tol Semarang – Solo Seksi 1 Semarang – ungaran atau di Km 20 di wilayah Susukan, Ungaran Timur, Kabupaten Semarang dengan dengan membentang sepanjang 360 meter

Pengambilan Data Lapangan

Pengambilan data lapangan dilakukan di jembatan tol penggaron km 20 ungaran semarang.

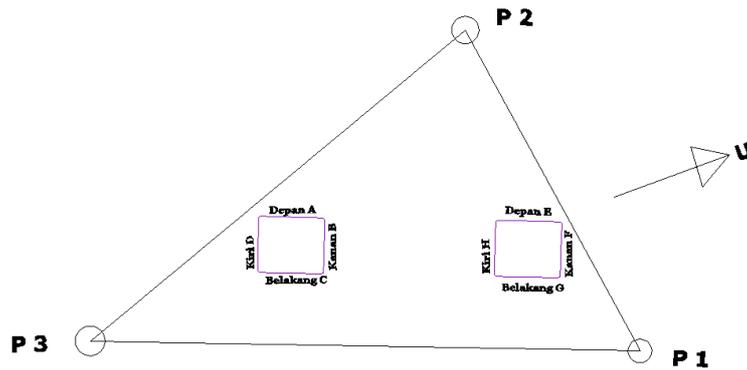
Kerangka Dasar

Kerangka dasar adalah sejumlah titik yang diketahui koordinatnya dalam sistem tertentu yang mempunyai fungsi sebagai pengikat dan pengontrol titik baru (Purworaharjo, 1986). Titik kerangka dasar harus ditempatkan menyebar merata di seluruh daerah yang akan di petakan. Kerangka dasar terdiri dari kerangka dasar horizontal yang mempunyai koordinat bidang datar (X,Y) dan kerangka dasar vertikal yang mempunyai nilai ketinggian (Z). Kerangka dasar untuk pengukuran kerangka dasar yang di petakan, menggunakan instrumen *Total Station Sokkia* dan data yang diambil koordinat X dan Y, Z.

Tabel titik Kontrol pada pengukuran jembatan ini, merupakan hasil pengkuran poligon tertutup dengan menggunakan koordinat lokal dengan menggunakan alat *total station Sokkia Set 6 30 R*.

Pengukuran Kerangka Dasar dan Titik Detail

Pada tahap ini dilakukan dua pekerjaanyaitu pengukuran kerangka dasar menggunakan *total station* dan pengukuran titik detail menggunakan *total station*. Kerangka dasar digunakan sebagai pengikatan titik deatai terhadap koordinat tanah.



Gambar 4. Pengukuran dilapangan

Tabel 1. Titik kontrol yang digunakan di lapangan

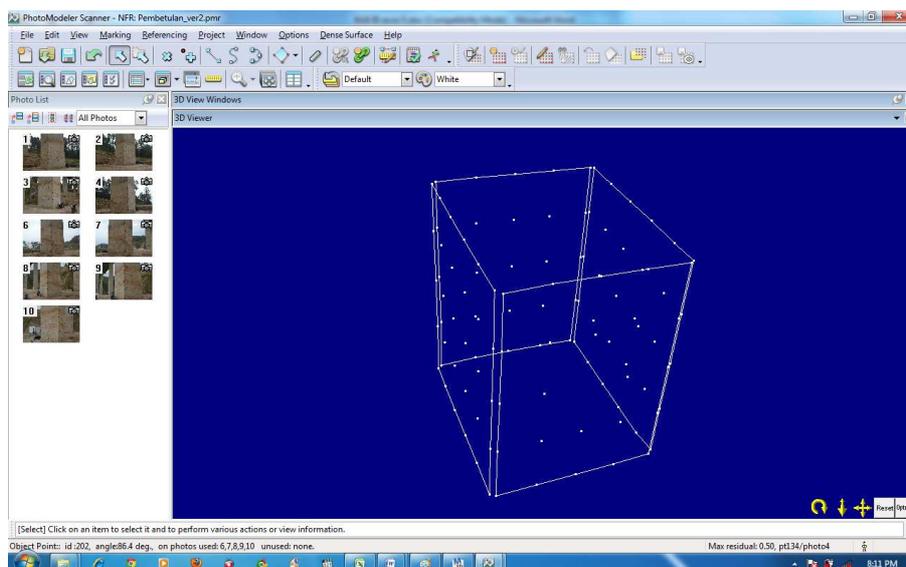
Koordinat	Titik P1 (meter)	Titik P2 (meter)	Titik P3 (meter)
X	3000.000	2999.5187	2974.2271
Y	1000.000	1019.5003	1013.7153
Z	100.000	99.6930	102.798

Pengambilan data foto

Pengambilan data objek spasial dilakukan di Jembatan Tol Penggaron Semarang-Solo. Sebelum pengambilan data (pemotretan objek) dilakukan, terlebih dahulu pembuatan tanda (patok) sebagai camera station (posisi kamera) saat pemotretan yang di tempatkan sedemikian hingga dapat menjangkau seluruh detail jembatan

Membuat Model 3D

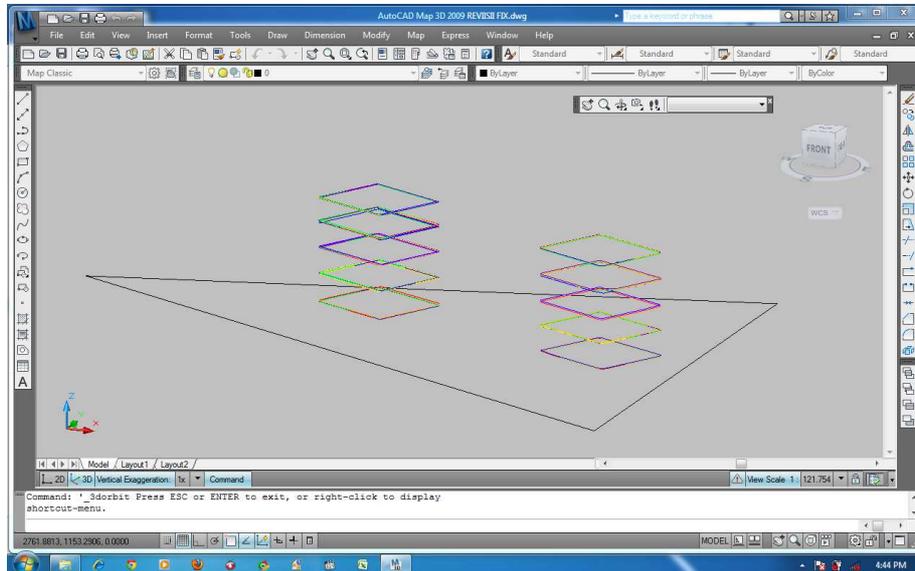
Pada tahap ini perangkat lunak *software Photodeler Scanner*. Akan menghitung posisi 3D dari data kamera dan titik marking yang ada pada foto. Proses pertama adalah pengukuran system koordinat *piksel* foto. Setelah sistem koordinat *piksel* (baris dan kolom) diukur kemudian ditransformasikan dengan menggunakan transformasi sebangun dua dimensi untuk mendapatkan koordinat foto ke koordinat lokal model dengan menggunakan transformasi sebangun 3D.



Gambar 7. Tampilan 3D pada Tiang 1

Pembuatan Titik Pada Bidang 3 D Melalui AutoCAD map 3D 2009

Dari hasil koordinat yang didapat melalui model fotogrametri jarak dekat, koordinat model di pindah kan ke dalam *Notepad* lalu dipindah kan ke AutoCAD map 3D 2009. Data tersebut disajikan melalui titik, garis dan diberikan layer yang sesuai supaya mudah dipahami.



Gambar 8. Hasil Representasi dari model 3D

HASIL DAN PEMBAHASAN
Analisis Perbandingan Posisi Titik

Tabel 2. *RMS Residual* pada Hari 1 – 2 pada tiang kedua.

Tiang 2 Bagian	Nilai <i>RMS residual</i> Koordinat						Rata-rata		
	Hari 1 (meter)			Hari 2 (meter)			Hari 1 – 2 (meter)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Depan E	0.004	0.01	0.002	0.008	0.014	0.002	0.012	0.024	0.004
Kiri F	0.004	0.01	0.002	0.004	0.012	0.001	0.004	0.011	0.0015
Belakang G	0.005	0.01	0.003	0.004	0.012	0.001	0.0045	0.011	0.002
Kanan H	0.004	0.009	0.002	0.004	0.011	0.002	0.004	0.01	0.002

Tabel 3. *RMS Residual* pada Hari 3 – 4 pada tiang kedua.

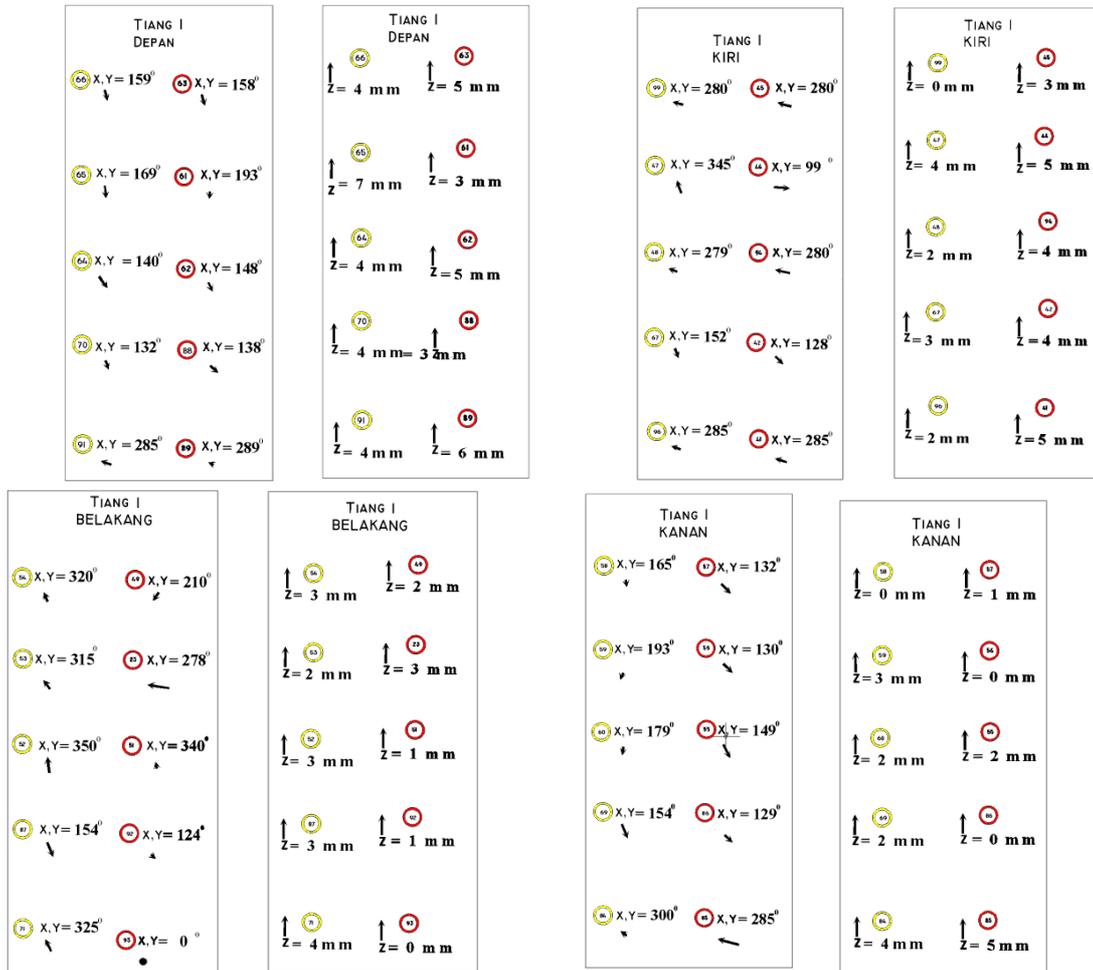
Tiang 2 Bagian	Nilai <i>RMS residual</i> Koordinat						Rata-rata		
	Hari 3 (meter)			Hari 4 (meter)			Hari 3 – 4 (meter)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
Depan E	0.005	0.009	0.002	0.005	0.01	0.002	0.005	0.019	0.004
Kiri F	0.005	0.009	0.002	0.005	0.012	0.001	0.005	0.0105	0.0015
Belakang G	0.004	0.011	0.002	0.004	0.011	0.002	0.004	0.011	0.002
Kanan H	0.004	0.009	0.003	0.004	0.01	0.003	0.004	0.0095	0.003

Tabel 4. Rata – rata *RMS Residual* tiang pertama dan tiang kedua pada hari 1 – 4.

Tiang Bagian	Tiang 1			Tiang Bagian	Tiang 2		
	X	Y	Z		X	Y	Z
Depan A	0.00625	0.01325	0.0015	Depan E	0.011	0.0215	0.004
Kiri B	0.003	0.01	0.0025	Kiri F	0.0045	0.01075	0.0015
Belakang C	0.0085	0.021	0.004	Belakang G	0.00425	0.011	0.002
Kanan D	0.00425	0.00975	0.00225	Kanan H	0.004	0.00975	0.0025

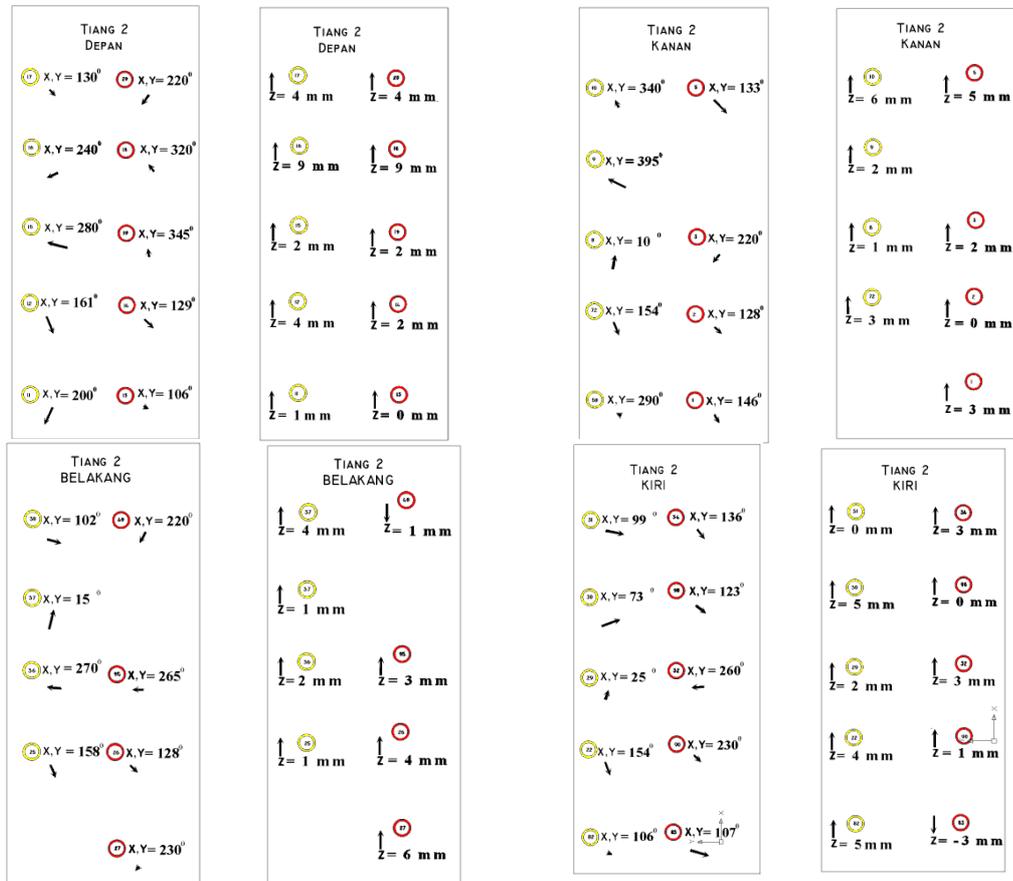
Dari hasil table 4. Rata-rata *RMS Residual* koordinat titik X, Y, Z tiang pertama dan tiang kedua pada data Pertama – Keempat, posisi terbesar pada sumbu Y. Kemudian hasil tersebut sesuai dengan asumsi bahwa untuk pengukuran fotogrametri jarak dekat ketelitian kearah sumbu Y akan lebih jelek dibandingkan pengukuran ke arah X dan Z. Dikarenakan pada fotogrametri jarak dekat arah sumbu Y adalah Jarak pemotretan sebanding dengan arah sumbu Z pada fotogrametri.

Analisis arah dan besaran vektor pergeseran terhadap sumbu x, y dan z.



Gambar 9. Vektor pergeseran tiang 1

Dari sket vektor pergeseran diatas arah bidang X,Y tiang 1 cenderung mengarah ke kuadran 2 dan 4. Sedangkan arah pergeseran sumbu Z terbesar adalah ± 7 mm.



Gambar 10. Vektor pergeseran tiang 2

Dari sket vektor pergeseran diatas arah bidang X,Y tiang 1 cenderung mengarah ke kuadran 2 dan 4. Sedangkan pergeseran Z terbesar adalah ± 9 mm

Tabel 5. Panjang pergeseran sumbu X,Y, Z Tiang 1

Tiang 1 Depan								Tiang 1 Kiri							
Panjang Pergeseran Koordinat X, Y, Z								Panjang Pergeseran Koordinat X, Y, Z							
Nama Titik	X, Y (mm)	Kuadran	Z (mm)	Nama Titik	X, Y (mm)	Kuadran	Z (mm)	Nama Titik	X, Y (mm)	Kuadran	Z (mm)	Nama Titik	X, Y (mm)	Kuadran	Z (mm)
66	6.1	2	4	63	5.1	2	5	99	4	4	0	45	7.5	4	3
65	8.1	2	7	61	2	2	3	59	5.4	4	4	44	6.4	4	5
64	5.1	2	4	62	3	2	5	48	3.2	4	2	94	5.8	4	4
70	3.2	2	3	88	4	4	3	67	3.2	2	3	42	4.5	4	3
91	7.3	4	4	89	2.2	2	6	96	3	4	2	41	4.5	3	4

Tabel 6. Panjang pergeseran sumbu X,Y, Z Tiang 1

Tiang 1 Belakang								Tiang 1 Kanan							
Panjang Pergeseran Koordinat X, Y, Z								Panjang Pergeseran Koordinat X, Y, Z							
Nama Titik	X, Y (mm)	Kuadran	Z (mm)	Nama Titik	X, Y (mm)	Kuadran	Z (mm)	Nama Titik	X, Y (mm)	Kuadran	Z (mm)	Nama Titik	X, Y (mm)	Kuadran	Z (mm)
54	3.2	4	3	49	2.8	4	2	58	2	2	0	57	6.3	2	1
53	4.1	4	2	23	10	4	3	59	2.2	2	3	56	5.1	2	0
52	6	4	3	51	1	4	1	60	3.6	2	2	55	8.2	2	2
87	6.3	4	3	92	1	4	1	69	5.4	2	2	86	10.8	2	0
71	8.1	4	4	93	0	-	0	84	3.6	2	4	85	13	2	5

Dapat dilihat pada table 5. dan 6. bahwa sisi depan, sisi kiri, sisi belakang dan sisi kanan tiang 1 menunjukkan pergeseran bidang X, Y terbesar terletak pada sisi kanan pada kuadran 2 sebesar 13 mm. Sedangkan pergeseran terkecil terletak pada terletak pada sisi belakang pada kuadran 4 sebesar 1 mm. Adapun untuk pergeseran tinggi terbesar terletak pada sisi kanan sebesar + 13 mm. Sedangkan pergeseran terkecil terletak pada sisi kiri sebesar 0 mm.

Tabel 7. Panjang pergeseran sumbu X,Y, Z Tiang 2

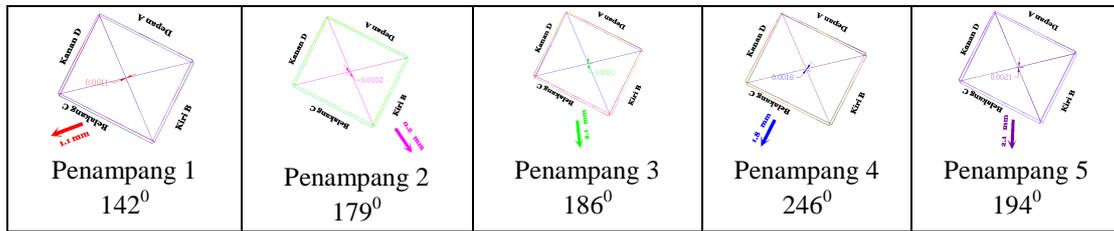
Tiang 2 Depan								Tiang 2 Kanan							
Panjang Pergeseran Koordinat X, Y, Z								Panjang Pergeseran Koordinat X, Y, Z							
Nama Titik	X, Y (mm)	Kuadran	Z (mm)	Nama Titik	X, Y (mm)	Kuadran	Z (mm)	Nama Titik	X, Y (mm)	Kuadran	Z (mm)	Nama Titik	X, Y (mm)	Kuadran	Z (mm)
17	5	4	4	20	6.4	4	4	31	10.6	2	0	34	6.3	2	3
16	6	2	9	18	4.2	4	9	30	10	2	5	98	6.4	2	0
15	10.4	4	2	19	3	2	2	29	4	2	2	32	7	3	3
12	11.7	4	4	14	9.5	4	2	22	9.5	2	4	90	7.1	2	1
11	12	4	1	13	2.2	4	0	82	2.2	4	5	83	13	2	3

Tabel 8. Panjang pergeseran sumbu X,Y, Z Tiang 2

Tiang 2 Belakang								Tiang 2 Kiri							
Panjang Pergeseran Koordinat X, Y, Z								Panjang Pergeseran Koordinat X, Y, Z							
Nama Titik	X, Y (mm)	Kuadran	Z (mm)	Nama Titik	X, Y (mm)	Kuadran	Z (mm)	Nama Titik	X, Y (mm)	Kuadran	Z (mm)	Nama Titik	X, Y (mm)	Kuadran	Z (mm)
38	4.1	2	4	40	4.5	2	1	10	3.2	4	6	5		2	3
37	3.2	2	2					9			2				
36	8	3	2	95	3	3	3	8	13	4	1	3	8.6	3	6
25	3	3	1	26	1	3	4	72	4.1	4	3	2	6.7	2	3
				27	1.4	2	6	58	2.2	4	4	1	6.3	2	4

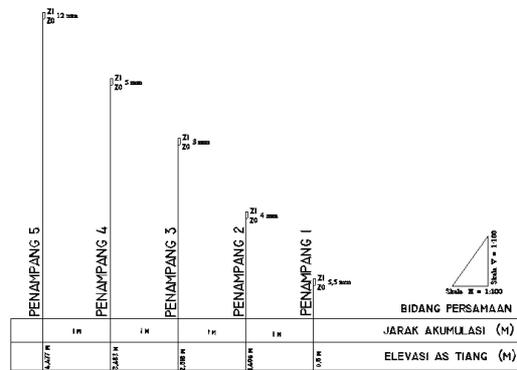
Dapat dilihat pada table 7. dan 8. bahwa sisi depan, sisi kiri, sisi belakang dan sisi kanan tiang 2 menunjukkan pergeseran bidang X, Y terbesar terletak pada sisi kanan pada kuadran 2 sebesar 13 mm. Sedangkan pergeseran terkecil terletak pada terletak pada sisi belakang pada kuadran 3 sebesar 1 mm. Adapun untuk pergeseran tinggi terbesar terletak pada sisi depan sebesar + 13 mm. Sedangkan pergeseran terkecil terletak pada sisi kiri sebesar 1 mm.

Analisis Arah Pergeseran Titik Pada Penampang Tiang



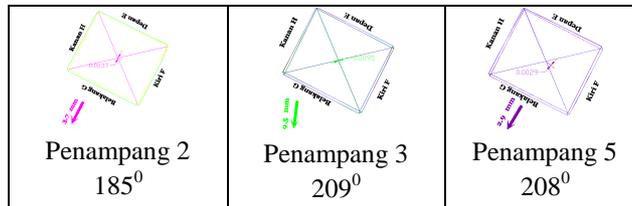
Gambar 11. Sudut penampang tiang 1 tampak atas

penampang 1, 2, 3, 4 dan 5 Tiang pertama tampak atas menghasilkan rata – rata arah pergeseran sudut dari penampang 1 ke penampang 5 sebesar $188,3^0$ mengarah ke belakang.



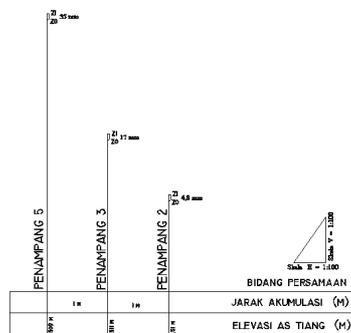
Gambar 12. Penampang melintang Tiang pertama

penampang melintang 1, 2, 3, 4 dan 5 menunjukkan pergeseran sumbu Z terbesar terletak pada penampang 5 sebesar 12 mm.



Gambar 13. Sudut penampang tiang 2 tampak atas

penampang 2, 3 dan 5 Tiang kedua tampak atas menghasilkan rata – rata arah pergeseran sudut dari penampang 2 ke penampang 5 sebesar $193,3^0$ mengarah ke belakang.



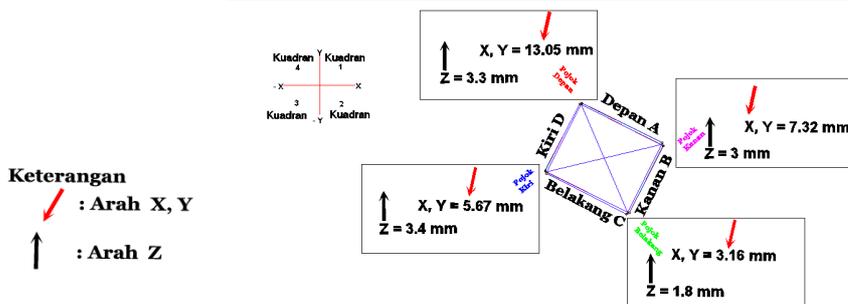
Gambar 14. Penampang melintang Tiang kedua

penampang melintang 2, 3, dan 5 menunjukkan pergeseran sumbu Z terbesar terletak pada penampang 5 yaitu sebesar 35 mm.

Analisis Pergerakan Titik Pojok Tiang

Tabel 9. rata – rata pergerakan X, Y dan Z pada tiang 1

Tiang 1			
Nama	X, Y (mm)	Derajat	Z (mm)
Pojok Depan	13.05	188,3 ⁰	3,3
Pojok Kanan	7.32	188,3 ⁰	3
Titik Belakang	3.16	188,3 ⁰	1.8
Titik Kiri	5,67	188,3 ⁰	3.4

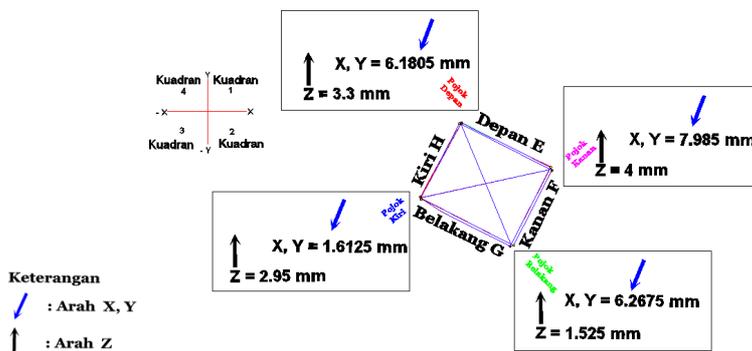


Gambar 15. Rata – rata pergerakan X, Y, dan Z pada tiang 1 tampak atas

rata rata pergerakan terbesar tiang 1 terletak pada pojok depan bidang X,Y sebesar 13,05 mm dan sumbu Z naik sebesar 3,3 mm. Jadi pada tiang 1 arah pergerakan bidang X, Y lebih cenderung ke kuadran 2, untuk sumbu Z lebih cenderung turun pada pojok belakang sedangkan pojok kiri, pojok depan dan pojok kanan cenderung naik.

Tabel 10. rata – rata pergerakan X, Y dan Z pada tiang 2

Tiang 2			
Nama	X, Y (mm)	Derajat	Z (mm)
Pojok Depan	6.1805	193,3 ⁰	3,3
Pojok Kanan	1.6125	193,3 ⁰	2.95
Titik Belakang	6.2675	193,3 ⁰	1.525
Titik Kiri	7.985	193,3 ⁰	4



Gambar 16. Rata – rata pergerakan X, Y, dan Z pada tiang 2 tampak atas

rata rata pergerakan terbesar tiang 2 terletak pada pojok kanan bidang X,Y sebesar 1,6125 mm dan sumbu Z naik sebesar 2,95 mm. Jadi pada tiang 1 arah pergerakan bidang X, Y lebih cenderung ke kuadran 2,

untuk sumbu Z lebih cenderung turun pada pojok belakang sedangkan pojok kiri, pojok depan dan pojok kanan cenderung naik.

PENUTUP

Kesimpulan

1. Berdasarkan analisis yang didapat pada penelitian yang dilakukan pada tanggal 13 September – 4 Oktober 2013 pada tiang 1 dan 2 dapat dilihat pergeseran dari bagian sisi tiang menunjukkan bahwa sisi kanan memiliki nilai terbesar. Kemudian dari penampangnya menunjukkan bahwa penampang ke 5 memiliki pergeseran terbesar. Adapun dilihat dari pojok tiang, pergeseran terbesar tiang 1 terletak pada pojok depan sedangkan tiang 2 pada pojok kanan. Jadi secara keseluruhan pergeseran untuk tiang 1 pada bidang X,Y sebesar 7.9275 mm dan sumbu Z sebesar 2.875 mm dan tiang 2 pada bidang X,Y sebesar 5.51125 mm dan sumbu Z sebesar 2.11875 mm.
2. Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan pada penelitian ini bahwa tiang 1 dan 2 memiliki pola pergeseran yang seragam mengarah ke belakang yaitu ke Semarang. Adapun untuk bentuk dan ukurannya cenderung sama. Untuk data yang diambil dari data Hari pertama – keempat memiliki selisih perbandingan titik antara *total station* dan fotogrametri jarak dekat memiliki selisih, untuk *total station* nilai X antara 1 mm – 15 mm, Y antara 1 mm – 25 mm, dan Z antara 1 mm – 8 mm. Untuk fotogrametri jarak dekat nilai X antara 1 mm – 8 mm, Y antara 1 mm – 13 mm, dan Z antara 1 mm – 5 mm Maka metode fotogrametri jarak dekat dapat dipakai sebagai monitoring jembatan yang ada di Semarang.

Saran

1. Untuk menghasilkan akurasi ketelitian yang sangat tinggi sebaiknya pengambilan datanya dilakukan pada waktu yang sama agar dapat mengeliminir pengaruh kondisi lingkungan karena pada saat pengambilan data secara bersamaan dapat dianggap kondisi lingkungan yang sama.
2. Untuk pengambilan data sebaiknya penempatan patok harus tetap, permanen dan sudah ada nilai koordinatnya. Agar mempermudah pengambilan data di lapangan.
3. Untuk menghasilkan tingkat keakurasian yang tinggi perlu diperhatikan penandaan point marking objek yang sama pada setiap foto sampai ke *sub-pixel*. Dan harus menyebar merata serta terlihat pada setiap foto (minimal 3 foto).
4. Untuk stiker harus ditempelkan dengan kuat supaya nantinya tidak lepas pada jangka waktu yang lama atau waktu yang diinginkan
5. Dalam pengambilan data sebaiknya titik control yang dibuat juga di cek apakah ikut bergeser atau tidak. Supaya hasil pengukuran titik detail tidak berubah.

Daftar Pustaka

- Abidin, H. Z. (2006) : *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. Pradnya paramita, Jakarta
- Abidin, H. Z. (2002) : *Survey dengan GPS*. Pradnya Paramita, Jakarta
- Akimoto, K. and Hattori, S., 2001. Revisit To Zero Order Design In Industrial Vision Metrology, *Proceedings of ASPRS: Gateway to the New Millennium*. American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, St. Louis, Missouri, pp. unpaginated CD-ROM.
- Armer, G.S.T., 2003. *Monitoring and assesment of Structures*. Taylor anf Francis, New york, 167 pp.
- Brown, D.C., 1974. *Evolution, Application and Potential of The Bundle Method of Photogrammetric Triangulation*, Geodetic Services, Inc., Melbourne, Florida.
- Chen, Y. Q.,1983. *Analysis of Deformation Surveys – A Generalized Method*. University of New Brunswick. Canada.1983.
- Cooper, M.A.R. and Robson, S., 2001. Theory of Close Range Photogrammetry. In: K.B. Atkinson (Editor), *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Whittles Publishing, Scotland, UK, pp: 9-51.
- Fraser, C.S., 1997. Digital camera self-calibration. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 52(4): 149-159.
- Fraser, C.S., 2006. Network Orientation Models for Image-Based 3D Measurement, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing & Spasial Information Science*. ISPRS.
- Fryer, J.G., 2001. Camera Calibration. In: K.B. Atkinson (Editor), *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Whittles Publishing, Scotland, UK, pp. 156-179.