

KETELITIAN PEMETAAN DENGAN FOTO UDARA TUNGGAL : STUDI KASUS DI KAMPUS UGM DAN SEKITARNYA

Harintaka *

ABSTRACT

In soft copy photogrammetry, a common method in generating an accurate map includes some standard procedures, i.e. inner orientation, outer orientation, and absolute orientation, and the photograph should have an appropriate overlap area. This research explored the use of monoplotted method to generate a map from an aerial photograph image. The aerial photograph covered Gadjah Mada University in the scale of 1: 10,000.

Steps were followed to produce a map using monoplotted technique. Firstly, an aerial photograph was scanned and then 15 existing Ground Control Points (GCPs) were identified on the image. Secondly, parameter transformations were computed using polynomial interpolation and space resection were used to generate coordinate objects on the earth. Finally, object coordinates were evaluated against existing ground control coordinates.

The research shows that monoplotted technique can be used to produce thematic map, in the scale of 1: 10 000 and in 100 dpi scanning resolution. Deviation in abscise and ordinate are 10.5 pixels and 3 pixels respectively.

PENGANTAR

Perkembangan teknologi pemetaan khususnya pemetaan fotogrametri saat ini menuju ke arah digital atau lebih dikenal sebagai fotogrametri digital (*soft copy photogrammetry*) sehingga proses pengolahannya dari konversi data, triangulasi udara, DTM, proyeksi *orthophoto*, dan *monoplotted* dilakukan secara digital. Mayr dan Dorstel (1996) menyatakan bahwa perangkat lunak *phodis* dapat melakukan pemetaan digital secara penuh, termasuk di dalamnya proses *monoplotted*, hanya saja proses *monoplotted* tersebut dilakukan setelah diperoleh data ketinggian (DTM) dari proses *orthophoto* dari sumber data (foto udara) yang sama.

Soeta'at (1994) menyatakan untuk pemetaan fotogrametris selalu menggunakan foto udara yang bertampalan (*overlap*), sedangkan metode *monoplotted* tidak perlu menggunakan sepasang foto udara yang saling bertampalan, dengan demikian proses orientasi relatif dan absolut tidak diperlukan lagi. Metode *monoplotted* cocok untuk dipakai pada media citra satelit, misalnya citra Landsat, yang tidak mempunyai pertampalan.

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi ketelitian posisi obyek pada permukaan tanah (peta) yang diperoleh dengan teknik *monoplotted* dari satu buah foto udara kampus UGM dengan skala 1: 10.000. Sebagai titik kontrol dipergunakan KKHV (Kerangka Kontrol Horizontal dan Vertikal) yang ada di kampus UGM.

DASAR TEORI

Interpolasi Polinomial

Interpolasi non linear adalah fungsi interpolasi polinomial derajat dua atau lebih dan dapat dipergunakan sebagai model estimasi data tambahan. Teknik ini dapat dipergunakan untuk data DTM 2D (profil) ataupun 3D (bidang *terrain*). *Polynomial trend surface* dapat diperluas untuk orde yang lebih tinggi, tetapi biasanya hanya sampai ke-orde 3, tergantung pada permukaan tanah yang akan dihasilkan. Secara umum fungsi polinomial berbentuk (Prihandito, 1989):

$$F(x,y) = \sum_{r=0}^p \sum_{s=0}^p b_{rs} x^r y^s \quad (1)$$

dalam hal ini:

$$\begin{aligned} r + s &\leq p \text{ (orde dari trend surface)} \\ b &= \text{Koefisien} \\ x, y &= \text{Koordinat tanah/peta} \end{aligned}$$

Persamaan Kesegarisian

Persamaan kesegarisian (*collinear equation*) merupakan persamaan dasar untuk menyelesaikan persoalan fotogrametri. Persamaan kesegarisian menyatakan hubungan kesegarisian antara koordinat obyek di citra foto, pusat proyeksi, dan pada sistem koordinat tanah (Wolf, 1983). Persamaan kesegarisian

* Dosen Jurusan Teknik Geodesi FT-UGM dan Mahasiswa Pascasarjana Teknik Geodesi ITB

yang dimodifikasi untuk *monoplotting* adalah (Soeta'at, 1994):

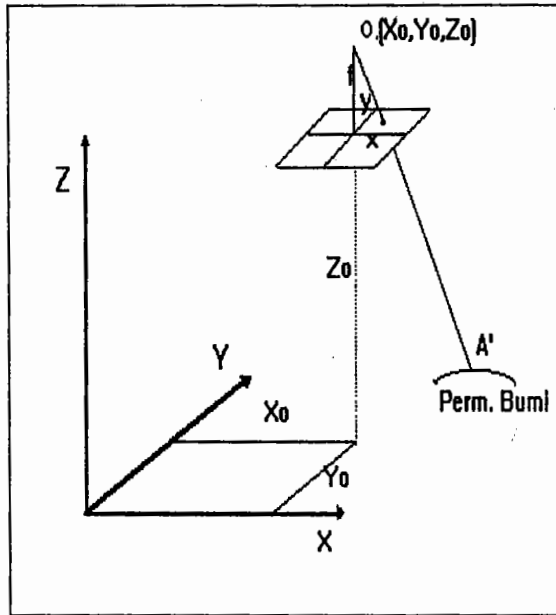
$$X = \frac{(r11 \cdot x + r12 \cdot y + r13 \cdot f)}{(r31 \cdot x + r32 \cdot y + r33 \cdot f)} (Z - Z_0) + X_0 \quad (2)$$

$$Y = \frac{(r21 \cdot x + r22 \cdot y + r23 \cdot f)}{(r31 \cdot x + r32 \cdot y + r33 \cdot f)} (Z - Z_0) + Y_0 \quad (3)$$

dalam hal ini:

- X, Y, Z = Sistem koordinat tanah
- x, y, z = Sistem koordinat foto
- f = Fokus kamera
- X₀, Y₀, Z₀ = Vektor translasi
- r₁₁, ..., r₃₃ = Elemen matrix rotasi, fungsi dari ω, ψ, dan κ

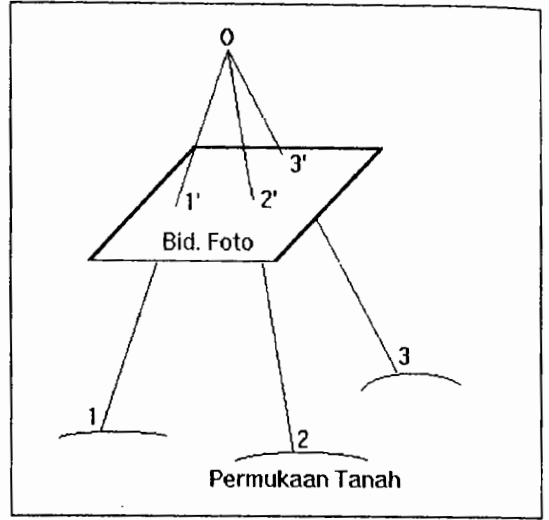
Secara grafis persamaan kesejarisan dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 1. Bila titik A di permukaan bumi, bayangannya di bidang foto, dan pusat proyeksi sentral dihubungkan maka akan membentuk garis lurus.



Gambar 1. Hubungan sistem koordinat tanah dan foto

Parameter orientasi (X₀, Y₀, Z₀) dan posisi pusat proyeksi kamera (ω, ψ, κ) seperti yang ditunjukkan pada persamaan (2) dan (3) dapat dihitung dengan menggunakan teknik pemotongan ke belakang (*space resection*). Seperti ditunjukkan pada Gambar 2, pada teknik pemotongan ke belakang diperlukan minimal 3 buah titik yang diketahui koordinat tanah dan koordinat fotonya. Bila telah diketahui 6 buah

parameter orientasi dan posisi pusat proyeksi kamera pada saat pemotretan maka dengan menggunakan persamaan (2) dan (3) setiap obyek pada foto dapat dihitung koordinat tanahnya.



Gambar 2. Pemotongan ke belakang

Perataan Kuadrat Terkecil Metode Parameter

Perataan kuadrat terkecil adalah suatu metode pemberian koreksi terhadap hasil ukuran yang didasarkan pada prinsip jumlah hasil residu hasil pengukurannya minimum (Mikhail and Gracie, 1981).

$$\Phi = v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2 = \sum_{i=1}^n v_i^2 \Rightarrow \text{minimum} \quad (4)$$

Hitungan kuadrat terkecil yang umum dipakai adalah metode parameter, dalam hal ini data yang diperoleh dari pengamatan dapat dinyatakan langsung sebagai fungsi parameternya. Persamaan observasinya dari pengukuran adalah sebagai berikut:

$$Lb + V = f(Xa) \quad (5)$$

dan persamaan normalnya adalah:

$$X = -(A^T P A)^{-1} A^T P L \quad (6)$$

dalam hal ini:

- V = Matriks koreksi pengukuran
- A = Matriks koefisien
- X = Matriks parameter (*unknown*)
- P = Matriks bobot
- L = Matriks pengukuran
- A^T = Transpose matriks A

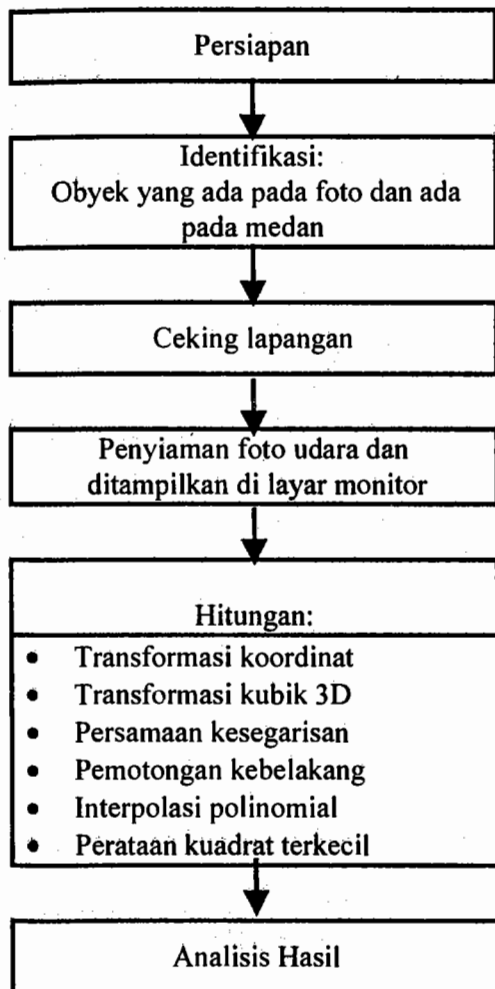
CARA PENELITIAN

Bahan dan Alat

- Foto udara kampus UGM dan sekitar skala 1:10.000
- Data koordinat KKHV di kampus UGM
- Scanner dengan resolusi minimal 300 dpi (*dot per inch*)
- Komputer AT/486 dengan RAM 8M, SVGA color, dan hard disk
- Stereoskop cermin
- Perangkat lunak Paint Brush, Quick Basic v4.5, dan Surfer for Windows

Prosedur Pelaksanaan

Secara garis besar prosedur pelaksanaan penelitian digambarkan dalam Gambar 3. Ada 6 tahap yang harus dilalui, dimulai dari persiapan penelian sampai dengan analisis hasil akhirnya. Secara rinci akan dijelaskan pada Gambar 3.



Gambar 3. Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Lima belas obyek yang teridentifikasi dengan jelas pada foto udara dipilih sebagai titik kontrol tanah. Sebagai alat bantu untuk mengidentifikasi titik kontrol tanah pada foto udara digunakan stereoskop cermin. Obyek yang dipakai sebagai titik kontrol tanah adalah tugu Kerangka Kontrol Horizontal dan Vertikal (KKHV) yang ada di pinggir jalan dan mengelilingi kampus UGM. Pengecekan lapangan dilakukan untuk menghindari salah identifikasi obyek.

Foto udara yang mencakup kampus UGM dan sekitarnya disiam dengan resolusi 100 dpi. Pemilihan resolusi 100 dpi disebabkan oleh alasan keterbatasan media penyimpanan. Posisi planimetrik titik kontrol tanah pada sistem koordinat foto dapat diketahui dengan menampilkannya pada layar monitor dengan perangkat lunak Paint Brush sekaligus mengecek kebenaran obyeknya dengan fasilitas *zooming*. Citra hasil penyiaman foto udara tersebut berada dalam sistem koordinat piksel, sehingga harus dilakukan transformasi koordinat. Transformasi koordinat yang dilakukan mencakup transformasi dari sistem koordinat piksel ke foto dan dibuat centroid, serta sistem koordinat tanah dibuat centroid. Transformasi ini harus dilakukan karena pada bidang foto dan bidang tanah harus ada originnya (titik pusat koordinat).

Lima belas titik kontrol tanah yang teridentifikasi tersebut dipakai untuk menghitung parameter orientasi dan pusat proyeksi kamera udara. Pada penghitungan 6 parameter tersebut dipergunakan perataan kuadrat terkecil karena adanya pengamatan lebih. Koordinat tanah (X,Y) setiap obyek di foto dihitung dengan menggunakan persamaan kesegarisan. Nilai ketinggian (Z) setiap obyek di permukaan bumi dihitung dengan menggunakan hitungan interpolasi polinomial. Bila titik-titik obyek telah diketahui koordinatnya (X, Y, Z) maka dapat diturunkan peta untuk daerah tersebut.

Analisis hasil dilakukan dengan menghitung ulang beberapa titik yang teridentifikasi secara jelas pada foto udara dan diketahui posisinya di permukaan bumi. Hasil koordinat hitungan dibandingkan dengan koordinat sebenarnya di permukaan bumi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penghitungan Parameter Polinomial

Untuk memperoleh parameter polinomial diperlukan minimal 10 titik kontrol di tanah dan di foto. Pada program ini dipakai 15 titik kontrol tanah. Parameter polinomial yang dihitung adalah b_0, b_1, \dots, b_9 . Metode interpolasi yang dipakai adalah kubik 3D (tiga dimensi). Hasil perataan kuadrat terkecil metode

parameter menunjukkan parameter terbesar adalah b_0 sebesar 134,7611 m, parameter terkecil sebesar $-8,21 \cdot 10^{-9}$ meter, yang menunjukkan fungsi orde ketiga, sedang fungsi orde kedua berkisar antara 10^{-2} sampai dengan 10^{-7} meter. Karena harga b_2 sampai dengan b_9 terlalu kecil, maka fungsi polinomial yang tepat adalah linear bukan kubik.

Residu hitungan yang diperoleh sedikit bervariasi, residu terbesar adalah 3,07 m dan sebagian besar berkisar pada fraksi 10^{-1} meter. Residu (v) adalah selisih antara nilai estimasi dengan pengamatan (observasi).

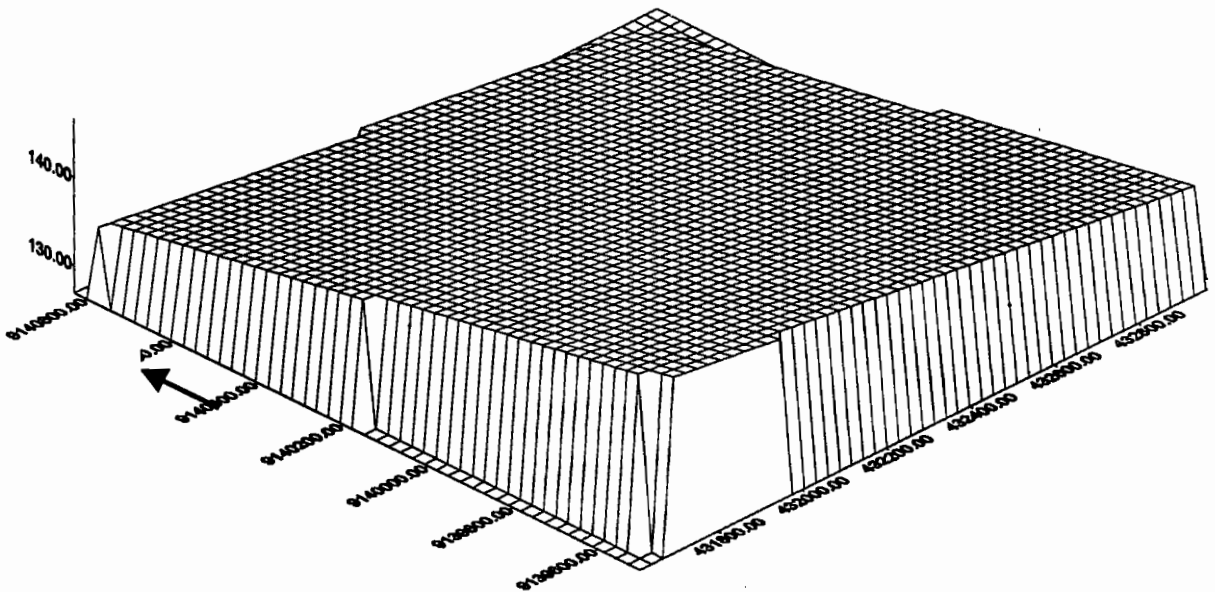
Hitungan Pemotongan ke Belakang

Parameter orientasi luar (*outer orientation parameters*) ω , ψ , κ , X_0 , Y_0 , dan Z_0 , dihitung secara iteratif. Iterasi dihentikan apabila hasil hitungan baru tidak berbeda dengan hasil hitungan sebelumnya (lama). Pada program yang telah dibuat, iterasi dihentikan dengan batasan jumlah iterasi yang diinginkan oleh operator, pada kasus ini iterasi dihentikan pada hitungan ke-enam.

Terbukti iterasi untuk masing-masing ω , ψ , κ , X_0 , Y_0 , dan Z_0 cenderung mengecil atau bersifat konvergen. Hasil residu pengukurannya pun bervariasi, maksimal sebesar 0,54 m dan minimal sebesar $-0,212$ m atau -212 mm sehingga dapat dikatakan bahwa identifikasi titik kontrol tanah di medan dan di foto udara tidak ada yang salah lokasi.

Penurunan Koordinat Tanah dan Pembuatan Peta

Pada sistem koordinat foto, setiap detail yang teridentifikasi dengan baik di foto udara (misalnya: pojok-pojok bangunan, jalan, selokan, dsb) dihitung koordinat tanahnya. Dari layar monitor dapat diketahui koordinat obyek yang diinginkan, dengan hitungan *monoplotting* diperoleh koordinat titik tersebut di tanah. Titik-titik yang mempunyai label yang sama dapat dihubungkan untuk mendapatkan bentuk dan posisi obyek sebenarnya di permukaan bumi. Gambar 4 menampilkan kecenderungan permukaan tanah di kampus UGM dan sekitarnya.



Gambar 4. Kecenderungan permukaan tanah di kampus UGM dan sekitarnya

Dari Gambar (4) terlihat permukaan tanahnya cenderung datar dan teratur, hal ini menunjukkan fungsi interpolasi linear orde 1 yang paling cocok untuk memodelkannya. Pada Gambar (4) penskalaan untuk horizontal dan vertikal tidak sama, skala vertikal lebih besar daripada skala horizontal, hal ini untuk lebih menonjolkan kecenderungan permukaan tanahnya.

Analisis Hasil

Analisis ketelitian planimetrik dilakukan dengan menghitung ulang 15 titik kontrol tanah untuk mengevaluasi secara keseluruhan dari proses hitungan *monoplotting*. Hitungan dilakukan dengan memasukkan koordinat titik kontrol tanah di foto kemudian dilihat hasil hitungannya dalam sistem koordinat tanah. Tabel I menunjukkan hasil hitungan titik kontrol tanah secara keseluruhan.

Tabel I. Hasil Hitungan Titik Kontrol Tanah

BM	Titik Kontrol Asli (m)			Titik Kontrol Hitungan (m)			Selisih (m)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	V _x	V _y	V _z
BM.01	430710.125	9141814.000	135.694	430776.688	9141714.000	132.696	-66.563	100.00	2.998
BM.02	431042.969	9141721.000	141.109	431111.688	9141679.000	130.804	-68.719	42.000	10.305
BM.03	431523.156	9141523.000	140.485	431608.625	9141534.000	128.853	-85.469	-11.000	11.632
BM.04	431954.500	9141393.000	136.669	432045.688	9141379.000	126.856	-91.188	-44.000	9.813
BM.05	431837.156	9141114.000	135.834	431954.406	9141128.000	130.243	-117.250	-14.000	5.591
BM.06	431724.531	9140807.000	133.645	431852.031	9140831.000	133.596	-127.500	-24.000	0.049
BM.07	431576.344	9140413.000	128.732	431762.813	9140438.000	137.733	-186.469	-25.000	-9.001
BM.08	431108.000	9140647.000	130.642	431275.344	9140632.000	139.185	-167.344	15.000	-8.542
BM.09	430903.563	9141008.000	132.307	431043.156	9140954.000	137.804	-139.594	54.000	-5.497
BM.10	431016.813	9141385.000	136.246	431117.000	9141329.000	133.932	-100.188	56.000	2.314
BM.11	430836.656	9141444.000	130.251	430868.344	9141394.000	134.978	-31.688	50.000	-4.727
BM.12	430618.500	9141608.000	132.542	430703.813	9141514.000	134.978	-85.313	94.000	-2.436
PIKP	431431.625	9141392.000	138.718	431524.406	9141347.000	131.092	-92.781	45.000	7.626
GPS.T	430954.938	9141486.000	136.282	431045.375	9141431.000	133.488	-90.438	55.000	2.794
G.BLV	431287.875	9140656.000	130.919	431439.875	9140582.000	138.561	-152.000	74.000	-7.642

Tabel I menunjukkan bahwa harga absis (X) titik kontrol tanah asli selalu lebih kecil daripada hasil hitungan, sedangkan ordinat hitungan (Y) relatif lebih kecil daripada ordinat asli. Dari hitungan statistik terlihat bahwa rata-rata penyimpangan absis (V_x), ordinat (V_y) dan ketinggian (V_z) cukup besar. Pada skala 1: 10.000 V_x dan V_y di citra foto udara yang tersiam 100 dpi akan setara dengan 10,5 piksel dan 3 piksel. V_x adalah selisih X asli dengan X hitungan, V_y adalah selisih Y asli dengan Y hitungan, dan V_z adalah selisih Z asli dengan Z hitungan.

KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Teknik monoplotting dapat dipergunakan untuk membuat peta tematik dari sebuah foto udara

2. Hitungan parameter polinomial menunjukkan bahwa *terrain* di kampus UGM dan sekitarnya adalah datar dan pengamatan di lapangan menunjukkan sebagian adalah datar berteras, hal ini ditunjukkan oleh harga parameter polinomial $b_0=134,76$, $b_1=6,57 \cdot 10^{-3}$, dan $b_2=9,03 \cdot 10^{-3}$, serta nilai b_3 sampai b_9 berharga nol sehingga interpolasi yang tepat adalah interpolasi linier bukan polinomial kubik 3D.
3. Hitungan *space resection* menunjukkan konvergen, yang ditunjukkan oleh hitungan ω , ψ , κ , X_0 , Y_0 , dan Z_0 yang mengecil sampai pada iterasi keenam, dan bidang foto adalah datar yang ditunjukkan oleh hitungan ω , ψ , κ yang mendekati harga nol.
4. Titik kontrol tanah hasil hitungan ulang yang tergeser dapat ditempatkan kembali dengan melakukan transformasi antar koordinat tanah dan untuk mencegah degradasi citra digital maka *scanner* harus dikalibrasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian UGM yang telah memberikan dana penelitian melalui anggaran rutin MA 5250 tahun 1997/1998 sehingga penelitian ini dapat berlangsung. Penghormatan yang tulus penulis sampaikan kepada Bapak Ir. Soeta'at, Dip.Ph.E., yang telah mengarahkan selama penelitian berlangsung dan Bapak Ir. Djurdjani, M.S., M.Eng., atas kritik dan diskusinya yang konstruktif.

DAFTAR PUSTAKA

- Harintaka, 1998, *Ekstraksi Data DTM (Digital Terrain Model) dari Citra Foto Digital dengan Teknik Monoplotting di Sekitar Kampus UGM*, Laporan Penelitian MA 5250 Lembaga Penelitian UGM, Yogyakarta.
- Mayr, W. and Dorstel, C., 1996, *Phodis-Digital Photogrammetry from Carl Zeiss*, ZPF-Zeitschrift fur Photogrammetrie und Fernerkendung, pp 130-139, Karlsruhe.
- Mikhail, E. M. and Gracie, G., 1981, *Analysis and Adjustment of Survey Measurement*, Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York.
- Prihandito, A., 1989, *Kartografi*, Cetakan pertama, PT. Mitra Gama Widya, Yogyakarta.
- Soeta'at, 1994, *Fotogrametri Analitik*, Jurusan Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Wolf, P.R., 1983, *Elements of Photogrammetry*, 2nd edition, McGraw-Hill Book Company, New York.

Lampiran:



Gambar. 5. Daerah Penelitian di kampus UGM dan sekitarnya