

**ANALISA DISTRIBUSI DAN JUMLAH TITIK KONTROL TANAH PADA
TRIANGULASI UDARA FOTO *MEDIUM FORMAT***

AGUNG BUDI CAHYONO¹, IKE AGUSTUTI SRIWIYANTI¹, SOFAN PRIHADI²

¹Program Studi Teknik Geomatika, FTSP, ITS – Sukolilo, Surabaya - 60111

² PT. Karvak Nusa Geomatika, Jakarta

Abstrak

Pemetaan daerah yang luas dengan menggunakan metode fotogrametri memerlukan titik kontrol tanah yang cukup banyak sehingga membutuhkan waktu dan biaya yang relatif tinggi. Oleh karena itu perlu dilakukan proses triangulasi udara untuk memperbanyak titik kontrol tanah tanpa harus ke lapangan sehingga menghemat waktu dan biaya..

Dalam penelitian ini akan dilakukan analisa distribusi dan jumlah titik kontrol tanah triangulasi udara pada foto *medium format* dengan menggunakan metode perataan *Bundle Adjustment* dalam program PAT-B. Pemodelan dalam penelitian ini dilakukan sesuai *Ackerman (1970)* dengan membuat 3 model yaitu : model I dengan 15 GCP, model II dengan 9 GCP dan model III dengan 5 GCP.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa nilai *Sigma Naught* (σ_0) model I adalah $6,440 \mu\text{m} = 10,624 \text{ cm}$, model II adalah $6,690 \mu\text{m} = 10,704 \text{ cm}$ dan model III adalah $8,603 \mu\text{m} = 13,765 \text{ cm}$. Kemudian selisih koordinat yang dihasilkan dari proses PAT-B didapat selisih koordinat untuk perbandingan model I dengan model II adalah $x = 0,047 \text{ m}$; $y = 1,182 \text{ m}$; $z = 1,017 \text{ m}$ dan untuk perbandingan model I dengan model III adalah $x = 1,507 \text{ m}$; $y = 0,850 \text{ m}$; $z = 2,279 \text{ m}$.

Kata Kunci: foto udara medium format, triangulasi udara, distribusi titik kontrol tanah.

PENDAHULUAN

Dengan berkembangnya kebutuhan akan pemetaan suatu wilayah dalam berbagai bidang, maka semakin berkembang pula berbagai macam metode pemetaan. Salah satu metode dalam pemetaan adalah menggunakan foto udara Dengan memanfaatkan kemajuan teknologi kamera udara, film dan pesawat, maka pekerjaan pemetaan dapat dilakukan dengan waktu yang relatif cepat dan akurasi tinggi (*Lillesand dan Kiefer, 1990*).

Teknologi pemetaan dengan foto udara berkembang dengan cepat seiring dengan kemajuan teknologi informasi. Tuntutan kebutuhan informasi yang dapat menggambarkan kondisi di lapangan yang

sebenarnya memicu inovasi terobosan dalam bidang pemetaan foto udara. Untuk melihat gambaran dari suatu daerah. Dalam pembuatan peta topografi misalnya, untuk setiap model diperlukan minimum dua titik kontrol planimetrik (x,y) dan tiga titik kontrol tinggi (z) (*Wolf, 1993*). Namun secara praktis diperlukan tiga titik planimetrik dan empat titik tinggi. Untuk pemetaan daerah luas yang terdiri dari banyak model, maka secara total akan dibutuhkan titik kontrol yang cukup banyak sehingga bila dikerjakan secara teristris akan membutuhkan waktu dan biaya yang relatif tinggi.

Untuk itu dilakukan proses triangulasi udara yaitu suatu metode perbanyak titik kontrol secara fotogrametri tanpa harus ke lapangan

sehingga dapat menghemat waktu dan biaya. Distribusi dan jumlah titik kontrol ini yang memegang peranan dalam menentukan ketelitian hasil suatu triangulasi udara. Dalam penelitian ini akan dilakukan analisa pendistribusian dan jumlah titik kontrol tanah dalam proses triangulasi udara pada foto udara medium format. Diharapkan dari penelitian ini akan diketahui model distribusi dan jumlah titik kontrol tanah yang minimum dengan memenuhi toleransi dalam proses triangulasi udara.

Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan ketelitian planimetris (x,y) dan tinggi (z) terhadap distribusi dan jumlah titik kontrol tanah dalam proses triangulasi udara pada media foto udara medium format dengan menggunakan data pengukuran GPS untuk koordinat titik kontrol planimetris (x,y) dan data pengukuran *Total Station* untuk koordinat titik kontrol tinggi (z).

Perumusan Masalah

Penelitian yang akan dilakukan dalam tugas akhir ini adalah bagaimana pengaruh distribusi dan jumlah titik kontrol tanah dalam proses triangulasi udara pada foto udara medium format dengan jumlah titik kontrol minimum dan model distribusi tertentu yang memenuhi syarat.

Batasan Permasalahan

1. Foto Udara yang digunakan adalah 18 buah single frame Foto Udara *Medium Format* daerah Bogor, Jawa Barat hasil pemotretan dari kamera digital medium format Hasselblad H2 dengan *digital back leaf* yang memiliki resolusi kamera 33 Mega Pixel.
2. Pemotretan udara dilakukan dengan tinggi terbang rata-rata ± 1700 m diatas permukaan laut. Dan dengan fokus kamera

sebesar 80 mm dengan dimensi sensor 48 mm x 36 mm.

3. Kalibrasi kamera di lakukan oleh *ADAM TECHNOLOGY, Advanced Design And Manufacturing Pty.Ltd.*, dari Australia yang ditunjuk oleh PT.Karvak Nusa Geomatika untuk melakukan kalibrasi kamera non-metrik digital *medium format* menggunakan software *3 DM CalCab*.
4. Sebagai titik kontrol planimetris digunakan data hasil pengukuran *Global Positioning System (GPS)* tipe geodetik *double* frekuensi secara differensial static dari PT.Karvak Nusa Geomatika.
5. Sebagai titik kontrol tinggi digunakan data hasil pengukuran *Total Station* dari PT.Karvak Nusa Geomatika.
6. Analisa ketelitian planimetris (x,y) dan tinggi (z) terhadap model distribusi dan jumlah titik kontrol tanah dalam proses triangulasi udara adalah memenuhi toleransi *Sigma Naught* (σ_0).

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di kota Bogor Selatan dengan batas area penelitian sebagai berikut :

- Sebelah utara : 006°38'48.1" LS
106° 46'59.0" BT
- Sebelah timur : 006°39'33.4" LS
106° 47'38.2" BT
- Sebelah selatan : 006°40'03.5" LS
106° 46'58.5" BT
- Sebelah barat : 006°39'17.5" LS
106° 46' 22.5" BT

Alat

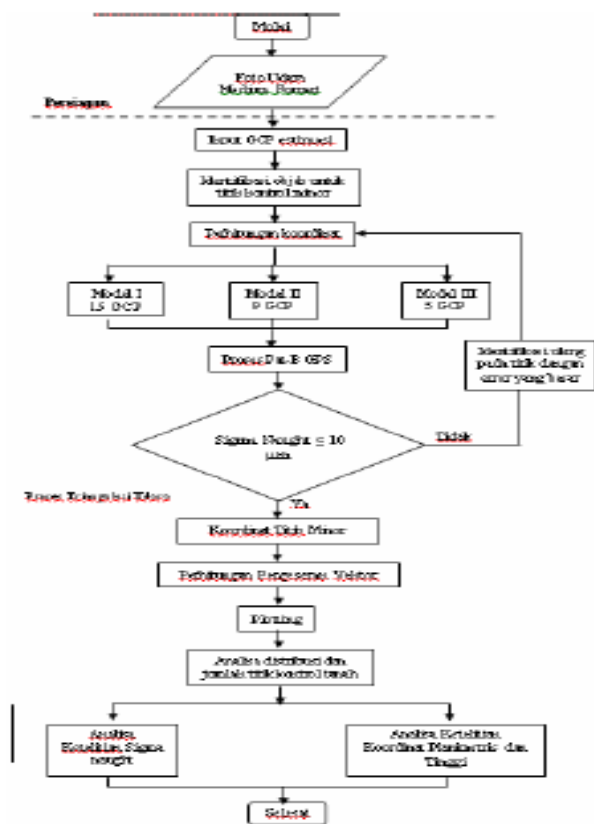
1. 1 (satu) unit komputer dengan procesor *Intel(R) Core 2 Duo (R) D CPU*, 3.40 GHz, memori 2046 MB, dan *harddisk* 300 GB.
2. Operating System Windows XP Home
3. Perangkat Lunak *PCI Geomatics V.9.1*
4. Perangkat Lunak Pat-B GPS

5. Perangkat Lunak *Autocad LandDesktop*
6. Perangkat Lunak *Surfer 8.0*
7. Perangkat Lunak *Microsoft Office 2003*
8. Printer

Bahan

1. 18 Buah Foto Udara *Medium Format* wilayah Bogor, dengan tinggi terbang ± 1700 meter di atas permukaan tanah. Terdiri dari 2 *run* (jalur terbang) dengan masing-masing *run* terdiri dari 9 buah *single frame*.
2. Data kalibrasi kamera *medium format* dari *Adam Technology*, Australia.
1. Data titik kontrol tanah (GCP) dari pengukuran GPS (untuk koordinat planimetris x,y) dan *Total Station* (untuk koordinat tinggi z) diperoleh dari PT. Karvak Nusa Geomatika

Diagram Pengolahan Data

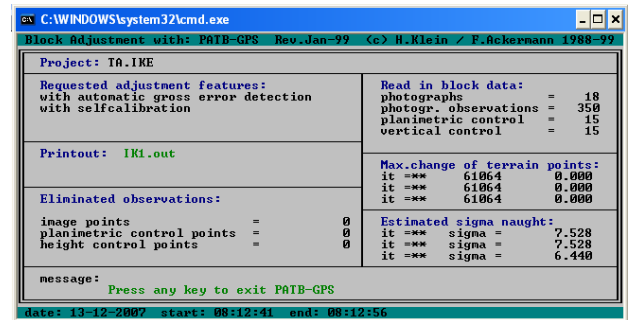


Gambar 1 : Diagram Pengolahan Data

HASIL DAN ANALISA

Koordinat Hasil Perataan PAT-B Model I: 15 GCP

Berdasarkan perataan 15 GCP akan dihasilkan sigma naught sebesar 6,440 μm dan sudah memenuhi toleransi. Berikut *view* PAT-B



Gambar 2: Sigma Naught Hasil PAT-B 15 GCP

Selain itu dihasilkan koordinat titik minor (*tie point*) seperti dilihat pada tabel 4.1 yang kemudian akan dilakukan perhitungan vektor pergeseran untuk mendapatkan besar dan arah pergeseran.

Tabel 1 : Daftar Koordinat Titik Minor 15 GCP

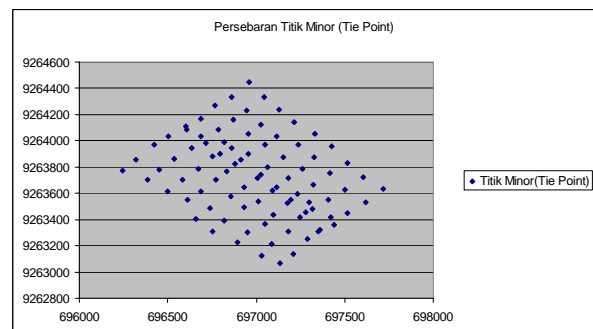
No.	Point ID	X	Y	Z
1	60980	697289,184	9263248,964	471,295
2	60981	697133,937	9263066,579	483,191
3	60982	697422,845	9263415,492	456,961
4	60983	697207,880	9263138,375	476,415
5	60984	697358,166	9263324,540	467,048
6	60990	697182,139	9263310,639	469,084
7	60991	697029,436	9263123,714	489,914
8	60992	697299,807	9263528,837	462,140
9	60993	697087,149	9263215,648	474,391
10	60994	697249,096	9263416,496	461,651
11	61000	697047,237	9263363,351	475,586
12	61001	696895,631	9263223,149	485,487
13	61002	697177,117	9263523,616	472,634
14	61003	696951,881	9263299,404	484,462
15	61004	697097,665	9263436,074	467,007
16	61010	696930,996	9263490,869	469,615
17	61011	696751,974	9263305,879	481,667
18	61012	697089,966	9263622,758	459,890
19	61013	696819,774	9263391,726	478,884
20	61014	697010,023	9263539,262	466,899
21	61020	696857,333	9263577,059	466,057
22	61021	696657,862	9263405,575	483,644
23	61022	697005,627	9263716,265	462,369
24	61023	696738,109	9263485,276	469,888

ANALISA DISTRIBUSI DAN JUMLAH TITIK KONTROL TANAH PADA TRIANGULASI UDARA
(AGUNG BUDI CAHYONO)

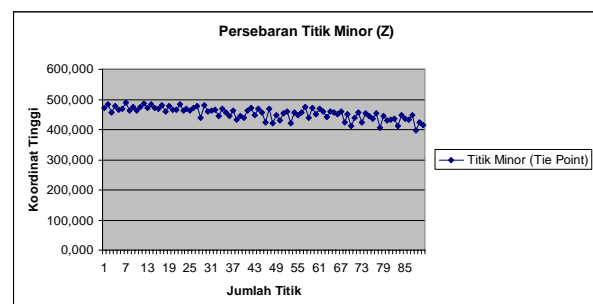
25	61024	696931,550	9263643,611	463,800
26	61030	696770,608	9263702,012	470,168
27	61031	696611,146	9263549,360	478,672
28	61032	696912,146	9263856,257	440,845
29	61033	696686,669	9263615,284	482,065
30	61034	696830,941	9263767,351	460,603
31	61040	696671,187	9263783,208	461,353
32	61041	696498,450	9263613,658	465,382
33	61042	696819,826	9263989,022	445,093
34	61043	696583,237	9263702,160	467,564
35	61044	696753,730	9263880,558	457,167
36	61050	696535,369	9263861,866	446,232
37	61051	696385,063	9263700,969	464,825
38	61052	696685,055	9264033,828	434,408
39	61053	696451,583	9263779,726	445,286
40	61054	696636,617	9263942,602	441,535
41	61060	696422,636	9263971,999	462,642
42	61061	696242,554	9263772,824	471,921
43	61062	696603,892	9264109,883	446,869
44	61063	696320,757	9263857,606	468,241
45	61064	696502,231	9264032,318	458,458
46	71340	697514,362	9263446,341	424,570
47	71341	697348,782	9263306,711	468,126
48	71342	697719,213	9263633,871	420,591
49	71343	697437,769	9263362,861	448,625
50	71344	697619,494	9263532,893	429,467
51	71350	697405,149	9263553,617	452,997
52	71351	697279,852	9263454,418	459,759
53	71352	697603,422	9263724,141	420,028
54	71353	697315,457	9263481,388	457,739
55	71354	697503,329	9263629,242	447,105
56	71360	697322,637	9263666,328	456,532
57	71361	697193,220	9263548,276	473,510
58	71362	697513,006	9263830,216	448,083
59	71363	697234,883	9263594,019	471,031
60	71364	697414,456	9263753,798	450,902
61	71370	697261,965	9263785,129	467,733
62	71371	697116,081	9263648,381	460,486
63	71372	697427,659	9263958,710	441,404
64	71373	697182,679	9263714,398	458,680
65	71374	697324,856	9263871,769	456,011
66	71380	697151,928	9263875,703	451,481
67	71381	697027,442	9263744,179	459,178
68	71382	697329,729	9264052,783	425,267
69	71383	697065,105	9263795,446	450,839
70	71384	697238,821	9263970,725	413,411
71	71390	697048,241	9263972,049	437,802
72	71391	696881,671	9263823,456	456,560
73	71392	697212,826	9264141,827	423,450
74	71393	696954,332	9263902,097	455,407
75	71394	697115,616	9264036,115	446,212
76	71400	696954,592	9264052,938	436,139
77	71401	696796,449	9263897,678	454,248
78	71402	697128,283	9264236,662	407,440
79	71403	696862,580	9263947,011	445,969
80	71404	697025,075	9264125,320	429,252
81	71410	696871,099	9264160,240	431,397
82	71411	696717,311	9263981,181	438,159
83	71412	697046,486	9264334,808	411,900

84	71413	696784,745	9264086,660	448,506
85	71414	696944,914	9264231,833	434,710
86	71420	696769,077	9264268,629	433,326
87	71421	696605,887	9264085,499	448,547
88	71422	696960,339	9264444,527	397,509
89	71423	696688,460	9264166,600	425,182
90	71424	696860,749	9264334,456	415,915
91	990001	697228,366	9263150,616	483,309
92	990002	696900,229	9263230,861	486,309
93	990003	696927,949	9263598,926	465,212
94	990004	696631,855	9263727,882	461,192
95	990005	696390,004	9263705,824	464,446
96	990006	696596,150	9264127,592	449,580
97	990007	696853,376	9263890,754	449,597
98	990008	697092,608	9263625,772	457,211
99	990009	697209,193	9263491,563	462,117
100	990010	697317,539	9263332,938	465,583
101	990011	697657,994	9263523,520	442,962
102	990012	697390,334	9263587,284	462,956
103	990013	697367,842	9264017,056	449,384
104	990014	697039,153	9264245,681	440,229
105	990015	696953,773	9264426,652	436,740

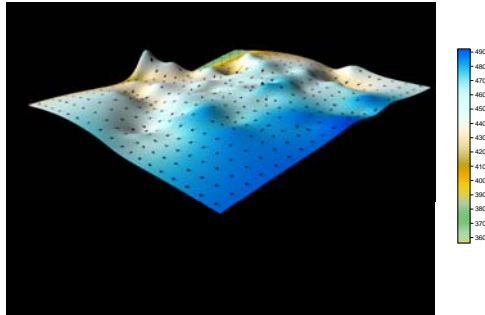
Dari data koordinat di atas dapat digambarkan persebaran titik-titik minor (*Tie point*) untuk posisi x, y, dan z sebagai berikut:



Gambar 3: Persebaran Koordinat Planimetris (X,Y) 15 GCP



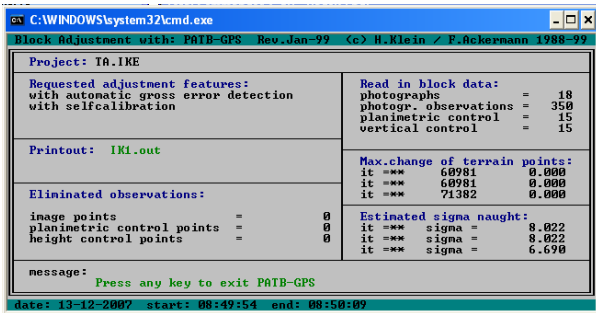
Gambar 4: Sebaran Koordinat Tinggi (z) Titik Minor 15 GCP



Gambar 5 : Visualisasi Terrain dari Model 15 GCP

Koordinat Hasil Perataan PAT-B Model II: 9 GCP

Berdasarkan perataan 9 GCP akan dihasilkan sigma naught sebesar 6,690 μm dan sudah memenuhi toleransi. Berikut view PAT-B



Gambar 6: Sigma Naught Hasil PAT-B 9 GCP

Selain itu dihasilkan koordinat titik minor (*tie point*) seperti dilihat pada tabel 4.2 yang kemudian akan dilakukan perhitungan vektor pergeseran untuk mendapatkan besar dan arah pergeseran.

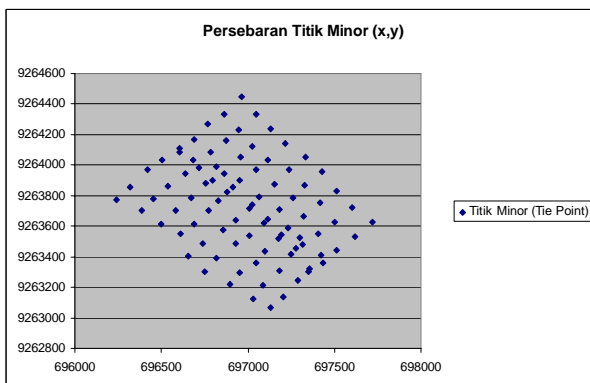
Tabel 2 : Daftar Koordinat Titik Minor 9 GCP

No.	Point ID	X	Y	Z
1	60980	697287,790	9263246,448	470,869
2	60981	697132,131	9263064,800	485,298
3	60982	697421,981	9263412,587	457,990
4	60983	697206,153	9263136,240	477,342
5	60984	697357,059	9263321,852	466,255
6	60990	697181,080	9263308,555	467,769
7	60991	697028,257	9263122,191	486,819
8	60992	697299,600	9263526,520	464,262
9	60993	697085,995	9263213,968	470,784
10	60994	697248,508	9263414,505	459,391
11	61000	697046,618	9263361,544	473,229
12	61001	696895,028	9263221,909	485,217

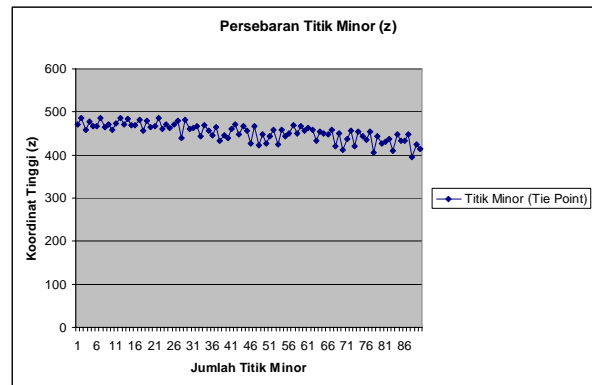
13	61002	697177,082	9263521,728	471,401
14	61003	696951,281	9263297,793	483,152
15	61004	697097,222	9263434,174	468,756
16	61010	696930,671	9263489,536	468,436
17	61011	696751,511	9263304,934	482,641
18	61012	697090,142	9263621,596	456,376
19	61013	696819,366	9263390,580	479,471
20	61014	697009,784	9263537,753	465,631
21	61020	696857,168	9263575,997	466,447
22	61021	696657,527	9263404,735	485,174
23	61022	697005,863	9263715,108	461,073
24	61023	696737,801	9263484,446	470,834
25	61024	696931,502	9263642,442	462,733
26	61030	696770,580	9263701,197	470,926
27	61031	696610,816	9263548,721	479,616
28	61032	696912,646	9263855,811	439,971
29	61033	696686,418	9263614,457	482,689
30	61034	696831,082	9263766,558	461,385
31	61040	696671,298	9263782,744	462,261
32	61041	696498,472	9263613,494	467,229
33	61042	696820,496	9263988,778	444,429
34	61043	696583,203	9263701,756	468,784
35	61044	696754,108	9263880,193	456,354
36	61050	696535,649	9263861,847	446,631
37	61051	696385,057	9263700,952	463,895
38	61052	696685,808	9264034,054	433,294
39	61053	696451,886	9263779,840	446,003
40	61054	696637,126	9263942,588	439,827
41	61060	696422,481	9263972,080	461,539
42	61061	696242,356	9263772,960	470,239
43	61062	696604,046	9264109,985	447,435
44	61063	696320,579	9263857,725	466,896
45	61064	696502,204	9264032,423	456,559
46	71340	697513,459	9263443,526	426,819
47	71341	697347,622	9263304,059	467,314
48	71342	697719,220	9263630,021	421,865
49	71343	697436,663	9263360,103	447,206
50	71344	697618,958	9263529,296	427,084
51	71350	697404,900	9263550,838	454,310
52	71351	697279,372	9263452,295	458,436
53	71352	697603,984	9263720,796	425,471
54	71353	697315,028	9263479,077	458,058
55	71354	697503,357	9263626,049	443,015
56	71360	697322,860	9263663,948	450,222
57	71361	697193,191	9263546,113	468,714
58	71362	697514,006	9263827,582	449,408
59	71363	697235,021	9263591,810	465,849
60	71364	697414,984	9263751,168	456,061
61	71370	697262,515	9263782,905	462,464
62	71371	697116,225	9263646,854	457,868
63	71372	697428,949	9263956,761	433,809
64	71373	697183,029	9263712,633	454,955
65	71374	697325,674	9263869,667	450,017
66	71380	697152,506	9263874,292	448,832
67	71381	697027,793	9263743,033	457,966
68	71382	697330,918	9264051,549	420,287
69	71383	697065,576	9263794,354	449,720

70	71384	697239,593	9263969,671	411,015
71	71390	697048,926	9263971,294	436,621
72	71391	696881,964	9263822,841	455,657
73	71392	697213,997	9264141,227	419,510
74	71393	696954,938	9263901,398	453,231
75	71394	697116,368	9264035,145	443,530
76	71400	696955,295	9264052,525	435,238
77	71401	696796,985	9263897,282	453,332
78	71402	697129,477	9264236,646	404,580
79	71403	696863,278	9263946,675	444,174
80	71404	697025,885	9264124,943	427,590
81	71410	696871,669	9264160,159	430,778
82	71411	696717,916	9263981,119	437,713
83	71412	697047,417	9264335,037	410,602
84	71413	696785,160	9264086,429	447,242
85	71414	696945,513	9264231,700	433,254
86	71420	696769,323	9264268,786	432,537
87	71421	696606,049	9264085,475	447,836
88	71422	696961,208	9264445,313	395,177
89	71423	696688,838	9264166,874	425,632
90	71424	696861,253	9264334,828	414,614
91	990001	697228,366	9263150,616	483,309
92	990003	696927,949	9263598,926	465,212
93	990005	696390,004	9263705,824	464,446
94	990006	696596,150	9264127,592	449,580
95	990008	697092,608	9263625,772	457,211
96	990010	697317,539	9263332,938	465,583
97	990011	697657,994	9263523,520	442,962
98	990013	697367,842	9264017,056	449,384
99	990015	696953,773	9264426,652	436,740

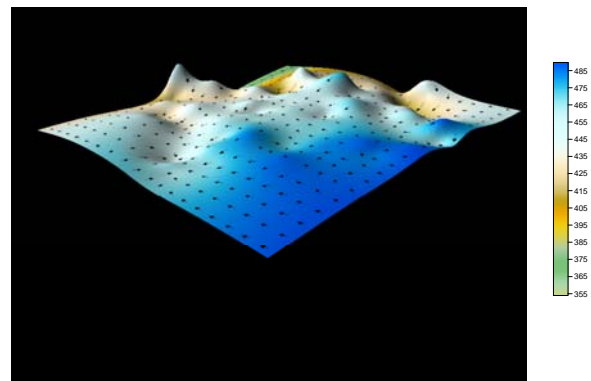
Dari data koordinat di atas dapat digambarkan persebaran titiktitik minor (*Tie point*) untuk posisi x, y, dan z sebagai berikut



Gambar 7 : Persebaran Koordinat Planimetri (X,Y) Titik Minor 9 GCP



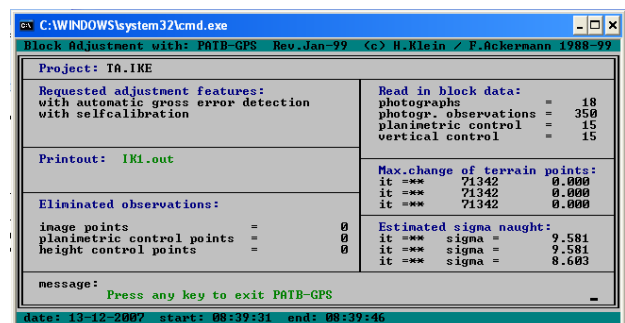
Gambar 8 : Persebaran Koordinat Tinggi (z) Titik Minor 9 GCP



Gambar 9 : Visualisasi Terrain dari Model 9 GCP

Koordinat Hasil Perataan PAT-B Model III: 5 GCP

Berdasarkan perataan 5 GCP akan dihasilkan sigma naught sebesar 8,603 μm dan sudah memenuhi toleransi. Berikut *view* PAT-B



Gambar 10 : *Sigma Naught* Hasil PAT-B 5 GCP

Selain itu dihasilkan koordinat titik minor (*tie point*) seperti dilihat pada tabel 4.3 yang kemudian akan dilakukan perhitungan vektor

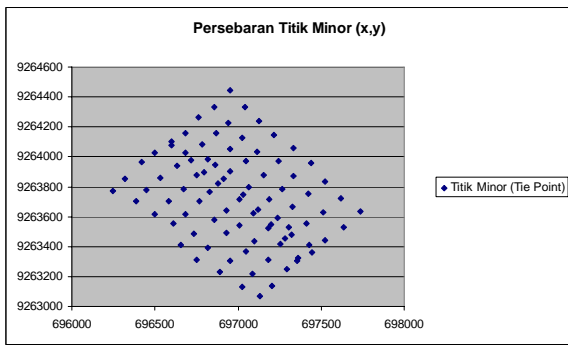
pergeseran untuk mendapatkan besar dan arah pergeseran.

Tabel 3 : Daftar Koordinat Titik Minor 5 GCP

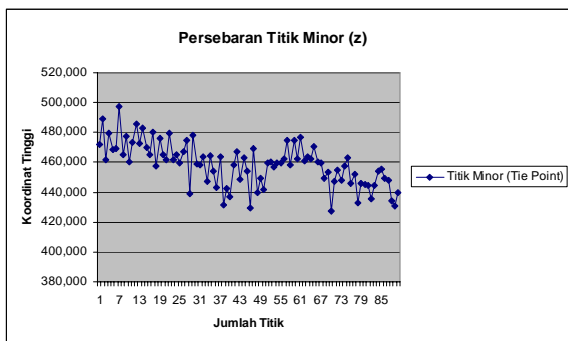
No.	Point ID	X	Y	Z
1	60980	697291,931	9263248,121	472,163
2	60981	697130,675	9263069,551	489,112
3	60982	697430,554	9263413,165	461,569
4	60983	697206,934	9263138,966	479,802
5	60984	697363,592	9263323,125	468,830
6	60990	697183,567	9263310,836	467,366
7	60991	697026,426	9263128,863	497,389
8	60992	697305,717	9263528,125	465,328
9	60993	697085,863	9263217,753	477,636
10	60994	697253,543	9263416,273	460,036
11	61000	697047,524	9263364,74	473,529
12	61001	696892,978	9263227,925	487,823
13	61002	697180,934	9263524,176	474,454
14	61003	696950,493	9263302,456	482,921
15	61004	697099,473	9263436,874	469,922
16	61010	696930,804	9263492,19	465,368
17	61011	696749,454	9263311,364	480,234
18	61012	697092,700	9263623,341	457,815
19	61013	696817,975	9263394,987	475,987
20	61014	697011,134	9263540,07	464,808
21	61020	696856,687	9263578,035	461,723
22	61021	696655,355	9263410,432	479,540
23	61022	697007,111	9263716,535	461,765
24	61023	696736,038	9263487,735	464,825
25	61024	696931,984	9263644,076	459,838
26	61030	696769,490	9263702,15	467,167
27	61031	696609,033	9263552,172	474,914
28	61032	696912,105	9263854,952	439,080
29	61033	696684,916	9263616,797	478,371
30	61034	696830,317	9263766,784	455,816
31	61040	696669,490	9263781,789	458,135
32	61041	696497,056	9263615,643	463,697
33	61042	696818,170	9263985,589	447,932
34	61043	696581,382	9263701,947	464,581
35	61044	696752,467	9263878,519	453,976
36	61050	696533,379	9263857,626	443,217
37	61051	696385,103	9263700,961	463,537
38	61052	696682,602	9264028,634	432,187
39	61053	696450,394	9263776,805	442,726
40	61054	696634,538	9263937,96	436,824
41	61060	696420,207	9263964,734	457,928
42	61061	696243,746	9263769,871	466,833
43	61062	696599,663	9264102,532	450,514
44	61063	696319,868	9263852,033	462,702
45	61064	696499,059	9264024,953	454,346
46	71340	697525,427	9263442,8	421,514
47	71341	697353,869	9263305,389	465,109
48	71342	697738,521	9263632,128	424,834
49	71343	697445,510	9263359,816	445,249

50	71344	697634,510	9263529,881	425,829
51	71350	697413,619	9263552,149	450,323
52	71351	697285,050	9263453,817	462,171
53	71352	697618,769	9263724,291	423,681
54	71353	697321,477	9263480,379	454,819
55	71354	697515,021	9263628,139	445,338
56	71360	697329,559	9263665,938	462,485
57	71361	697197,336	9263548,676	470,653
58	71362	697525,790	9263832,174	450,253
59	71363	697239,732	9263593,901	475,407
60	71364	697424,043	9263754,281	445,690
61	71370	697267,271	9263785,36	465,104
62	71371	697119,100	9263648,697	463,951
63	71372	697437,093	9263961,776	437,859
64	71373	697186,666	9263714,347	462,373
65	71374	697331,694	9263873,004	453,592
66	71380	697154,938	9263875,658	446,435
67	71381	697029,067	9263744,169	455,864
68	71382	697335,923	9264055,534	421,612
69	71383	697067,030	9263795,111	453,292
70	71384	697243,906	9263972,133	410,302
71	71390	697049,173	9263971,065	434,387
72	71391	696881,497	9263822,554	453,925
73	71392	697215,468	9264143,309	417,211
74	71393	696954,340	9263900,523	458,566
75	71394	697116,981	9264035,686	441,714
76	71400	696953,508	9264050,51	430,893
77	71401	696795,523	9263895,455	457,315
78	71402	697128,240	9264237,384	405,687
79	71403	696861,573	9263944,423	443,095
80	71404	697024,313	9264123,77	426,995
81	71410	696867,918	9264156,071	435,364
82	71411	696715,400	9263977,107	441,522
83	71412	697043,032	9264333,6	414,364
84	71413	696781,605	9264081,668	444,297
85	71414	696941,537	9264228,487	432,494
86	71420	696763,494	9264261,852	431,563
87	71421	696602,059	9264078,515	450,844
88	71422	696953,790	9264441,341	399,081
89	71423	696683,809	9264159,665	420,541
90	71424	696855,157	9264329,381	412,779
91	990001	697228,366	9263150,616	483,309
92	990005	696390,004	9263705,824	464,446
93	990008	697092,608	9263625,772	457,211
94	990011	697657,994	9263523,52	442,962
95	990015	696953,773	9264426,652	436,740

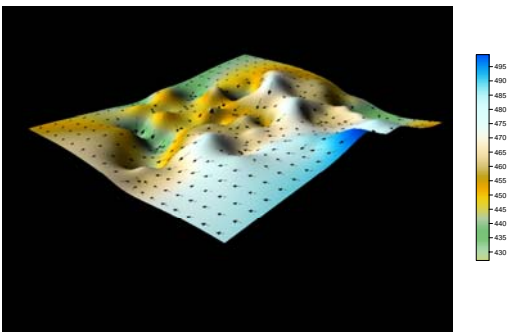
Dari data koordinat di atas dapat digambarkan persebaran titik-titik minor (*Tie point*) untuk posisi x, y, dan z sebagai berikut:



Gambar 11 : Persebaran Koordinat Planimetri (X,Y) Titik Minor 5 GCP



Gambar 12 : Persebaran Koordinat Tinggi (z) Titik Minor 5 GCP



Gambar 13: Visualisasi Terrain dari Model 5 GCP

ANALISA

Analisa Ketelitian Sigma Naught

Dari proses perataan Bundle Adjustment menggunakan PAT-B didapat nilai Sigma Naught yang menunjukkan besar kesalahan yang terjadi dalam proses koreksi geometrik pada foto udara medium format sebagai berikut :

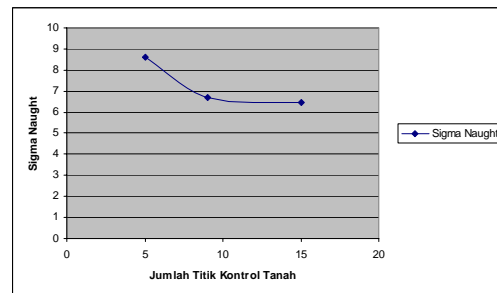
Tabel 4 : Sigma Naught 15 GCP, 9 GCP, 5 GCP

No.	Jumlah GCP	Sigma Naught (μm)
1	15 GCP	6,440
2	9 GCP	6,690
3	5 GCP	8,603

Perbedaan ini disebabkan karena beberapa faktor, antara lain :

1. Adanya pengurangan jumlah GCP (titik kontrol tanah) dalam proses triangulasi udara.
2. Adanya kesalahan dalam proses pengamatan titik-titik minor (*tie point*).
3. Adanya kesalahan dalam peletakkan titik kontrol tanah (GCP) pada foto udara, karena dalam penelitian ini penentuan posisi GCP menggunakan objek yang ada di alam (*natural point*)

Dari tabel di atas dapat digambarkan grafik hubungan jumlah titik kontrol tanah dengan besar sigma naught (μm) sebagai berikut :



Gambar 14 : Grafik Hubungan Jumlah Titik Kontrol Tanah dengan Nilai Sigma Naught

Grafik di atas dapat menjelaskan bahwa semakin banyak titik kontrol tanah yang digunakan dalam proses triangulasi udara, semakin bagus nilai *sigma naught*.

Analisa Ketelitian Planimetris (x,y) Terhadap Jumlah dan Distribusi Titik Kontrol Tanah

Dari hasil perataan PAT-B, maka didapat selisih koordinat planimetris (x,y) sehingga akan didapatkan nilai vektor pergeseran planimetris ($r_{x,y}$). Analisa pergeseran meliputi besar dan arah pergeserannya dimana besar

pergeseran titik diperoleh dari perhitungan jarak dua koordinat sehingga dapat dilihat rata-rata selisih koordinat planimetris (x,y) dan besar nilai pergeseran vektor sebagai berikut:

1. 15 GCP-9 GCP : $x = 0,047 \text{ m}$, $y = 1,182\text{m}$, $r = 1,183\text{m}$
2. 15 GCP-5 GCP : $x = 1,507 \text{ m}$, $y = 0,850\text{m}$, $r = 1,730\text{m}$

Sehingga dapat disimpulkan bahwa 15-9 GCP mempunyai selisih koordinat planimetris dan nilai pergeseran vektor paling kecil yaitu sebesar $x = 0,047 \text{ m}$, $y = 1,182 \text{ m}$ dan $r = 1,183 \text{ m}$ sehingga mempunyai tingkat ketelitian planimetris paling bagus.

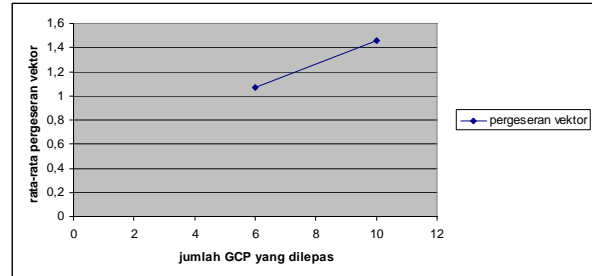
Hal ini disebabkan adanya faktor pengurangan jumlah dan distribusi titik kontrol tanah (GCP). Semakin banyak titik kontrol tanah dan distribusinya bagus maka akan teliti koordinatnya. Begitu pula sebaliknya. Karena titik kontrol tanah berfungsi sebagai titik ikat objek-objek di sekitarnya, sehingga ketika titiktitik kontrol tanah itu tidak digunakan maka titik ikat objekobjek sekitar GCP yang tidak digunakan itu akan tertarik ke GCP lainnya. Hal itu dapat menyebabkan besarnya nilai pergeseran vektor.

Hal ini dapat dibuktikan dengan melihat besar pergeseran vektor titik kontrol tanah yang tidak digunakan sebagai berikut :

Tabel 5 : Nilai Vektor Pergeseran Planimetris ($r_{x,y}$) GCP Yang Tidak digunakan pada 15 GCP, 9 GCP dan 5 GCP

No.	Point ID GCP	15-9 GCP			15-5 GCP		
		ΔX (m)	ΔY (m)	r (m)	ΔX (m)	ΔY (m)	r (m)
1.	990002	0,565	1,288	1,406	2,566	4,560	5,232
2	990003	0,000	0,000	0,000	0,349	1,909	1,941
3	990004	1,974	1,783	2,660	0,111	1,661	1,664
4	990006	0,000	0,000	0,000	5,059	8,143	9,587
5	990007	0,658	0,458	0,802	0,542	1,903	1,978
6	990009	0,259	3,752	3,761	6,011	1,645	6,232
7	990010	0,000	0,000	0,000	4,814	0,903	4,899
8	990012	3,782	1,096	3,938	2,027	3,198	3,786
9	990013	0,000	0,000	0,000	2,834	10,734	11,101
10	990014	5,696	3,442	6,655	6,832	1,171	6,932
	Ratarata	0,044	1,072	1,073	1,305	0,651	1,458

Dari data tabel di atas dapat dilihat grafik perubahan pergeseran vektor planimetris terhadap jumlah GCP yang tidak digunakan sebagai berikut :



Gambar 15 : Grafik Hubungan Jumlah Titik Kontrol Tanah Yang Tidak Digunakan dengan Nilai Rata-rata Pergeseran Vektor Planimetris

Dari pemaparan data-data di atas dapat disimpulkan bahwa pengurangan titik kontrol tanah dapat mengurangi ketelitian planimetris (x,y).

Analisa Ketelitian Koordinat Tinggi (z) Terhadap Distribusi dan Jumlah Titik Kontrol Tanah

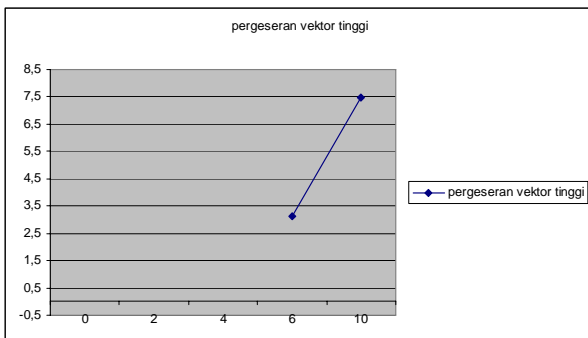
Dari hasil perataan PATB, maka didapat selisih koordinat tinggi (z) sehingga akan didapatkan besar rata-rata selisih koordinat tinggi (ΔZ) dan rata-rata nilai pergeseran vektor (r_z) yang cukup signifikan antara 15-9 GCP dan 15-5 GCP, untuk 15-9 GCP dimana $\Delta Z = 1,017 \text{ m}$, $r_z = 1,560 \text{ m}$ dan 15-5 GCP dimana $\Delta Z = 2,279 \text{ m}$, $r_z = 2,862 \text{ m}$. Hal ini disebabkan adanya faktor pengurangan jumlah dan distribusi titik kontrol tanah (GCP). Karena titik kontrol tanah berfungsi sebagai titik ikat objek-objek di sekitarnya, sehingga ketika titik-titik kontrol tanah itu tidak digunakan maka titik ikat objek-objek sekitar GCP yang tidak digunakan itu akan tertarik ke GCP lainnya. Hal itu dapat menyebabkan besarnya nilai pergeseran titik tinggi.

Hal ini dapat dibuktikan dengan melihat besar pergeseran vektor titik kontrol tanah yang tidak digunakan sebagai berikut:

Tabel 6 : Nilai Vektor Pergeseran Tinggi (r_z) GCP yang Tidak Digunakan

No.	Point ID GCP	15 GCP	9 GCP	5 GCP	15-9 GCP		15-5 GCP	
		Z	Z	Z	ΔZ	r_z	ΔZ	r_z
1	990002	486,309	489,343	480,583	3,034	3,344	5,726	7,757
2	990003	465,212	465,212	469,822	0,000	0,000	4,610	5,002
3	990004	461,192	457,992	455,672	3,200	4,161	5,520	5,765
4	990006	449,580	449,580	444,480	0,000	0,000	5,100	10,859
5	990007	449,597	443,797	445,497	5,800	5,855	4,100	4,552
6	990009	462,117	466,897	457,647	4,780	6,082	4,470	7,669
7	990010	465,583	465,583	460,973	0,000	0,000	4,610	6,727
8	990012	462,956	460,559	466,459	2,397	4,610	3,503	5,158
9	990013	449,384	449,384	454,854	0,000	0,000	5,470	12,376
10	990014	440,229	437,527	434,727	2,702	7,182	5,502	8,850
rata-rata					0,629	3,124	2,145	7,472

Dari data tabel di atas dapat dilihat grafik perubahan pergeseran vektor tinggi terhadap jumlah GCP yang tidak digunakan sebagai berikut :



Gambar 16 : Grafik Hubungan Jumlah Titik Kontrol Tanah Yang Tidak Digunakan dengan Nilai Rata-rata Pergeseran Vektor Tinggi

Dari pemaparan data-data di atas dapat disimpulkan bahwa pengurangan titik kontrol tanah dapat mengurangi ketelitian tinggi (z).

KESIMPULAN

1. Dari proses koreksi geometrik menggunakan perataan *Bundle Adjustment* dari program PAT-B didapatkan nilai *sigma naught* untuk model I sebesar $6,640 \mu\text{m} = 0,92$ pixel atau setara dengan $10,624$ cm di lapangan, model II sebesar $6,690 \mu\text{m}$

$= 0,93$ pixel atau setara dengan $10,704$ cm di lapangan dan model III sebesar $8,603 \mu\text{m} = 1,2$ pixel atau setara dengan $13,765$ cm di lapangan.

- Dengan jumlah titik kontrol tanah paling banyak dan distribusi menyebar menunjukkan ketelitian *sigma naught* paling baik ditunjukkan pada model I yaitu sebesar $6,440 \mu\text{m} = 0,92$ pixel atau setara dengan $10,624$ cm di lapangan.
- Dengan jumlah titik kontrol tanah minimum menunjukkan ketelitian *sigma naught* paling kecil ditunjukkan pada model III yaitu sebesar $8,603 \mu\text{m} = 1,2$ pixel atau setara dengan $13,765$ cm di lapangan.
- Dari proses analisa ketelitian planimetris didapatkan rata-rata selisih koordinat planimetris sebesar $x = 0,047$ m , $y = 1,182$ m untuk perbandingan 15-9 GCP; $x = 1,461$ m, $y = 0,332$ m dan $x = 1,507$ m, $y = 0,850$ m untuk perbandingan 15-5 GCP. Maka dapat disimpulkan semakin kecil jumlah GCP yang tidak digunakan akan memiliki ketelitian planimetris paling baik.
- Dari proses analisa pergeseran vektor planimetris didapatkan rata-rata untuk perbandingan 15-9 GCP sebesar $1,183$ m dan untuk perbandingan 15-5 GCP sebesar $1,730$ m. Maka dapat disimpulkan bahwa semakin banyak GCP yang tidak digunakan maka semakin besar pergeseran vektornya.
- Dari proses analisa ketelitian tinggi didapatkan rata-rata selisih koordinat tinggi untuk perbandingan 15-9 GCP sebesar $1,017$ m dan untuk perbandingan 15-5 GCP sebesar $2,279$ m. Hal ini juga membuktikan semakin banyak GCP yang tidak digunakan maka ketelitian tinggi semakin kecil.
- Dari proses analisa pergeseran vektor tinggi didapat rata-rata pergeseran vektor untuk perbandingan 15-9 GCP sebesar $1,560$ m dan untuk perbandingan 15-5 GCP sebesar $2,862$ m.

8. Hasil penelitian tersebut membuktikan bahwa jumlah titik kontrol maksimum dan pola distribusi menyebar mempunyai ketelitian σ_{naught} , ketelitian planimetris dan ketelitian tinggi yang baik.

SARAN

1. Disarankan untuk dilakukan penelitian lanjutan mengenai mosaik orthofoto pada foto udara medium format dengan jumlah dan distribusi titik kontrol tanah tertentu.
2. Hendaknya literatur tentang triangulasi udara diperbanyak dalam perpustakaan jurusan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ackerman, F. ITC: *Lectures on Accuracy Aerial Triangulation*
- Anonim, 1979. *Lokakarya : Triangulasi Udara*. Yogyakarta : Konggres ke-3 Ikatan Surveyor Indonesia
- Anonim, 1984. *Specifications for Aerial Triangulation Edition March 1984*. Surveys and Resource Mapping Branch, B.C Ministry of Environment.
- Anonim. 2006. *Laporan Pendahuluan Pemetaan dengan Foto Udara di Kota Malang*. PT. Karvak Nusa Geomatika, Jakarta
- Bobby, Santoso. 2001. *Pengantar Fotogrametri*. Departemen Teknik Geodesi, Bandung
- Cahyono, Agung Budi dan Hapi Hapsari. 2005. *Petunjuk Praktikum Fotogrametri I*. Surabaya: Laboratorium Penginderaan Jauh dan SIG, Program Studi Teknik Geodesi ITS.
- Fricker, Peter.Dkk. *Results From Test Flights Of The LH Systems ADS40 Airborne Digital Sensor*.
<http://www.pcigeomatics.com/service/support_center/quickguides/GPS_online.pdf>.Dikunjungi pada tanggal 8 Februari 2007 pukul 21.00 WIB.
- Haryanto, Teguh. 2005. *Hand Out Photogrametri I*. Surabaya : Program Studi Teknik Geodesi ITS
- Kocaman, Sultan. *Investigation On The Triangulation Accuracy Of Starimager Imagery*. Institute of Geodesy and Photogrametry, Zurich Switzerland.
<<http://www.photogrammetry.ethz.ch/aida05/pdf/kocaman.pdf>>. Dikunjungi pada tanggal 17 Maret 2007 pukul.19.00 WIB.
- Lillesand, kiefer. 1990. *Penginderaan jauh dan interpretasi citra*. Gajah mada university press, Jogjakarta.
- Linder, Wilfried. 2006. *Digital Photogrammetry (a Practical Course), Second Edition*. Springer, Netherlands.
- Mikhail, E.M.; Bethel, J.; McGlone, J.C., 2001. *Introduction to Modern Photogrammetry*. Halaman 91-93.
- Pratama, Pandu Yuri dan Qithfirul. 2007. *Laporan Kerja Praktek : Proses Triangulasi Udara Foto Udara Medium Format Dengan Menggunakan Perangkat Lunak Image Processing*, Surabaya : Program Studi Teknik Geomatika ITS
- Raharja, D. 2005. *Studi Perbandingan Ketelitian Planimetris Mosaik Foto Udara dengan Peta Garis Daerah Kampus ITS Sukolilo*. Tugas Akhir Program Studi T.Geodesi ITS: Surabaya

- Septoharjo, Guron. 2006. *Pengaruh Penggunaan Kalibrasi Kamera Terhadap Hasil Beda Tinggi (Studi Kasus: Foto Udara Digital Medium Format)*. Skripsi Jurusan Teknik Geodesi Universitas Gajah Mada: Yogyakarta
- Suharsana. 1997. *Fotogrametri Stereo*. Jurusan Teknik Geodesi Universitas Gajah Mada, Yogyakarta
- Sumaryo, 1980. *Triangulasi Udara Analitis*. Yogyakarta: Teknik Geodesi UGM
- Wolf, P. R. 1993. *Elemen Fotogrametri dengan Interpolasi Foto Udara dan Penginderaan Jauh*, Penerjemah: Gunadi,