

PENGUNAAN TITIK KONTROL GPS UNTUK KALIBRASI KAMERA DENGAN METODE SPACE RESECTION

Studi kasus : Kota Malang

Fransisca Dwi A¹, M. Edwin Tjahjadi², F.X Ariwibisono³

Program Studi Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional Malang¹

Program Studi Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional Malang²

Program Studi Teknik Informatika Institut Teknologi Nasional Malang³

E-mail: siscaagustina@lecturer.itn.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan titik kontrol GPS saat ini telah banyak digunakan dalam akuisisi data pengukuran fotogrametri. Pada penelitian ini penulis menerapkan metode *space resection* untuk kalibrasi kamera. Metode tersebut memanfaatkan informasi posisi yang diberikan oleh titik kontrol GPS dan memanfaatkannya untuk menghitung parameter kalibrasi kamera yang akurat. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui dan memperkuat metode *space resection* dengan mempertimbangkan adanya informasi dari titik kontrol GPS dalam kalibrasi kamera. Metode *space resection* merupakan suatu pendekatan yang efektif dalam kalibrasi kamera, namun keakuratannya dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor eksternal seperti pergerakan ataupun rotasi kamera serta gangguan lainnya terhadap teknologi UAV yang digunakan. Dengan mengintegrasikan data dari titik kontrol GPS, metode *space resection* dapat menjadi lebih dipercaya dan akurat dalam menghasilkan parameter kalibrasi kamera. Dalam penelitian ini, penulis mengimplementasikan metode *space resection* yang didukung dengan informasi dari titik kontrol GPS. Penulis menggunakan data dari beberapa sample titik kontrol GPS yang terletak di sekitar area objek yang akan dipotret oleh UAV, dan menggunakan data tersebut dalam menghitung parameter kalibrasi kamera. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan titik kontrol GPS dengan metode *space resection* dapat menghasilkan tingkat akurasi hasil kalibrasi kamera. Penelitian ini memiliki potensi aplikasi yang luas, terutama dalam bidang pemetaan, survei, dan fotogrametri. Informasi tentang penggunaan titik kontrol GPS dalam kalibrasi kamera dengan metode *space resection* dapat membantu dalam menghasilkan data yang lebih akurat dan reliabel. Pengembangan lebih lanjut mengenai metode ini memiliki potensi untuk meningkatkan teknologi kalibrasi kamera yang ada saat ini.

Kata kunci: Kalibrasi kamera, Titik Kontrol GPS, Space Resection

ABSTRACT

The use of GPS control points has now been widely used in the acquisition of photogrammetric measurement data. In this research, the author applies the space resection method for camera calibration. The method makes use of the position information provided by GPS control points and utilizes it to calculate accurate camera calibration parameters. The purpose of this study is to investigate and strengthen the space resection method by considering the information from GPS control points in camera calibration. The space resection method is an effective approach to camera calibration, but its accuracy can be affected by external factors such as camera movement or rotation and other disturbances to the UAV technology used. By integrating data from GPS control points, the space resection method can become more reliable and accurate in generating camera calibration parameters. In this research, the author implements the space resection method supported by information from GPS control points. The author uses data from several sample GPS control points located around the object area to be photographed by the UAV and uses the data to calculate the camera calibration parameters. The results show that the use of GPS control points with the space resection method can produce an accurate level of camera calibration results. This research has wide application potential, especially in the fields of mapping, surveying, and photogrammetry. Information on the use of GPS control points in camera calibration with the space resection method can help in producing more accurate and reliable data. Further development of this method has the potential to improve current camera calibration technology.

Keywords: Camera calibration, GPS Control Point, Space Resection

PENDAHULUAN

Dalam era perkembangan teknologi digital, kamera drone telah menjadi bagian dari hasil data pemotretan foto udara dalam berbagai aplikasi, termasuk survei pemetaan, pemantauan lingkungan, dan lainnya. Kualitas foto yang dihasilkan oleh kamera adalah elemen kunci dalam pemrosesan data. Oleh karena itu, kalibrasi kamera adalah proses penting yang harus diperhatikan. Salah satu metode yang dapat diterapkan dalam kalibrasi kamera adalah metode *space resection*.

Metode *space resection* memanfaatkan titik kontrol GPS (*Global Positioning System*) untuk menentukan parameter interior dan eksterior pada kamera dengan tingkat akurasi yang tinggi. Dalam penggunaannya, metode ini memungkinkan pengguna untuk memahami posisi dan orientasi kamera dengan ruang tiga dimensi dan presisi. Penggunaan titik kontrol GPS, nantinya dapat meningkatkan akurasi untuk kalibrasi kamera, terutama dapat digunakan dalam aplikasi berbasis lokasi seperti pemetaan topografi dan pemantauan perubahan lingkungan.

Seperti yang diungkapkan oleh Smith A. (2018), Penggunaan titik kontrol GPS dalam metode *space resection* dapat meningkatkan nilai akurasi tinggi dalam kalibrasi kamera. Hal tersebut memiliki dampak positif yang signifikan dalam aplikasi pemetaan dan pemantauan berbasis citra.

METODE

Konsep dasar dari penggunaan titik kontrol GPS pada metode *space resection* yaitu menggabungkan informasi dari sistem GPS dengan data foto untuk dapat menghitung parameter eksterior dan interior kamera dengan tingkat akurasi tinggi.

Metode pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada diagram alir penelitian. Pengumpulan data diperoleh dari hasil pemotretan fotogrametri berupa data foto dan titik koordinat hasil dari pengukuran GPS Geodetik RTK.

Penyusunan algoritma kalibrasi kamera dengan menerapkan metode *space resection* dilakukan menggunakan perhitungan *least square adjustment* atau hitung perataan. Berikut merupakan dasar teori yang menunjang dalam penyusunan algoritma/ perhitungan untuk kalibrasi kamera metode *space resection*, dengan menghasilkan 6 parameter orientasi luar dan parameter kalibrasi kamera.

Mulai

Input Data

Algoritma *Space Resection*
($\omega, \phi, \kappa, X_L, Y_L, Z_L$)

Algoritma Kalibrasi kamera panjang
fokus kamera (f), koordinat titik
pusat (x_0, y_0), *distorsi radial* (k_1, k_2)

Perhitungan *Space
Resection* dan Kalibrasi

Parameter EO *Space Resection*,
Parameter Kalibrasi Kamera

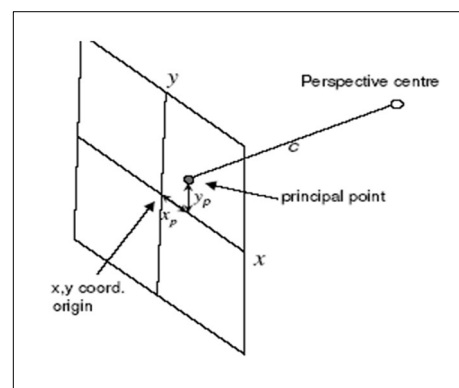
Selesai

Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

1. Interior Orientation (Orientasi Dalam)

Orientasi dalam merupakan parameter yang dapat membentuk kembali berkas sinar yang terjadi saat pemotretan. Dengan orientasi dalam (IO) maka nantinya diketahui kuantitas terkait dengan berkas sinar antara objek dan lensa pada saat pemotretan, yang selanjutnya direkonstruksi secara geometris dari titik bayangan.

Menurut (Ghulam Arfi G, 2015) Orientasi dalam dapat didefinisikan sebagai pembentukan berkas sinar antara titik-titik objek dengan lensa kamera.



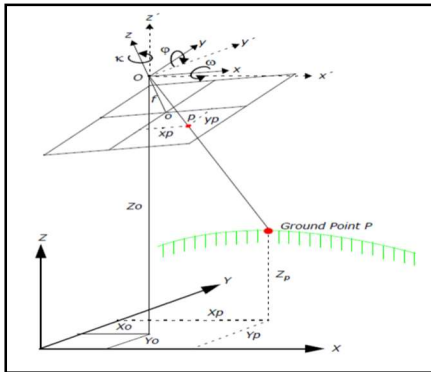
Gambar 2. Orientasi Dalam

Besaran pada unsur orientasi dalam yaitu posisi titik utama terhadap pusat foto, yaitu x_0, y_0 , dan konstanta kamera (C_k) atau panjang fokus kamera (f) terkalibrasi. Besaran tersebut digunakan untuk mendapatkan kembali berkas sinar yang ada pada sebuah foto dan secara geometris sesuai dan

sama dengan berkas yang terjadi pada saat pemotretan (Ghulam Arfi G, 2015).

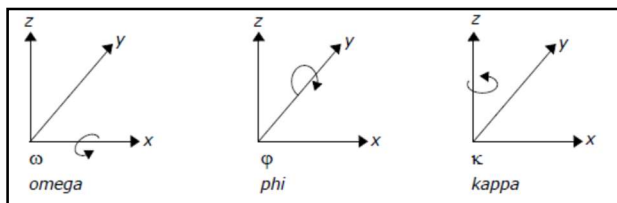
2. Eksterior Orientation (Orientasi Luar)

Parameter orientasi luar terdiri dari 3 parameter posisi kamera (X_L , Y_L , Z_L) dan 3 parameter rotasi omega, phi, kappa (ω , ϕ , κ). Elemen sudut rotasi dari parameter orientasi luar menggambarkan hubungan antara sistem koordinat objek (X , Y , Z) dengan sistem koordinat foto (x , y , z). Ilustrasi gambar parameter orientasi luar dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Elemen dari orientasi luar

Dengan arah rotasi omega, phi dan kappa pada masing-masing sumbu, diilustrasikan pada gambar 4. Dengan melibatkan tiga sudut rotasi, hubungan antara sistem koordinat foto (x , y , z) dan sistem koordinat objek (X , Y , Z) dapat ditentukan. Sebuah matriks dengan dimensi 3×3 dapat mendefinisikan hubungan antara dua sistem yang digunakan.



Gambar 4. Rotasi Omega, Phi dan Kappa

3. Persamaan Kolinieritas

Adapun persamaan kolinear dengan menggunakan hitung perataan sebagai berikut (Wolf, 2000) :

$$x_a = -f \frac{m_{11}(X_A - X_L) + m_{12}(Y_A - Y_L) + m_{13}(Z_A - Z_L)}{m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Y_A - Y_L) + m_{33}(Z_A - Z_L)}$$

$$y_a = -f \frac{m_{21}(X_A - X_L) + m_{22}(Y_A - Y_L) + m_{23}(Z_A - Z_L)}{m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Y_A - Y_L) + m_{33}(Z_A - Z_L)}$$

Pers (1)

Persamaan tersebut merupakan persamaan yang tidak linier dan melibatkan 9 unsur yang tidak diketahui, tiga sudut perputaran sudut omega, phi, dan kappa berdasarkan pada matrik rotasi sudut (R) terlihat pada persamaan (2), tiga koordinat pemotretan X_L, Y_L, Z_L dan tiga koordinat objek X_A, Y_A , dan Z_A .

$$r = m_{11}(X_A - X_L) + m_{12}(Y_A - Y_L) + m_{13}(Z_A - Z_L)$$

$$s = m_{21}(X_A - X_L) + m_{22}(Y_A - Y_L) + m_{23}(Z_A - Z_L)$$

$$q = m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Y_A - Y_L) + m_{33}(Z_A - Z_L)$$

Pers. (2)

Persamaan yang tidak linier nantinya akan dilinearisasikan dengan menggunakan deret teorema *Taylor*. Dalam menyelesaikan sistem persamaan kolinieritas, maka jumlah yang telah ditentukan merupakan koreksi terhadap perkiraan awal.

Sesudah penyelesaian pertama, koreksi yang terhitung ditambahkan terhadap tambahan perkiraan awal untuk memperoleh perkiraan yang telah diperbaharui. Selanjutnya penyelesaian tersebut diulang kembali untuk mendapatkan nilai koreksi yang baru. Suatu sistem persamaan kolinieritas dapat dinyatakan dalam bentuk matriks sebagai berikut :

$${}_mV_1 = {}_m\bar{A}_{nn}X_1 - {}_mL_1$$

Pers. (3)

Pada persamaan 3, m ialah jumlah persamaan, n ialah jumlah parameter yang tidak diketahui, V merupakan matriks kesalahan residual dalam koordinat foto x dan y terukur. A ialah matriks b , koefisien unsur yang tidak diketahui, X ialah matriks koreksi unsur yang tidak diketahui untuk perkiraan awal, dan L ialah matriks tetapan J dan K . (Wolf, 2000).

4. Kalibrasi Kamera

Kamera fotogrametri tidak mempunyai lensa yang sempurna, sehingga proses perekaman yang dilakukan akan memiliki kesalahan. Oleh karena itu perlu dilakukan pengkalibrasian kamera untuk dapat menentukan besarnya penyimpangan - penyimpangan yang terjadi. (Inferno, 2010)

Kalibrasi kamera dilakukan untuk menentukan parameter yang terdiri dari elemen orientasi dalam yaitu panjang fokus (f), dan koordinat titik utama (x_0, y_0) serta distorsi lensa yaitu distorsi radial (k_1, k_2, k_3).

Nilai distorsi radial merupakan perpindahan secara radial suatu titik dari posisi sebenarnya terhadap posisi dari principle point (x_0, y_0), dengan nilai indikator, jika memiliki nilai positif maka pergeserannya mengarah keluar. Efek yang terjadi apabila pada kamera memiliki nilai distorsi, maka foto yang dihasilkan akan

berbentuk cembung atau cekung, tergantung dari nilai parameter distorsi radial bernilai positif atau negatif. (Wolf,2000)

5. Distorsi Radial

Distorsi Radial merupakan pergeseran linier titik foto dalam arah radial terhadap titik utama dari posisi idealnya. Distorsi lensa biasa diekspresikan sebagai fungsi polonomial dari jarak radial (d_r) terhadap titik utama foto. (Wolf, 2000)

$$\Delta x_r = K_{1r^3} + K_{2r^5} + K_{3r^7}$$

$$\Delta y_r = K_{1r^3} + K_{2r^5} + K_{3r^7}$$

Pers. (4)

Nilai distorsi radial merupakan perpindahan secara radial suatu titik dari posisi sebenarnya terhadap posisi dari *principle point* (x_0, y_0), dengan syarat jika nilainya positif maka pergeserannya mengarah keluar. Efek yang terjadi apabila pada kamera memiliki nilai distorsi, maka gambar foto yang dihasilkan akan berbentuk cembung atau cekung, tergantung dari nilai parameter distorsi radial bernilai positif atau negatif. (Wolf,2000)

6. Space Resection dengan metode Least Square

Space Resection merupakan metode untuk menentukan enam elemen parameter orientasi eksterior (orientasi luar) yaitu (ω , ϕ , κ , X_L , Y_L , dan Z_L), dari sebuah foto.

Metode tersebut membutuhkan minimal tiga titik kontrol, dengan diketahui koordinat obyek XYZ, dari sebuah foto. Jika koordinat kontrol tanah diasumsikan diketahui dan tetap, maka persamaan linier yang dihasilkan dari persamaan space resection dengan kolinear untuk titik A adalah :

$$b_{11}d\omega + b_{12}d\phi + b_{13}d\kappa - b_{14}dX_L - b_{15}dY_L - b_{16}dZ_L = J + V_{xa}$$

$$b_{21}d\omega + b_{22}d\phi + b_{23}d\kappa - b_{24}dX_L - b_{25}dY_L - b_{26}dZ_L = K + V_{xa}$$

Pers. (5)

Pada persamaan tersebut, dua persamaan digunakan untuk setiap titik kontrol, yang memberikan enam persamaan jika minimal tiga titik kontrol yang digunakan. Dalam hal ini solusi yang diambil untuk mendapatkan hasil enam elemen parameter yang dicari. Jika mempunyai titik kontrol diketahui empat atau lebih dari empat titik kontrol yang akan digunakan, maka akan lebih dari enam persamaan yang akan dapat dibentuk, dan memungkinkan untuk memakai metode *space resection* dengan *least square*, (Wolf,2000).

Iterasi berhenti apabila besarnya nilai koreksi yang didapat paling kecil. Maka nilai akhir untuk

proses *Space Resection* menggunakan metode *Least Square Adjustment* yaitu 6 parameter nilai parameter koreksi, yang sudah diiterasi berulang kali dengan nilai residu yang sesuai dan seminimal mungkin.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Penyusunan Rotasi Matrik

Pada penyusunan matrik, dilakukan untuk mendapatkan nilai rotasi matrik dari sudut omega, phi, kappa (ω , ϕ , κ)

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

Pers. (6)

Dimana :

$$m_{11} = \cos\phi\cos\kappa$$

$$m_{12} = \sin\omega\sin\phi\cos\kappa + \cos\omega\sin\kappa$$

$$m_{13} = -\cos\omega\sin\phi\cos\kappa + \sin\omega\sin\kappa$$

$$m_{21} = -\cos\phi\sin\kappa$$

$$m_{22} = -\sin\omega\sin\phi\sin\kappa + \cos\omega\cos\kappa$$

$$m_{23} = \cos\omega\sin\phi\sin\kappa + \sin\omega\cos\kappa$$

$$m_{31} = \sin\phi$$

$$m_{32} = -\sin\omega\cos\phi$$

$$m_{33} = \cos\omega\cos\phi$$

2. Penyusunan Koefisien r,s,q

Perhitungan koefisien sebagai contoh menggunakan titik A, maka perhitungan pertama yang dicari untuk mengisi bentuk matrik) yaitu menghitung nilai r,s,q.

dimana :

$$r = m_{11}(X_A - X_L) + m_{12}(Y_A - Y_L) + m_{13}(Z_A - Z_L)$$

$$s = m_{21}(X_A - X_L) + m_{22}(Y_A - Y_L) + m_{23}(Z_A - Z_L)$$

$$q = m_{31}(X_A - X_L) + m_{32}(Y_A - Y_L) + m_{33}(Z_A - Z_L)$$

Pers. (7)

3. Penurunan Matrik Algoritma Kalibrasi Kamera metode Space Resection

$$A = \begin{bmatrix} a_{11a} & a_{12a} & a_{13a} & a_{14a} & a_{15a} & a_{16a} & a_{17a} & a_{18a} & a_{19a} & a_{110a} & a_{111a} \\ a_{21a} & a_{22a} & a_{23a} & a_{24a} & a_{25a} & a_{26a} & a_{27a} & a_{28a} & a_{29a} & a_{210a} & a_{211a} \\ a_{11b} & a_{12b} & a_{13b} & a_{14b} & a_{15b} & a_{16b} & a_{17b} & a_{18b} & a_{19b} & a_{110b} & a_{111b} \\ a_{21b} & a_{22b} & a_{23b} & a_{24b} & a_{25b} & a_{26b} & a_{27b} & a_{28b} & a_{29b} & a_{210b} & a_{211b} \\ a_{11c} & a_{12c} & a_{13c} & a_{14c} & a_{15c} & a_{16c} & a_{17c} & a_{18c} & a_{19c} & a_{110c} & a_{111c} \\ a_{21c} & a_{22c} & a_{23c} & a_{24c} & a_{25c} & a_{26c} & a_{27c} & a_{28c} & a_{29c} & a_{210c} & a_{211c} \\ a_{11d} & a_{12d} & a_{13d} & a_{14d} & a_{15d} & a_{16d} & a_{17d} & a_{18d} & a_{19d} & a_{110d} & a_{111d} \\ a_{21d} & a_{22d} & a_{23d} & a_{24d} & a_{25d} & a_{26d} & a_{27d} & a_{28d} & a_{29d} & a_{210d} & a_{211d} \\ a_{11e} & a_{12e} & a_{13e} & a_{14e} & a_{15e} & a_{16e} & a_{17e} & a_{18e} & a_{19e} & a_{110e} & a_{111e} \\ a_{21e} & a_{22e} & a_{23e} & a_{24e} & a_{25e} & a_{26e} & a_{27e} & a_{28e} & a_{29e} & a_{210e} & a_{211e} \\ a_{11f} & a_{12f} & a_{13f} & a_{14f} & a_{15f} & a_{16f} & a_{17f} & a_{18f} & a_{19f} & a_{110f} & a_{111f} \\ a_{21f} & a_{22f} & a_{23f} & a_{24f} & a_{25f} & a_{26f} & a_{27f} & a_{28f} & a_{29f} & a_{210f} & a_{211f} \\ a_{11g} & a_{12g} & a_{13g} & a_{14g} & a_{15g} & a_{16g} & a_{17g} & a_{18g} & a_{19g} & a_{110g} & a_{111g} \\ a_{21g} & a_{22g} & a_{23g} & a_{24g} & a_{25g} & a_{26g} & a_{27g} & a_{28g} & a_{29g} & a_{210g} & a_{211g} \end{bmatrix}$$

$$A\Delta = \varepsilon + V$$

$$A\Delta = \begin{bmatrix} d\omega \\ d\phi \\ d\kappa \\ dX_L \\ dY_L \\ dZ_L \end{bmatrix} \varepsilon = \begin{bmatrix} J_a \\ K_a \\ J_b \\ K_b \\ J_c \\ K_c \\ J_d \\ K_d \\ J_e \\ K_e \\ J_f \\ K_f \\ J_g \\ K_g \end{bmatrix} V = \begin{bmatrix} V_{xa} \\ V_{ya} \\ V_{xb} \\ V_{yb} \\ V_{xc} \\ V_{yc} \\ V_{xd} \\ V_{yd} \\ V_{xe} \\ V_{ye} \\ V_{xf} \\ V_{yf} \\ V_{xg} \\ V_{yg} \end{bmatrix}$$

Pers (8)

Dari persamaan tersebut, maka dapat membentuk dan memecahkan persamaan normal. Dimana Δ , A , dan ε telah di substitusi untuk masing-masing X , A , dan L . Solusinya sebagai berikut.

$$\Delta = (ATA)^{-1} (AT\varepsilon)$$

Maka, dari persamaan tersebut akan mendapatkan hasil perhitungan *least square* kalibrasi kamera dengan metode *space resection* yaitu enam paramater orientasi luar yaitu ω , ϕ , κ , XL , YL , ZL dan parameter interior dalam yaitu panjang fokus (f), x_0 , y_0 , k_1 , dan k_2 , yang selanjutnya akan dilakukan iterasi terus menerus untuk mendapatkan hasil perkiraan awal yang sesuai.

4. Hasil Kalibrasi Kamera metode Space Resection

Berdasarkan hasil dari perhitungan kalibrasi kamera dengan menggunakan titik kontrol dengan metode *space resection* yaitu secara serentak menghasilkan 11 parameter yaitu terdiri dari tiga koordinat posisi kamera (XL , YL , ZL), tiga parameter sudut rotasi (ω , ϕ , κ), serta parameter panjang fokus kamera (f), parameter koordinat titik utama (x_0 , y_0) dan parameter distorsi radial (k_1 , k_2).

Pada Tabel 1, merupakan tabel yang berisi titik kontrol GPS yang mana nantinya digunakan sebagai data input untuk perhitungan kalibrasi. Pada satu buah foto memiliki 7 titik koordinat untuk dapat menghasilkan 11 parameter yang dicari.

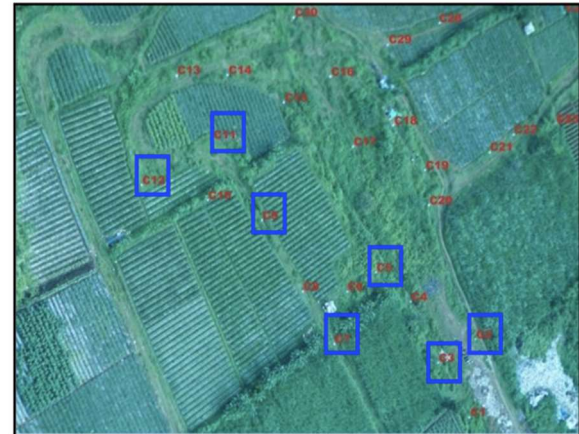
Tabel 1. Titik kontrol GPS

Titik	Easting (m)	Northing (m)	Elevasi (m)
C2	674822,595	9121361,699	610,308
C3	674833,699	9121376,063	611,396
C5	674867,613	9121366,613	609,437
C7	674871,435	9121392,18	610,631
C9	674909,456	9121377,251	608,869
C11	674933,059	9121368,325	607,358
C12	674945,403	9121391,16	608,022

Dapat dilihat pada ilustrasi gambar 5, yang mana merupakan data foto udara berupa single foto / satu buah foto yang memiliki 7 titik kontrol GPS dengan satuan meter. Data tersebut diolah dengan metode *space resection* dan dapat menghasilkan 11 parameter.

Gambar 5. Persebaran titik kontrol pada 1 foto

Berikut dapat dilihat pada tabel 2 yaitu nilai



pendekatan parameter EO dan IO guna untuk perhitungan kalibrasi kamera metode *space resection*. Selanjutnya dapat dilihat hasil perhitungan kalibrasi kamera tersaji pada tabel 3.

Keakuratan perhitungan kalibrasi kamera metode *space resection* dapat dibuktikan dengan hasil uji akurasi yang dihasilkan yaitu nilai standar deviasi $So = 0.4$ mm yang secara langsung dapat menghasilkan orientasi luar (EO) dan orientasi dalam (IO).

Tabel 2. Nilai Pendekatan Parameter EO dan IO

Parameter	Radian
Ω	-0,155°
Φ	-0,376 °
K	0,003°
Xl	674742,60 m
Yl	9121427,37 m
Zl	550,4 m
f	35 mm
x_0	0
y_0	0
k_1	0
k_2	0

Tabel 3. Hasil kalibrasi kamera metode *space resection*

Parameter	Radian
Ω	-0,1546°
Φ	-0,377 °
K	-0,0018 °
X_l	674745,44 m
Y_l	9121427,33 m
Z_l	551,48 m
f	35,98 mm
x_0	2,8mm
y_0	-1,86 mm
k_1	-0,047 mm
k_2	0,00044 mm
S_o	0.43 mm

Wolf, P. R., DeWitt, B. A., and Wilkinson, B. E.. 2013. Elements of Photogrammetry with Application in GIS: Fourth Edition. New York: McGraw Hill Professional.

Zhang, Z. 2000. "A Flexible New Technique for Camera Calibration." IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 1330-1334.

KESIMPULAN

Kalibrasi kamera dengan metode *space resection* menggunakan titik kontrol GPS dapat menghasilkan nilai standar deviasi hingga fraksi milimeter. Hal tersebut memungkinkan penentuan parameter interior dan eksterior kamera dengan presisi yang tinggi. Selain itu penggunaan titik kontrol GPS dapat membantu dalam mengurangi adanya distorsi dan kesalahan pada pengukuran fotogrametri.

DAFTAR PUSTAKA

- Atkinson, K. B. 1996. Close Range Photogrammetry and Machine Vision. Scotland: Whittles Publishing.
- Brown, C., & Williams, M. (2020). The Role of GPS in Accurate Camera Calibration for Autonomous Vehicles. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 22(4), 2600-2613.
- Garcia, E., & Martinez, R. (2022). Integration of GPS Control Points in Photogrammetric Surveys for Infrastructure Development. Journal of Surveying and Mapping Engineering, 148(3), 210-225.
- Johnson, L., & Davis, R. (2021). Precision Agriculture: Utilizing GPS-Based Camera Calibration for Crop Monitoring. Computers and Electronics in Agriculture, 128, 150-162.
- Patel, S., & Jones, B. (2019). Geometric Calibration of Photogrammetric Cameras Using GPS-Derived Control Points. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 85(6), 431-440.
- Smith, A. (2018). Enhancing Camera Calibration with GPS Control Points for Aerial Imaging. International Journal of Remote Sensing, 40(7), 1500-1515.
- Wolf, P. R. and Brinker, R. C. 1989. Elementary Surveying. Michigan: Harper & Row.