

# PENGGUNAAN PERSAMAAN KOLINIER UNTUK REKTIFIKASI CITRA SATELIT SPOT SECARA PARSIAL

Harintaka<sup>1</sup>

## ABSTRACT

Commonly, to obtain object position in a map coordinate system, satellite images have to be transformed into orthoimage and then do vectorization. This method encompasses two stages, i. e. transforming raster into raster image and then transforming raster into vector data. In photogrammetry, there is a method for determining object's horizontal position on a map coordinate system from a single aerial photograph/image using a collinear equation. By this method, object's horizontal position on image can be determined in map coordinate system directly and also involves variation of earth surface. Semarang area, which covered by a full scene of SPOT Panchromatic image, was taken as a research area. Application of collinear equation in research area is done partially, i.e. dividing the area, which has size of 30 km x 30 km, into 6 experiment areas.

The research shows, 2 areas and 4 areas fulfill specification of BAKOSURTANAL's topographic map at 1:50.000 and 1:100.000 scale. The two areas have size 5,7 x 3,2 km<sup>2</sup> and 8,0 x 4,2 km<sup>2</sup>, with flat terrain, and identification of Ground Control Points and Check Points on SPOT image can be done clearly.

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Untuk mendapatkan posisi obyek dalam sistem koordinat peta dari citra satelit umumnya melalui tahap *orthorectification*. Proses *orthorectification* akan menghasilkan citra/peta dalam format raster, padahal untuk keperluan pada berbagai aplikasi yang luas, informasi kebumihan tersebut dibutuhkan dalam format vektor sehingga diperlukan proses vektorisasi. Vektorisasi *orthoimage* tersebut dilakukan dengan cara interpretasi visual dan digitasi secara langsung di monitor. Metode ini tidak praktis, karena ada 2 tahap pekerjaan, yaitu: proses *georeferencing* dan digitasi di monitor.

Ekstraksi informasi dari citra satelit yang berformat raster ke vektor dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan transformasi dua dimensi, misalnya: persamaan sebangun, affine, polinomial, dan proyektif. Metode ini secara langsung dapat memperoleh posisi obyek dalam sistem koordinat peta, tetapi tidak dapat mengkompensasi pengaruh variasi tinggi permukaan tanah yang dapat menyebabkan pergeseran bayangan (*relief displacement*) pada citra.

Sekitar tahun 1980-an, Makarovic mulai mengembangkan teknik restitusi tunggal yang dipergunakan untuk merektifikasi foto udara tunggal yang belum diolah (Makarovic, 1982). Teknik ini kemudian dikembangkan oleh Besenicar, Masry, dan McLaren (Östman, 1986), dimana teknik ini menghasilkan ketelitian yang cukup tinggi sehingga

dapat diterapkan pada berbagai bidang, antara lain: bidang kehutanan dan perencanaan lahan pertanian (BCMF, 1998), dan pembaharuan basis data digital peta topografi dan peta tematik (Makarovic, 1982; Radwan and Makarovic, 1980).

Teknik restitusi tunggal untuk rektifikasi foto udara dapat didefinisikan sebagai metode untuk menentukan posisi obyek di permukaan bumi dengan menggunakan persamaan kolinier atau kesegarisan. Persamaan kolinier tersebut menghubungkan posisi obyek di permukaan bumi dengan bayangannya di citra melalui pusat proyeksi sentral. Pada penelitian ini dipergunakan cara restitusi tunggal untuk merektifikasi citra satelit SPOT Pankromatik secara parsial dengan menggunakan persamaan kolinier. Adapun asumsi yang dipergunakan adalah geometri citra satelit SPOT Pankromatik identik dengan foto udara tunggal.

### Tujuan

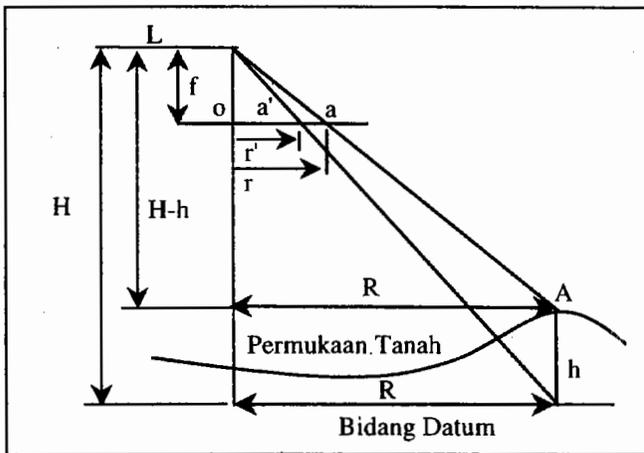
1. Mengkaji ketelitian posisi horizontal hasil rektifikasi citra satelit SPOT Pankromatik menggunakan persamaan kolinier secara parsial terhadap standar spesifikasi peta topografi BAKOSURTANAL Indonesia.
2. Membandingkan ketelitian hitungan koordinat horizontal hasil rektifikasi citra satelit SPOT Pankromatik dengan metode transformasi dua dimensi yang menggunakan persamaan polinomial dan proyektif.

<sup>1</sup> Harintaka, ST, MT., Staf Pengajar di Jurusan Teknik Geodesi FT-UGM, E-Mail: harintaka@yahoo.com

## LANDASAN TEORI

### Pergeseran Bayangan

Pergeseran bayangan didefinisikan sebagai ketidaktepatan posisi obyek pada citra/foto yang disebabkan oleh ketinggiannya terhadap bidang referensi. Efek pergeseran bayangan menyebabkan bayangan obyek pada citra selalu menjauhi pusat proyeksi, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 1. Pada Gambar 1, titik A di permukaan bumi seharusnya mempunyai bayangan a' pada bidang citra, tetapi karena titik A yang mempunyai ketinggian h terhadap bidang datum maka bayangannya berada di titik a. Pergeseran posisi bayangan dari a' ke a ini disebut sebagai pergeseran bayangan yang mempunyai sifat selalu menjauhi pusat proyeksi o.



Gambar 1. Pergeseran Bayangan Pada Citra Tegak

Pada Gambar 1, jika citra mempunyai kemiringan maka idealnya besar pergeseran bayangan  $d=(r-r')$  dihitung dengan melibatkan besar kemiringan tilt. Adapun besar pergeseran bayangan d pada citra tegak dihitung dengan persamaan (Moffitt and Mikhail, 1980):

$$d = \frac{r'h}{H-h} \quad (1)$$

Dalam hal ini:

$r'$  = jarak bayangan obyek dari pusat proyeksi di citra

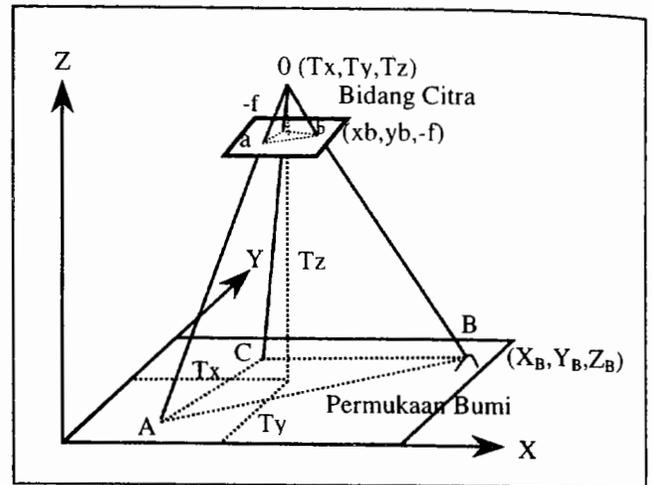
$h$  = Tinggi obyek dipermukaan bumi diatas datum

$H$  = Tinggi pusat proyeksi diatas bidang datum

### Persamaan Kolinier

Persamaan kolinier menyatakan bahwa titik obyek di permukaan tanah, bayangannya di citra, dan pusat proyeksi terletak pada satu garis lurus (Wolf, 1983; Östman, 1986), dimana pada Gambar 2

ditunjukkan oleh titik B (di permukaan tanah), titik b (pada bidang citra), dan O (pusat proyeksi) terletak pada satu garis lurus.



Gambar 2. Kondisi Kolinier dan Perpotongan Kebelakang

Adapun rumus persamaan kolinier adalah (JARS, 1993):

$$x_i = -f \frac{(r_{11}(X_i - T_x) + r_{12}(Y_i - T_y) + r_{13}(Z_i - T_z))}{(r_{31}(X_i - T_x) + r_{32}(Y_i - T_y) + r_{33}(Z_i - T_z)}$$

$$y_i = -f \frac{(r_{21}(X_i - T_x) + r_{22}(Y_i - T_y) + r_{23}(Z_i - T_z))}{(r_{31}(X_i - T_x) + r_{32}(Y_i - T_y) + r_{33}(Z_i - T_z)} \quad (2)$$

Jika akan dicari koordinat dalam sistem peta maka persamaan (2) harus diinvers, sebagaimana dirumuskan pada persamaan (Moffitt and Mikhail, 1980; JARS, 1993):

$$X_i = \frac{(r_{11}x_i + r_{21}y_i - r_{31}f)}{(r_{13}x_i + r_{23}y_i - r_{33}f)} (Z_i - T_z) + T_x$$

$$Y_i = \frac{(r_{11}x_i + r_{22}y_i + r_{32}f)}{(r_{13}x_i + r_{23}y_i + r_{33}f)} (Z_i - T_x) + T_y \quad (3)$$

Dalam hal ini:

$X_i, Y_i, Z_i$  = Koordinat titik i pada sistem koordinat peta

$x_i, y_i, z_i$  = Koordinat titik i pada sistem koordinat citra

$f$  = Fokus sensor/kamera

$T_x, T_y, T_z$  = Koordinat titik pusat proyeksi sensor/kamera

$r_{11}, \dots, r_{33}$  = Elemen matriks rotasi, yang merupakan fungsi dari  $\omega, \phi, \kappa$

## Perpotongan Kebelakang

Perpotongan kebelakang atau *space resection* pada intinya adalah menentukan parameter orientasi ( $\omega, \psi, \kappa$ ) dan posisi pusat proyeksi ( $T_x, T_y, T_z$ ) sensor. Sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 2, perpotongan kebelakang memerlukan minimal 3 buah titik yang diketahui koordinat peta (titik A, B, C) dan koordinat citranya (titik a, b, c). Bila telah diketahui 6 buah parameter orientasi dan posisi pusat proyeksi sensor/kamera pada saat pemotretan maka dengan menggunakan persamaan (3), setiap obyek pada citra dapat dihitung koordinat petanya, tentu saja harus diketahui tinggi obyek di permukaan tanah terhadap bidang referensi.

## Fungsi Permukaan Pendekatan

Pada dasarnya permukaan bumi mempunyai bentuk yang tidak teratur, sehingga sangat sulit untuk memodelkannya secara tepat. Sampai saat ini model permukaan bumi yang paling akurat adalah berbentuk DTM. Umumnya format DTM disajikan dalam bentuk: garis kontur, data grid yang berbentuk mesh, data acak yang disimpan dalam format TIN, dan fungsi permukaan seperti pada fungsi interpolasi atau fungsi spline (JARS, 1993).

Penyajian data permukaan bumi dalam bentuk fungsi permukaan pendekatan, misalnya dengan fungsi interpolasi polinomial, memberikan keuntungan dari segi efisiensi media penyimpanannya. Persamaan polinomial yang dapat digunakan untuk memodelkan permukaan bumi berbentuk polinomial orde satu atau dua. Bentuk persamaan polinomial orde satu dan dua adalah:

$$z(x, y) = b_0 + b_1x + b_2y \quad (4)$$

$$z(x, y) = b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy + b_4x^2 + b_5y^2 \quad (5)$$

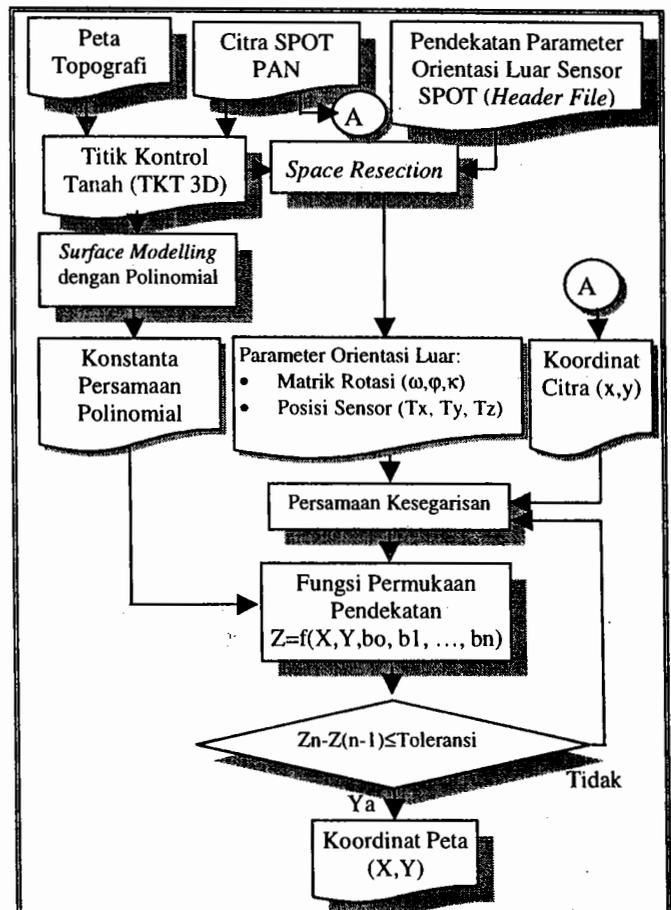
Dalam hal ini:

- $z(x, y)$  = Harga ketinggian
- $b_0, \dots, b_5$  = Koefisien polinomial
- $x, y$  = Koordinat horizontal

Polinomial orde satu adalah interpolator data DTM yang paling sederhana. Meskipun cukup mudah dan sederhana, interpolasi linear tidak akan cocok diaplikasikan pada daerah dengan struktur kompleks, misalnya pada permukaan yang bergelombang sehingga harus dipergunakan fungsi lainnya, misalnya polinomial orde dua atau tiga.

## PROSEDUR PENELITIAN

Pada Gambar 3 ditunjukkan diagram alir pelaksanaan penelitian. Pertama-tama ditentukan titik kontrol tanah (TKT) yang teridentifikasi secara jelas pada peta topografi dan citra satelit. Sebagai TKT dipilih obyek di permukaan bumi yang tersebar merata di seluruh permukaan citra dan merepresentasikan permukaan bumi. TKT ini dipergunakan untuk pemodelan permukaan tanah dan menentukan parameter orientasi luar sensor. Parameter orientasi luar sensor SPOT yang terdiri dari 3 elemen rotasi ( $\omega, \phi, \kappa$ ) dan translasi ( $T_x, T_y, T_z$ ) dihitung dengan perpotongan kebelakang menggunakan persamaan kolinier. Sebagai harga pendekatan posisi dan orientasi sensor satelit diekstrak dari *header file* yang menyertai citra satelit SPOT.

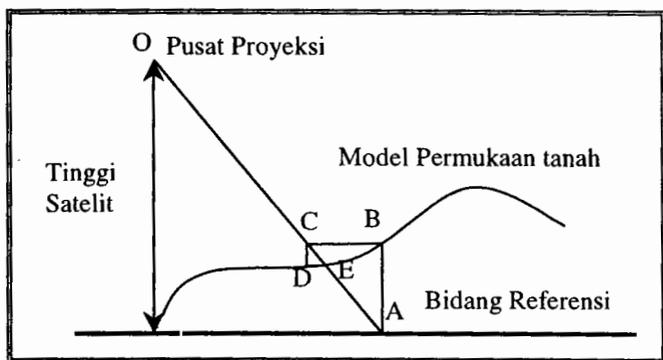


Gambar 3. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

Hitungan koordinat planimetrik obyek dalam sistem koordinat peta dilakukan pertama-tama dengan 'memotongkan' hitungan kolinier terhadap fungsi pendekatan yang menyatakan model permukaan bumi. Hitungan ini dilakukan secara iterasi dan diilustrasikan pada Gambar 4. Pada Gambar 4, diberikan posisi titik di permukaan bidang referensi

dengan ketinggian  $Z_A$  yang mempunyai posisi planimetrik yang sama pada model permukaan tanah (DTM), yaitu di titik B. Koordinat titik B ini dipakai sebagai masukan pada persamaan kesegarisan sehingga diperoleh koordinat titik C. Proses hitungan tersebut dilakukan berulang sehingga berkas sinar dari titik pusat proyeksi O tepat memotong model permukaan tanah di titik E, yang ditandai dengan hitungan yang konvergen. Jika koordinat pendekatannya cukup baik, umumnya hitungan akan konvergen pada iterasi ketiga atau kelima.

Evaluasi hasil penelitian dilakukan dengan cara mengkaji ketelitian posisi horizontal hasil rektifikasi citra satelit SPOT Pankromatik menggunakan persamaan kolinier secara parsial terhadap standar spesifikasi peta topografi BAKOSURTANAL Indonesia dan membandingkannya dengan hasil hitungan metode transformasi dua dimensi (polinomial dan proyektif).



Gambar 4. Proses Hitungan Iterasi (Chen and Lee, 1993)

## HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hitungan secara parsial dilakukan dengan membagi daerah penelitian kedalam bagian-bagian kecil daerah percobaan. Pada setiap daerah percobaan ditentukan sejumlah TKT dan titik cek yang dapat teridentifikasi secara jelas di peta maupun citra.

Pembagian daerah penelitian dalam sejumlah daerah percobaan disajikan pada Tabel 1. Pembagian daerah percobaan didasarkan pada pertimbangan kondisi permukaan tanah, kejelasan identifikasi obyek di permukaan bumi yang dipakai sebagai TKT dan titik cek. Pada Tabel 1 ditunjukkan bahwa cukup banyak unsur utama (*primary features*) di permukaan bumi yang dapat diidentifikasi secara jelas pada daerah datar. Adapun obyek yang dipakai sebagai unsur utama antara lain perpotongan jalan dan jembatan.

Tabel 1. Kondisi Fisik Daerah Percobaan.

No	Daerah	Perkiraan Luas	Kodisi Terain	Jumlah TKT	Jumlah Titik Cek
1	221#1	11,7x4,2 km <sup>2</sup>	Bergelombang	4	4
2	222#1	13,5x8,1 km <sup>2</sup>	Datar	7	39
3	222#2	5,7x3,2 km <sup>2</sup>	Datar	4	15
4	222#3	8,0x4,2 km <sup>2</sup>	Datar	4	10
5	222#4	5,5x5,0 km <sup>2</sup>	Datar	3	4
6	544#1	15,3x7,5 km <sup>2</sup>	Bergunung	4	6

Terlihat bahwa semakin luas daerah percobaan maka semakin banyak jumlah TKT dan titik cek yang dapat diidentifikasi, terutama untuk daerah yang datar. Hal ini disebabkan daerah tersebut merupakan daerah perkotaan sehingga banyak unsur perpotongan jalan yang dapat diidentifikasi di citra.

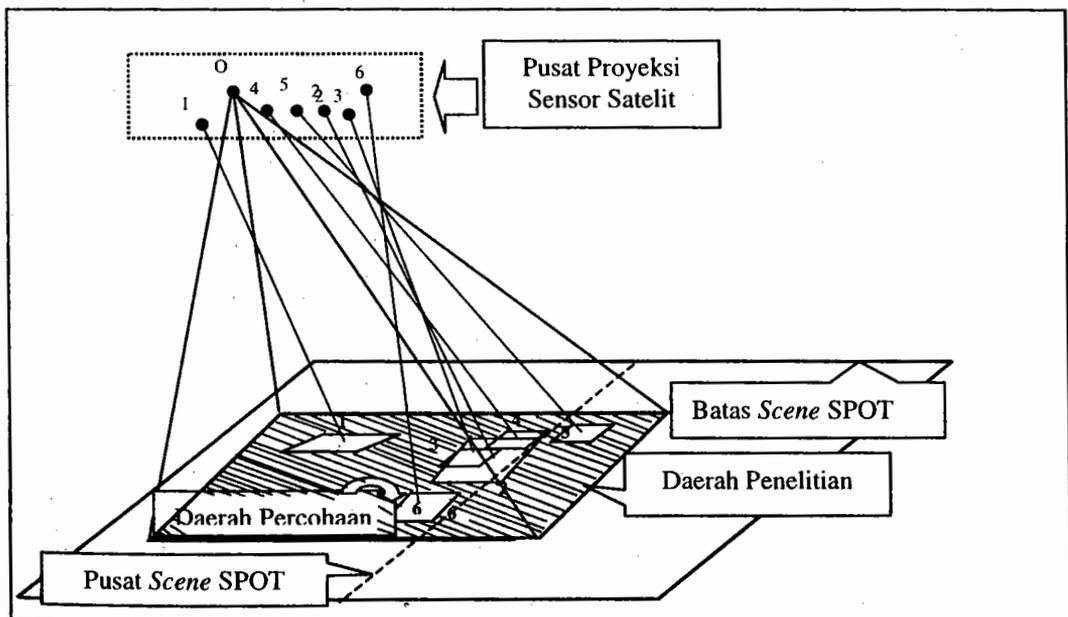
Hitungan iterasi perpotongan kebelakang yang dilakukan pada setiap daerah percobaan menunjukkan konvergen, sebagaimana disajikan pada Tabel 2. Harga koreksi masing-masing parameter posisi ( $\Delta T_x$ ,  $\Delta T_y$ ,  $\Delta T_z$ ) dan orientasi sensor ( $\Delta \omega$ ,  $\Delta \phi$ ,  $\Delta \kappa$ ) mulai stabil pada iterasi ke-3. Pada iterasi ke-5 besar koreksinya sudah sangat mendekati nol atau berharga nol.

Pada rektifikasi citra satelit SPOT secara parsial, sejumlah TKT (sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1) yang berada di daerah percobaan digunakan untuk menentukan posisi dan orientasi sensor satelit SPOT. Pada Gambar 5 diilustrasikan letak 6 lokasi daerah percobaan (secara parsial) dalam keseluruhan daerah penelitian. Pada Gambar 5 ditunjukkan bahwa hitungan perpotongan kebelakang pada setiap daerah percobaan menghasilkan posisi dan orientasi sensor satelit yang berbeda-beda. Terlihat bahwa sensor satelit SPOT pada saat pencitraan mengambil sudut ke samping (*side looking*).

Sebagai pembandingan, pada setiap daerah percobaan dilakukan transformasi koordinat dua dimensi dari sistem citra ke peta. Pada penelitian ini digunakan transformasi proyektif, polinomial orde satu dan dua. Adapun persamaan matematis dari persamaan transformasi dua dimensi tersebut dapat disimak pada Harintaka dan Sumarto (2002). Hal ini disebabkan keterbatasan jumlah TKT yang ada pada setiap daerah percobaan. Hasil pengujian terhadap titik cek pada setiap daerah percobaan disajikan pada Tabel 3. Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 3, terlihat pada daerah yang tidak terlalu luas, mempunyai terain yang datar, dan TKT dan titik cek dapat diidentifikasi secara jelas, dapat memenuhi spesifikasi peta topografi skala 1:50.000. Pada beberapa daerah yang cukup luas atau mempunyai permukaan tanah yang relatif bergunung serta identifikasi TKT dan titik cek cukup susah dilakukan, hanya memenuhi spesifikasi peta topografi skala 1:100.000. Adapun standar spesifikasi ketelitian posisi horizontal peta topografi di Indonesia adalah: *RMSE posisi horizontal semua titik cek harus lebih kecil atau sama dengan 0,3 mm x angka skala peta* (BAKOSURTANAL dalam Sumarto, 1997).

Tabel 2. Hitungan Iterasi Koreksi Parameter Orientasi dan Posisi Sensor Satelit SPOT.

Daerah Penelitian	Hitungan Iterasi ke-	Parameter Orientasi Sensor (radian)			Parameter Posisi Sensor (meter)		
		$\Delta\omega$	$\Delta\phi$	$\Delta\kappa$	$\Delta T_x$	$\Delta T_y$	$\Delta T_z$
221#1	1	-1,51E-01	2,61E-01	3,35E-01	523920,4	259468,6	-645
	2	1,06E-01	-5,69E-02	1,67E-02	-79839,9	-209987,5	113722,7
	3	8,22E-03	3,28E-03	-4,58E-04	9250,6	6675,3	22258,8
	4	-3,59E-05	5,72E-05	2,55E-06	-53,3	212,1	-0,8
	5	2,25E-08	9,90E-09	5,26E-09	0	0	0
222#1	1	-5,80E-02	2,07E-01	3,39E-01	474937,5	182987,9	11279,6
	2	5,94E-02	-4,61E-02	1,01E-02	-61689,1	-159021,7	97117,4
	3	4,00E-03	2,81E-04	-2,55E-04	4612,6	2894	10036,1
	4	-1,48E-06	1,43E-05	5,68E-07	2,5	43,3	-4,8
	5	5,85E-10	4,60E-09	-2,82E-10	0	0	0
222#2	1	-6,42E-02	2,02E-01	3,38E-01	471218,5	188035,9	9812,5
	2	6,08E-02	-4,34E-02	9,75E-03	-58942,7	-160769,4	96717,6
	3	3,97E-03	6,18E-04	-2,23E-04	4522,8	3068,4	10326,8
	4	-2,83E-06	1,42E-05	5,24E-07	-0,9	44,7	-3,9
	5	-7,30E-11	-2,64E-10	-2,06E-11	0	0	0
222#3	1	-5,70E-02	2,12E-01	3,39E-01	479404,6	182366	9854,2
	2	6,02E-02	-4,81E-02	1,06E-02	-63750,5	-159732,4	98097,2
	3	4,20E-03	1,77E-04	-2,87E-04	4820,9	2858,1	10234,3
	4	3,27E-07	1,61E-05	7,26E-07	4,2	45,2	-5
	5	4,02E-10	6,16E-10	1,18E-11	0	0	0
222#4	1	-6,93E-02	2,12E-01	3,40E-01	477460,3	192346,4	15666,6
	2	6,37E-02	-4,68E-02	1,06E-02	-63920,8	-164251,4	98221,1
	3	4,27E-03	5,14E-04	-2,68E-04	4941,2	3253,6	11074,8
	4	-2,01E-06	1,63E-05	6,99E-07	0,1	51	-5
	5	3,95E-11	-2,22E-10	-4,43E-12	0	0	0
544#1	1	-6,37E-03	1,79E-01	3,38E-01	452030,3	139911,4	10305,8
	2	3,79E-02	-4,01E-02	7,47E-03	-51940,9	-134940,5	89569,4
	3	2,11E-03	-6,03E-04	-2,30E-04	2936	1769,9	5555,7
	4	-1,98E-06	4,13E-06	-4,84E-07	4,9	14,5	-4,4
	5	1,04E-08	1,33E-08	2,13E-09	0	0	0



Gambar 5. Daerah Penelitian dan Visualisasi Rektifikasi Secara Parsial

Tabel 3. Metode Transformasi Koordinat yang Memenuhi Ketelitian Posisi Horizontal Pada Spesifikasi Peta Topografi Indonesia

Daerah	Metode Transformasi	Skala Peta Terpenuhi
221#1	Polinomial Orde Satu	Skala 1:100.000
	Proyektif	-*)
	Kolinier	Skala 1:100.000
222#1	Polinomial Orde Satu	Skala 1:100.000
	Polinomial Orde Dua	Skala 1:100.000
	Proyektif	Skala 1:100.000
222#2	Polinomial Orde Satu	Skala 1:50.000
	Proyektif	-*)
	Kolinier	Skala 1:50.000
222#3	Polinomial Orde Satu	Skala 1:100.000
	Proyektif	-*)
	Kolinier	Skala 1:50.000
222#4	Polinomial Orde Satu	Skala 1:100.000
	Kolinier	Skala 1:100.000
544#1	Polinomial Orde Satu	Skala 1:100.000
	Proyektif	Skala 1:100.000
	Kolinier	Skala 1:100.000

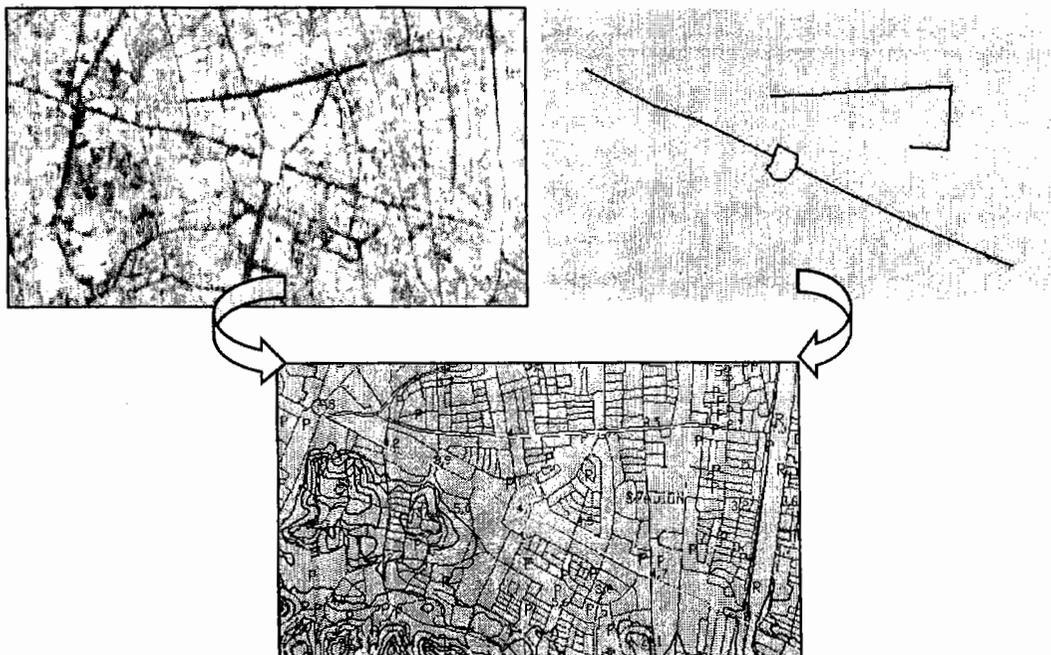
Keterangan: -\*) = Tidak memenuhi spesifikasi skala 1:100.000

Berdasarkan Tabel 1 dan 3, penerapan persamaan kolinier dan transformasi polinomial orde satu di daerah percobaan 221#1 yang bergelombang

dan luas menghasilkan ketelitian horizontal yang memenuhi spesifikasi peta topografi skala 1:100.000. Pada daerah percobaan 222#1 yang luas dan datar, penggunaan persamaan kolinier, transformasi proyektif, polinomial orde satu, dan dua, ternyata menghasilkan ketelitian horizontal yang memenuhi spesifikasi peta topografi skala 1:100.000 pula.

Penggunaan persamaan kolinier pada daerah percobaan 222#2 dan 222#3 yang sempit (mempunyai luas 5,7x3,2 km<sup>2</sup> dan 8,0x4,2 km<sup>2</sup>), permukaan tanahnya datar, dan TKT dan titik cek teridentifikasi dengan jelas maka menghasilkan ketelitian horizontal yang memenuhi spesifikasi peta topografi skala 1:50.000. Khusus pada daerah percobaan 222#3, metode transformasi polinomial orde satu hanya mampu memenuhi spesifikasi peta topografi skala 1:100.000.

Pada Gambar 6 disajikan *plotting* koordinat obyek hasil hitungan persamaan kolinier dari citra satelit SPOT. Obyek-obyek yang ada pada Gambar 6(a) dihitung koordinatnya menggunakan persamaan kolinier dan diplotkan sebagaimana disajikan pada Gambar 6(b). Hasil *plotting* pada Gambar 6(b) ini kemudian ditumpang susunkan pada peta Topografi BAKOSURTANAL, sebagaimana disajikan pada Gambar 6(c). Ternyata obyek-obyek yang ada pada Gambar 6(b) dapat tepat berhimpit pada peta Topografi BAKOSURTANAL. Ini menunjukkan penggunaan persamaan kolinier pada citra satelit SPOT dapat menghasilkan ketelitian posisi yang tinggi.



Gambar 6. Hasil *Plotting* Koordinat Obyek Hasil Persamaan Kolinier  
 (a). Potongan Citra SPOT Pan Daerah Semarang  
 (b). Hasil Rektifikasi Menggunakan Persamaan Kolinier  
 (c). Tumpang susun Gambar 6(b) Terhadap Peta Topografi

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Dari penelitian penggunaan persamaan kolinier untuk rektifikasi citra satelit SPOT secara parsial dapat disimpulkan bahwa:

1. Penggunaan persamaan kolinier pada daerah penelitian secara parsial, yaitu membaginya dalam 6 daerah percobaan yang lebih sempit, menghasilkan ketelitian posisi horizontal yang memenuhi spesifikasi peta topografi Indonesia skala 1:50.000 pada 2 daerah percobaan dan skala 1:100.000 pada 4 daerah percobaan. Dua daerah percobaan yang memenuhi spesifikasi peta topografi skala 1:50.000 tersebut berukuran 5,7 km x 3,2 km dan 8,0 km x 4,2 km dengan karakteristik permukaan tanah yang relatif datar dan titik kontrol tanah dan titik cek dapat diidentifikasi dengan sangat baik.
2. Pada penelitian ini, berdasarkan spesifikasi peta topografi Indonesia, ketelitian posisi horizontal hasil hitungan transformasi polinomial orde satu, dua, dan proyektif dapat menyamai hitungan persamaan kolinier secara parsial. Pada satu daerah percobaan yang tidak luas, relatif datar, dan titik cek dan titik kontrol dapat diidentifikasi dengan baik, penggunaan persamaan kolinier mampu memenuhi ketelitian horizontal spesifikasi peta topografi skala 1: 50.000 sedangkan metode transformasi polinomial orde satu dan proyektif tidak dapat mencapainya.

### Saran

1. Perlu dipergunakan persamaan matematis yang betul-betul dapat mewakili model permukaan bumi sebenarnya, atau dipergunakan data DTM dengan interval 10 m yang setara dengan resolusi spasial citra satelit SPOT Pankromatik.
2. Perlu dikembangkan algoritma penentuan posisi dan orientasi satelit secara teliti pada setiap baris citra, sehingga hasil hitungan DMP dengan persamaan kolinier per baris akan memberikan ketelitian posisi di permukaan bumi yang diharapkan lebih baik.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada BAKOSURTANAL yang telah mengizinkan penggunaan data citra satelit SPOT untuk penelitian

dan kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Jacob Rais, Dr. Ir. Bobby S Dipokusumo, M.Sc. dan Ir. Irawan Sumarto, M.Sc., Ph.D., untuk diskusinya yang sangat berharga.

### DAFTAR PUSTAKA

- BCMF, 1998, *The Preparation and Creation of FRGIS Data Files (Volume 5)*, BC Ministry of Forest, Resources Inventory Branch, Website: <http://www.for.gov.bc.ca/resinv/standard/volume5/maindoc.htm>
- Chen, L. C. and Lee, L. H., 1993, *Rigorous Generation of Digital Orthophotos from SPOT Images*, PE&RS, Edisi Mei, Vol. 59, No. 5, pp 655-661.
- Harintaka dan Sumarto I., 2002, *Kajian Beberapa Metode Transformasi Dua Dimensi Untuk Koreksi Geometrik Citra Satelit*, Media Teknik, Edisi Mei, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- JARS (*Japan Association on Remote Sensing*), 1993, *Remote Sensing Note*, Japan Association on Remote Sensing, Nihon Printing Co. Ltd, Japan.
- Makarovic, B., 1982, *Data Base Updating by Digital Mono-plotting*, ITC Journal, ISSN 0303-1434, Edisi 1982-4, pp 384-390, The Netherland.
- Moffitt, F. H. and Mikhail, E. M., 1980, *Photogrammetry*, Edisi Kedua, Harper and Row Publisher, New York, USA.
- Östman, A., 1986, *The Maintenance of Large Scale Maps by Digital Monoplotting*, Papers on Digital Elevation, Image Correlation and Map Maintenance, Photogrammetric Reports, No. 53, The Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
- Radwan, M. M and Makarovic, B., 1980, *Digital Mono-plotting System – Improvements and Test*, ITC Journal, ISSN 0303-2434, Edisi 1980-3, pp 511-533, The Netherland.
- Sumarto, I., 1997, *An Investigation into the Applicability of Airborne Videography for Topographic Mapping*, Ph.D. Dissertation, School of Surveying and Land Information, Curtin University of Technology, Perth, Australia.
- Wolf, P.R., 1983, *Elements of Photogrammetry*, Edisi Kedua, McGraw-Hill Book Company, New York, USA.

