

## Simulasi *Direct Georeferencing* Untuk Koreksi Geometrik Sistematis Citra *Pushbroom Imager*

Muchammad Soleh<sup>1</sup>, Wisnu Sunarmodo<sup>1</sup>, Ahmad Maryanto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bidang Teknologi Akuisisi dan Stasiun Bumi Penginderaan Jauh  
Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh - LAPAN

E-mail: [msoleh76@gmail.com](mailto:msoleh76@gmail.com)

**ABSTRAK** – *Direct georeferencing* (georeferensi langsung) citra indera (penginderaan jauh) pada intinya adalah suatu proses pemberian label koordinat (kalibrasi posisi) citra indera dengan koordinat yang sebenarnya pada sistem bumi. Secara sederhana, proses ini dapat dilakukan dengan bantuan rumusan geometris yang menghubungkan titik tersebut pada sistem satelit yang sedang mengorbit dan sistem bumi. Proses ini merupakan sebuah tahap awal untuk menghasilkan data atau citra yang terkoreksi secara geometrik sistematis dan terkode kepada sebuah peta (*geocoded image*). *Pushbroom imager* adalah sistem detektor dengan larik lurus yang prinsip pencitraannya dilakukan dengan teknik *line scanning* (*pushbroom*). Citra *pushbroom imager* 2-D diperoleh melalui ratusan hingga ribuan kali pemotretan dengan menggeser kamera secara tepat terhadap obyek pada tiap-tiap pemotretan dengan selang pengambilan disesuaikan dengan kecepatan terbang satelit relatif terhadap bumi dan ukuran lebar garis gambar (resolusi spasial) yang ditentukan. Makalah ini bertujuan mengulas implementasi algoritma dan melakukan simulasi *direct georeferencing* untuk perhitungan koreksi geometrik sistematis citra *pushbroom imager* dengan prinsip membangun relasi antara sistem koordinat sensor *pushbroom* pada wahana terhadap koordinat pada permukaan bumi. Relasi ini dibangun dengan cara memproyeksikan setiap titik sensor (piksel) pada permukaan bumi melalui prinsip interseksi. Namun untuk melakukan proses interseksi, posisi sensor dan permukaan bumi harus berada pada suatu sistem koordinat yang sama. Untuk itu operasi sensor terhadap sikap (*roll, pitch, yaw*) dilakukan pada sistem koordinat wahana (SKW) sedangkan operasi interseksi dilakukan pada sistem koordinat bumi (SKB). Hasil simulasinya berupa pelabelan koordinat geodetik *latitude longitude* untuk tiap-tiap piksel citra *pushbroom* dalam satu baris/larik.

**Kata kunci:** *direct georeferencing, pushbroom imager, koreksi geometrik sistematis*

**ABSTRACT** - *Direct georeferencing for remote sensing imagery is essentially a process of labeling the remote sensing imagery coordinate (position calibration) with real coordinates on the earth system. Simply, this process could be done with geometric formula which connecting the point to satellite orbit system and earth sistem. This process is a first step to generates geometrically sistematis corrected data or image and geocoded image. Pushbroom imager is a detektor sistem with straight lines which performed by line scanning technique (pushbroom). 2-D imager pushbroom image obtained through hundreds to thousands times shooting by shifting the camera appropriately to the object at each interval shooting by making adapted to flying speed of the satellite relative to the earth and the size of the width of the line images (spatial resolution) were determined. This paper aims to review the implementation of the algorithm and simulating direct georeferencing for a sistematis geometric correction calculation of pushbroom imager image with the principle of building a relationship between the pushbroom sensor coordinate system on the vehicle to the earth coordinate system. This relationship is built by projecting each sensor point (pixel) on the surface of the earth through the intersection principle. But to make intersection, sensor position and the earth's surface must be on a similar coordinate system. For the operation of the attitude sensor (roll, pitch, yaw) performed on the vehicle coordinate system (SKW) while the intersection operation performed on earth coordinate system (SKB). The simulation results in the form of geodetic latitude longitude coordinates labeled for each pushbroom image pixel in a row/array.*

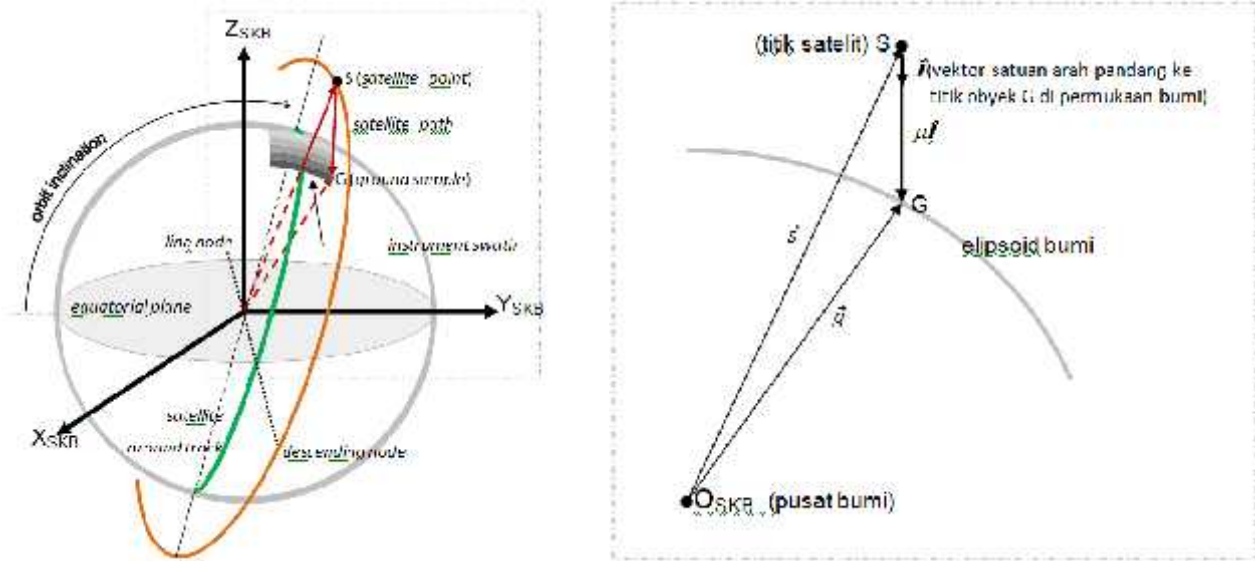
**Keywords:** *direct georeferencing, puhbroom imager, koreksi geometrik sistematis*

### 1. PENDAHULUAN

Proses georeferensi langsung citra indera pada intinya adalah suatu proses pemberian label koordinat (kalibrasi posisi) citra indera dengan koordinat yang sebenarnya pada sistem bumi. Secara sederhana, proses ini dapat dilakukan dengan bantuan rumusan geometris yang menghubungkan titik tersebut pada sistem satelit yang sedang mengorbit dan sistem bumi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.

Seperti dilukiskan pada Gambar 1 di bawah ini *direct georeferencing* melakukan penghitungan vektor  $\hat{i}$  dengan mengeksplorasi relasi geometrik yang dibangun oleh relasi fisik dari perangkat-perangkat akuisisi citra yang terlibat di dalamnya. Masing-masing perangkat akuisisi secara geometris dapat dipandang sebagai satu entitas sistem referensi dengan kerangka acuannya sendiri. Oleh karena itu eksplorasi relasi geometrik

pada *direct georeferencing* pada umumnya dimulai dari ekstraksi orientasi citra (arah pandang masing-masing piksel citra ke obyek pasangannya) menurut perangkat fisik yang membentuknya, yaitu kamera. Karena hanya meninjau secara internal di dalam kamera itu sendiri, maka arah pandang yang teridentifikasi dinamakan juga dengan orientasi internal atau orientasi intrinsik.



**Gambar 1.** Formasi geometrik titik pusat bumi, titik satelit pada suatu saat, dan titik obyek atau titik target yang membentuk sebuah relasi vektor

Secara metodologis, perumusan orientasi internal untuk semua kamera adalah sama yaitu mengidentifikasi lokasi titik citra (piksel pada file citra) pada sel detektor (piksel detektor) yang memproduksi dirinya, mengidentifikasi titik pusat pandang atau pusat perspektif yang berada di dalam sistem lensa sebagai titik asal (origin) sistem koordinat, mendefinisikan sumbu koordinat yang tepat untuk ruang 3-D yang berpusat pada titik asal tersebut, kemudian menghitung vektor posisi dari masing-masing piksel detektor yang mewakili piksel citra tersebut pada sistem koordinat kamera yang telah didefinisikan.

Rumusan orientasi internal (vektor pandang intrinsik) bersifat tetap karena struktur dalam kamera pada umumnya merupakan suatu konstruksi fisik yang tetap. Perbedaan rumusan vektor pandang terjadi pada tataran teknis oleh cara kamera memperoleh citra atau teknologi *scanning* yang dianut dan nilai besaran-besaran fisis komponen kamera yang digunakan.

Dengan terdefinisinya vektor pandang internal pada perangkat fisik yang memproduksinya, yaitu kamera, maka langkah berikutnya di dalam proses eksplorasi relasi geometrik secara *direct georeferencing* adalah mengidentifikasi relasi fisik kamera dengan perangkat fisik (sistem) berikutnya, misalnya kamera dipasang secara mati pada satelit, dan merumuskan transformasi geometrik yang tepat dari sistem referensi kamera ke sistem tersebut sehingga dapat didefinisikan vektor pandang menurut sistem dimaksud (satelit). Demikian seterusnya dilakukan langkah yang sama untuk sistem yang menghubungkan satelit dengan sistem bumi sehingga diperoleh orientasi luar akhir di dalam sistem referensi bumi.

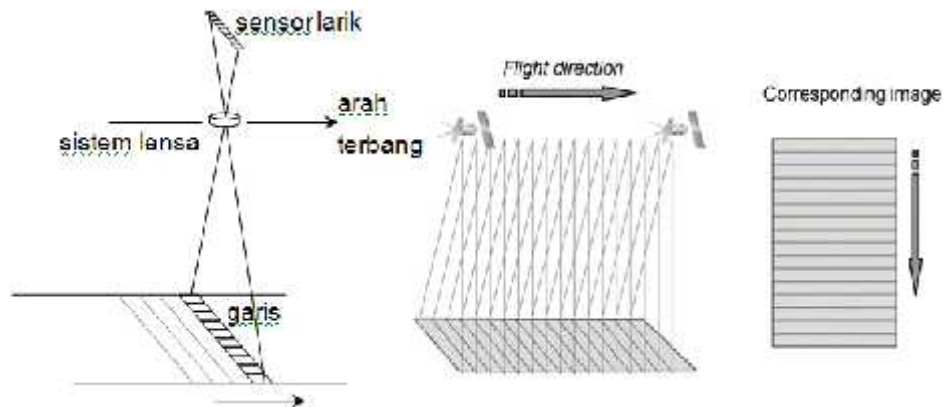
Makalah ini membahas rumusan relasi geometris citra-obyek secara *direct georeferencing* dengan asumsi data citra diperoleh dari sensor pushbroom yang diikat secara tetap (mati) pada sebuah wahana pembawa sensor penginderaan jauh tipe *pushbroom linescan*. Proses georeferensi adalah sebuah tahap awal yang harus dilalui dalam proses koreksi geometrik citra inderaja untuk menghasilkan data atau citra yang terkode kepada sebuah peta (*geocoded image*). Untuk sampai kepada tahap ini, satu tahap proses yang harus dilakukan adalah *resampling*, yang tidak dibahas pada makalah ini.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sensor Pushbroom Pada Sebuah Wahana

Dalam konteks geometri akuisisi, sensor pushbroom dapat digambarkan secara sederhana sebagai sebuah sistem lensa yang pada bidang fokusnya dipasang detektor larik lurus (*linear array detector*, misalnya *CCD*) sebagai perekam citra yang dibentuk oleh sistem lensa. Karena pendeteksi hanya berupa larik sel atau piksel detektor yang membentuk sebuah garis lurus, maka gambar yang akan diberikan hanyalah berupa satu

elemen garis gambar saja yang lebarnya sangat kecil sehingga dapat dianggap sebagai gambar satu dimensi. Gambar 2 dimensi pada *pushbroom imager* hanya akan terbentuk jika kamera digeser secara teratur pada tiap kali kamera mengambil gambar sesuai dengan ukuran lebar dari masing-masing garis gambar seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Prinsip pencitraan dengan teknik *line scanning (pushbroom)*. Citra 2-D diperoleh melalui ratusan hingga ribuan kali pemotretan dengan menggeser kamera secara tepat terhadap obyek pada tiap-tiap pemotretan.

Pada sistem penginderaan jauh satelit, satelit-satelit dengan sensor *pushbroom* melakukan pengambilan gambar (pemotretan) ratusan hingga ribuan kali dengan selang pengambilan disesuaikan dengan kecepatan terbang satelit relatif terhadap bumi dan ukuran lebar garis gambar (resolusi spasial) yang ditentukan.

## 2.2 Orientasi Internal Sensor *Pushbroom*

Orientasi internal pada *pushbroom imager* dapat dirumuskan melalui *mapping* (transformasi) lokasi piksel citra pada larik detektor dan identifikasi struktur fisik kamera secara keseluruhan, di mana terletak larik detektor di dalamnya. Dalam hal ini melibatkan sistem koordinat citra (SKC) yang menjadi parameter input terhadap sistem koordinat detektor (SKD). Dan SKD juga menjadi parameter input terhadap sistem koordinat kamera (SKK). SKK dalam hal ini adalah data posisi (*latitude, longitude*) dan *attitude*/sikap kamera (*roll, pitch, yaw*) atau disingkat menjadi LLA (*latitude, longitude, attitude*). Parameter LLA pada SKK diperoleh dari hasil geolokasi menggunakan perangkat sensor GPS *receiver* dan sensor sikap IMU (*Inertial Measurement Unit*) yang terpasang pada sistem kamera. Detail penjelasan tentang masing-masing relasi internal terkait sensor *pushbroom imager* disampaikan pada Bab 3 makalah ini.

## 2.3 Orientasi Eksternal Sensor *Pushbroom*

Orientasi eksternal pada *pushbroom imager* dapat dirumuskan sebagai relasi-relasi yang dibangun antara sensor kamera terhadap dirinya dengan bumi sebagai acuan antara lain yaitu : relasi antara sensor kamera terhadap wahana pembawa sensor (*spaceborne/airborne*), relasi sensor kamera terhadap sistem acuan lokal orbital, relasi lokal orbital terhadap bumi dan interseksi/perpotongan arah pandang wahana pembawa sensor pada permukaan bumi yang menghasilkan koordinat obyek. Seluruh parameter relasi yang disebutkan di atas akan diperhitungkan untuk memperoleh koordinat citra pada wahana atau Sistem Koordinat Wahana (SKW) pembawa sensor *pushbroom imager*. Berikutnya yang juga diperhitungkan adalah relasi antara SKW terhadap pergerakan bumi (rotasi), sehingga faktor rotasi bumi akan mengubah SKW menjadi Sistem Koordinat Wahana ter-Rotasi (SKWR). Dan terakhir adalah orientasi SKWR terhadap permukaan bumi untuk mengubah orientasi SKWR menjadi Sistem Koordinat Bumi (SKB) pada setiap piksel data citra melalui proses perhitungan interseksi/perpotongan antara koordinat pada citra dengan koordinat di permukaan bumi. Detail penjelasan tentang masing-masing relasi eksternal yang dibangun pada sensor *pushbroom imager* disampaikan pada Bab 3 makalah ini.

## 2.4 Transformasi Koordinat Geosentrik ke Geodetik

Untuk memperoleh koordinat geosentrik dilakukan dengan cara memperhitungkan orientasi internal dan eksternal sensor terhadap bumi. Setelah koordinat geosentrik diperoleh maka tahapan akhir adalah melakukan transformasi koordinat geosentrik ke geodetik dengan cara menghitung titik potong vektor arah piksel citra dengan ellipsoid bumi sebagai acuan untuk menentukan vektor posisi titik citra pada permukaan

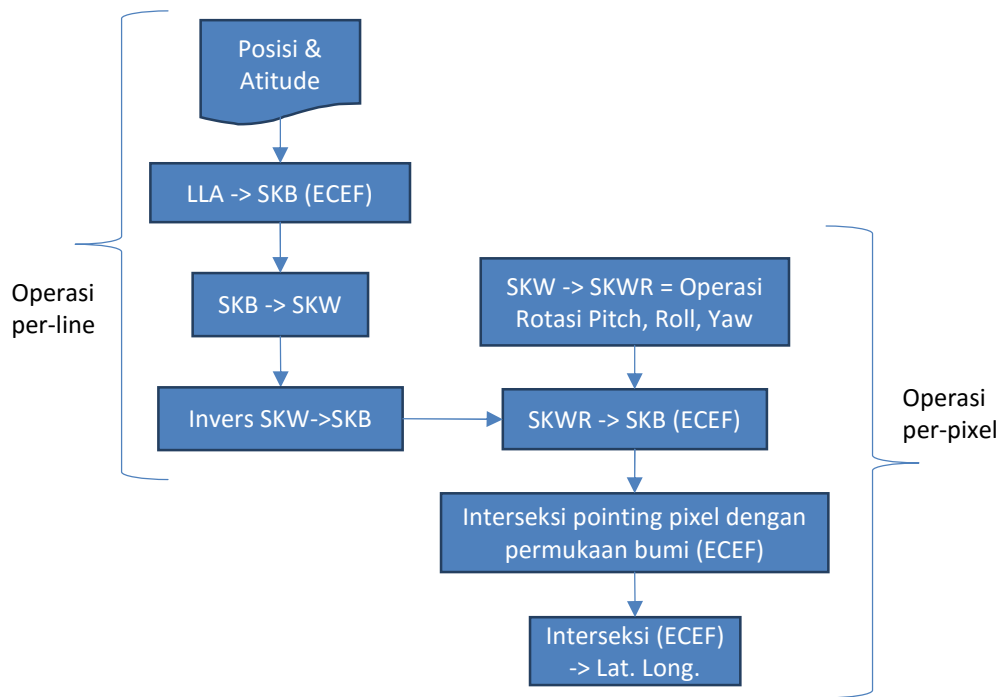
bumi. Proses transformasi ini akan mengubah vektor posisi ke koordinat geografis lintang bujur geosentrik dan selanjutnya mengubah koordinat geografis geosentrik ke koordinat geografis lintang bujur geodetik.

Banyak cara untuk melakukan transformasi dari koordinat geosentrik ke geodetik, ataupun sebaliknya. Salah satu cara yang populer adalah dengan melibatkan komponen tangensial dari geosentrik *latitude* (lintang) terhadap ellipsoidal bumi. Dalam hal ini diberlakukan proses interseksi/perpotongan vektor arah piksel citra dengan ellipsoid bumi sebagai acuan untuk menentukan vektor posisi setiap titik citra pada permukaan bumi dimana vektor permukaan bumi ditentukan dengan rumus ellipsoidal bumi sesuai parameter kecepatan bumi standar WGS84. Pada tahapan ini akan diperoleh hasil koordinat SKB dalam format ECEF.

Dan terakhir, setelah diperoleh vektor perpotongan pointing masing-masing piksel dengan permukaan bumi, maka selanjutnya adalah mengubah kembali vektor tersebut yang berada dalam sistem koordinat ECEF menjadi koordinat LLA (*longitude, latitude, altitude*). Namun pada simulasi kali ini diasumsikan bahwa ketinggian (*altitude*) setiap piksel pada data citra adalah 0 (nol) meter. Detail penjelasan tentang transformasi koordinat geosentrik sensor *pushbroom imager* menjadi koordinat geodetik akan disampaikan pada Bab 3 makalah ini.

### 3. METODOLOGI

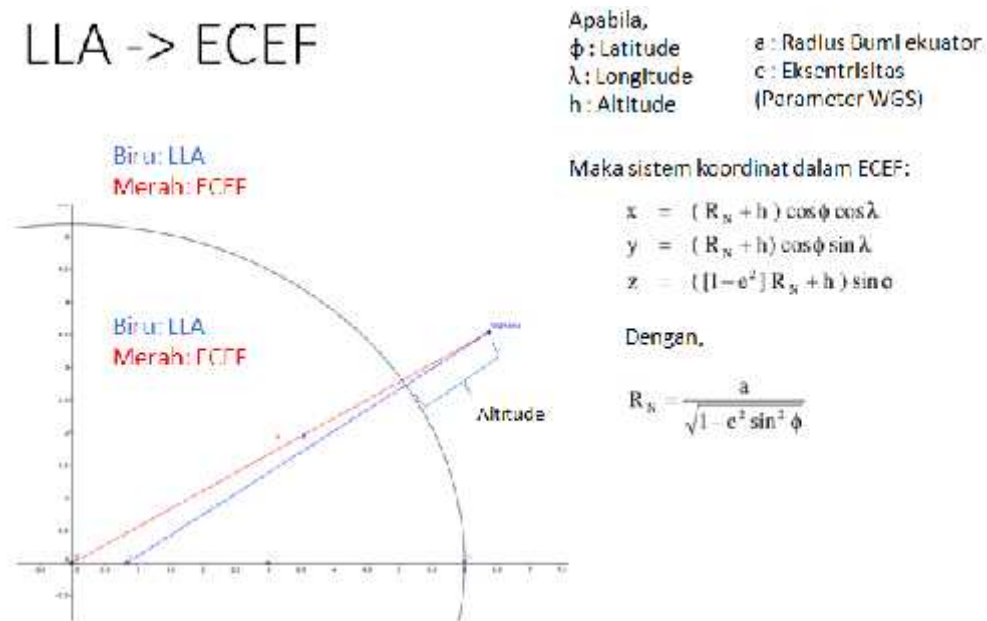
Algoritma yang umum digunakan dalam proses *direct georeferencing* ditunjukkan pada Gambar 3. Dalam hal ini data posisi (*latitude, longitude*) dan *attitude/sikap* kamera (*roll, pitch, yaw*) atau disingkat menjadi LLA (*latitude, longitude, attitude*) diperoleh dari hasil geolokasi menggunakan perangkat sensor GPS *receiver* dan sensor IMU (*Inertial Measurement Unit*) yang terpasang pada sistem kamera.



**Gambar 3.** Algoritma umum *direct georeferencing* untuk memperoleh data citra yang *geocorrected* dan *geocoded*

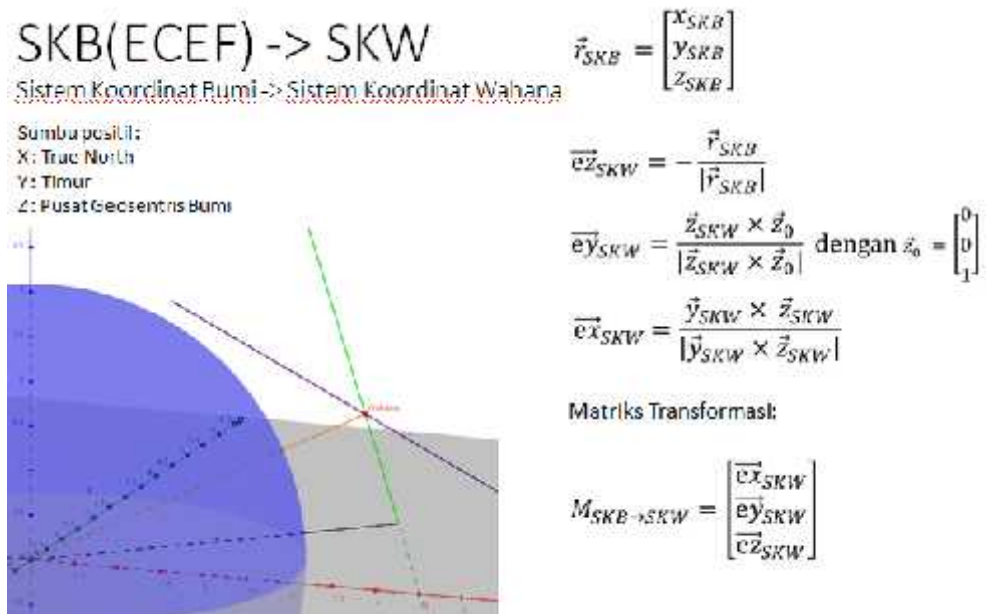
Setelah parameter LLA (*latitude, longitude, attitude*) diketahui dari sensor GPS *receiver*, maka nilainya dikonversi ke dalam koordinat ECEF (*Earth Centered Earth Fixed*) yaitu acuan terrestrial konvensional sebagai kerangka acuan yang berpusat pada titik pusat bumi (geosentris) yang ikut berputar dengan putaran bumi dengan titik *origin* pada pusat massa bumi dengan arah X positif adalah titik potong garis ekuator/katulistiwa dengan garis bujur nol, dan arah sumbu putar bumi menuju kutub utara sebagai arah sumbu Z positif sementara perkalian *cross* arah sumbu Z positif dengan sumbu X positif sebagai arah sumbu Y positif sesuai kaidah tangan kanan. Sistem koordinat ECEF ini telah didefinisikan oleh *Bureau International de l'Heure* (BIH), dan sama dengan sistem referensi geosentris *U.S. Department of Defense World Geodetic System 1984* atau yang dikenal dengan sebutan WGS84. Tujuan LLA diubah menjadi ECEF adalah untuk memperoleh nilai koordinat yang mengacu pada Sistem Koordinat Bumi (SKB). Output

tersebut nantinya digunakan sebagai pusat koordinat dari sensor untuk setiap garis pada *linescan*. Dan untuk mentransformasikan nilai koordinat LLA menjadi koordinat ECEF ditunjukkan pada Gambar 4.



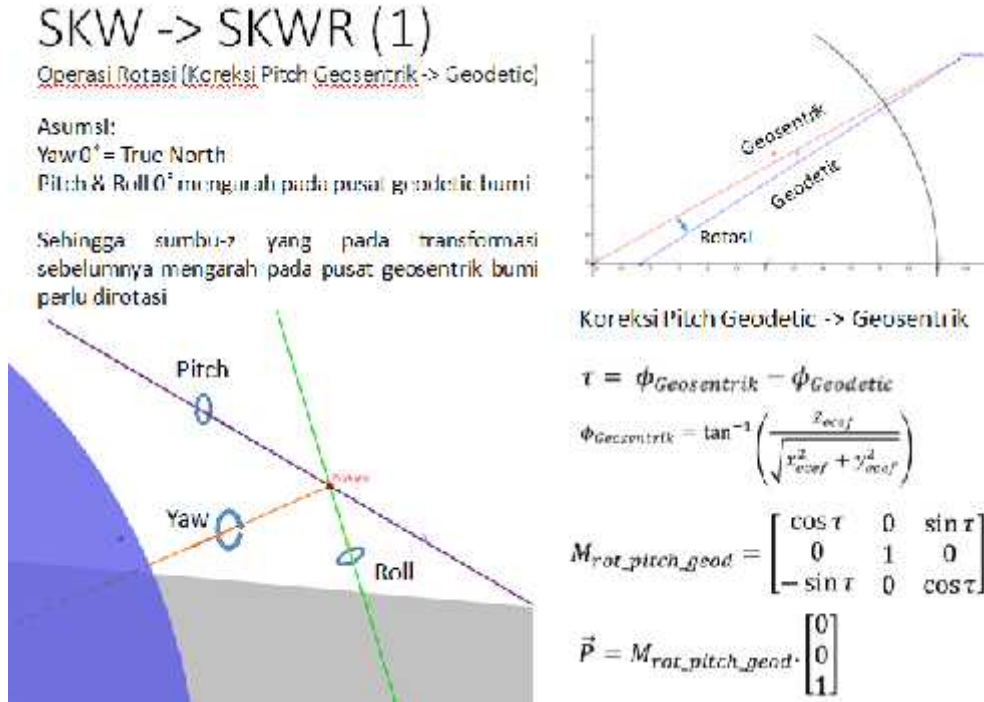
**Gambar 4.** Perhitungan untuk mengkonversi parameter LLA menjadi ECEF sesuai dengan SKB

Setelah diperoleh koordinat ECEF (*Earth Centered Earth Fixed*) yang mengacu pada Sistem Koordinat Bumi (SKB), maka SKB tersebut diterapkan untuk mengitung posisi wahana terhadap bumi. Maka dilakukan konversi SKB menjadi Sistem Koordinat Wahana (SKW). Dalam hal ini pusat koordinat bumi menjadi pusat koordinat wahana (sensor). SKW merupakan representasi untuk menentukan posisi wahana yang membawa sensor terhadap bumi dimana sumbu X mengarah ke *true north*, sumbu Y mengarah ke timur dan sumbu Z mengarah ke pusat geosentris bumi sesuai kaidah tangan kanan. Proses mengkonversi SKB menjadi SKW dilakukan dengan sebuah matriks transformasi seperti digambarkan pada Gambar 5. Matriks koordinat ini nantinya digunakan sebagai *inverse* dari Sistem Koordinat Wahana ter-Rotasi (SKWR) menjadi Sistem Koordinat Bumi (SKB).

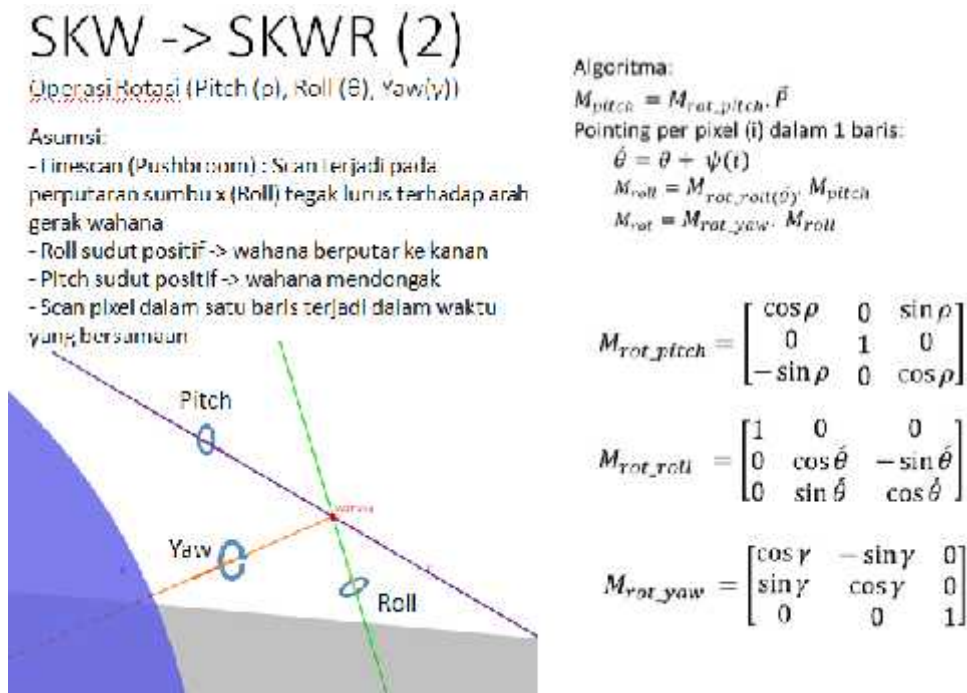


**Gambar 5.** Perhitungan matriks transformasi untuk menerapkan koordinat SKB menjadi SKW

Dikarenakan posisi sensor berdasarkan SKW bersifat relatif terhadap bumi, dimana dalam hal ini bumi bergerak melakukan rotasi dengan kecepatan tertentu. Maka selanjutnya perlu dilakukan operasi rotasi dari SKW menjadi SKWR yang dipengaruhi oleh rotasi bumi (SKWR). Pada tahap ini dilakukan koreksi *pitch* dari koordinat geosentrik menjadi koordinat geodetik melalui sebuah matrik rotasi dengan asumsi arah *yaw* 0° adalah *true north* sedangkan *pitch* dan *roll* 0° mengarah ke pusat geodetik bumi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6. Operasi rotasi pada sistem koordinat wahana (SKW) berdasarkan input dari sensor sikap/attitude (IMU).



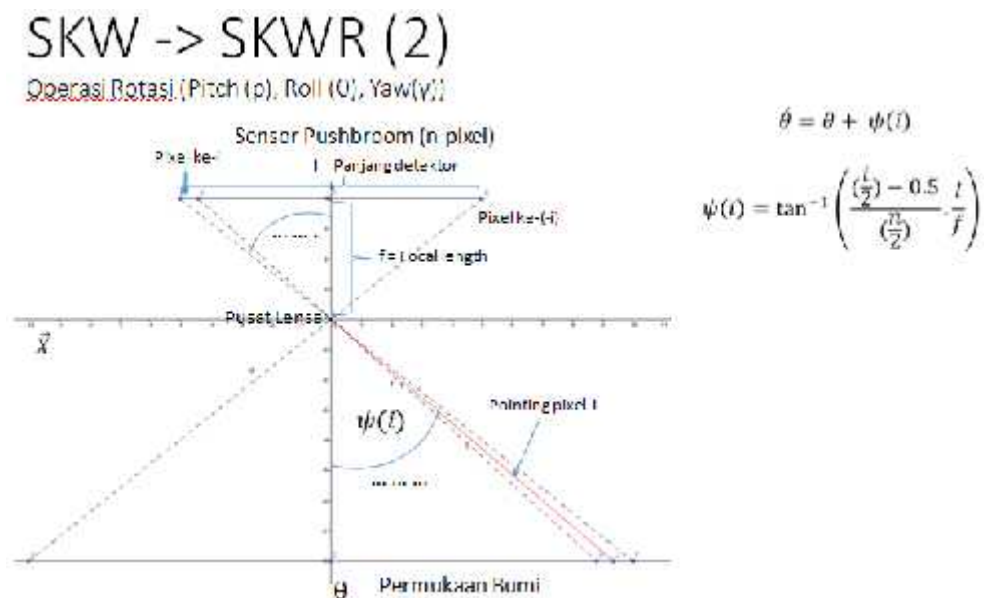
Gambar 6. Perhitungan SKW terhadap rotasi bumi menjadi SKWR



Gambar 7. Operasi rotasi pada sensor kamera pushbroom linescan mengacu pada SKWR

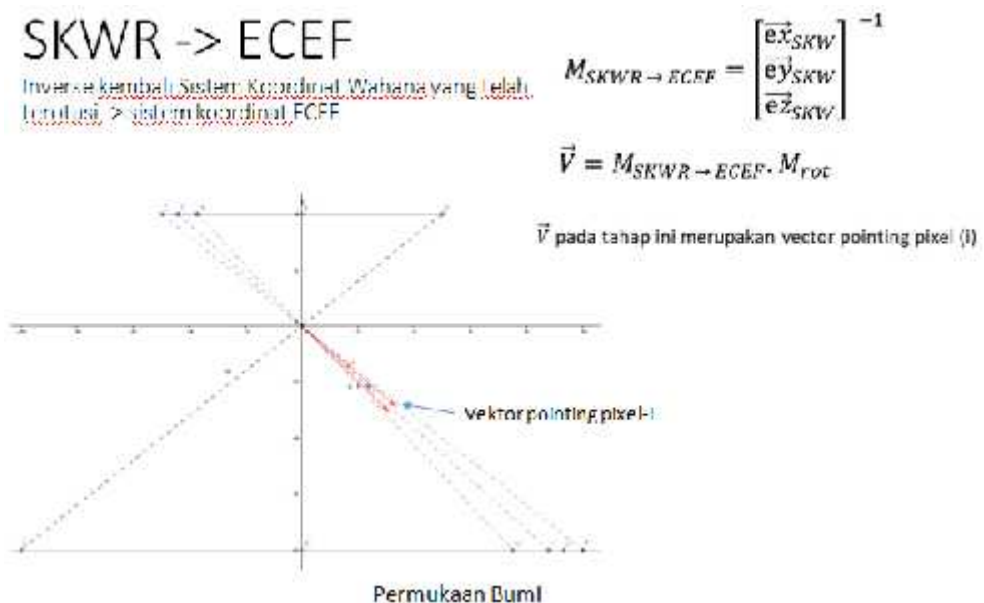
Seperti ditunjukkan pada Gambar 7 di atas, setelah diperoleh SKWR maka dilakukan operasi rotasi (*pitch* ( ), *roll* ( ), *yaw* ( )) pada sensor kamera *pushbroom linescan*. Dalam hal ini *scan* piksel dalam satu baris terjadi dalam waktu yang bersamaan dan berlangsung pada perputaran sumbu X (*roll*) tegak lurus terhadap arah gerak wahana. Jika *roll* sudut positif maka wahana berputar ke kanan dan jika *pitch* sudut positif maka wahana mendongak ke atas.

Operasi rotasi pada sistem koordinat wahana berdasarkan input dari sensor sikap (IMU). Prinsip yang digunakan adalah dengan sudut *roll* ( ) positif adalah rotasi sudut pada sumbu x berlawanan arah jarum jam, sudut *pitch* ( ) positif adalah rotasi sudut pada sumbu y berlawanan arah jarum jam, dan sudut *yaw* ( ) positif adalah rotasi sudut pada sumbu z berlawanan arah jarum jam. Dalam hal ini asumsi setiap piksel pada satu *line* menerapkan operasi rotasi *roll* seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Orientasi sensor kamera *pushbroom linescan* terhadap bumi mengacu pada SKWR

Setelah diperoleh nilai koordinat tiap piksel pada sensor maka tahap selanjutnya adalah melakukan *inverse* atau mengembalikan nilai koordinat SKWR tersebut ke dalam koordinat SKB atau ECEF lagi. Hal ini dilakukan untuk mentransformasikan balik nilai yang koordinat yang pada sensor terhadap bumi dengan cara melakukan vektor *pointing* dari setiap piksel pada sensor dan menemukan kesesuaian nilainya terhadap koordinat di bumi dalam kerangka acuan ECEF seperti ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. *Inverse* nilai koordinat sensor pada SKWR ke dalam sistem koordinat SKB (ECEF)

Jika mengacu pada bentuk permukaan bumi yang berbentuk ellipsoid maka perlu dilakukan interseksi atau perpotongan vektor *pointing* tiap piksel pada sensor dengan permukaan bumi yang berbentuk ellipsoid ini dengan mengacu pada persamaan ellipsoidal bumi untuk menghasilkan nilai perpotongan yang terdekat dengan bidang ellipsoidal bumi seperti ditunjukkan pada Gambar 10.

## Interseksi

Interseksi vector pointing per pixel dengan permukaan bumi

Persamaan Ellipsoidal Bumi:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$$

a & b radius-ekuator dan radius-kutub bumi (WGS84)

Persamaan perpotongan Vector Pointing:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{skb} \\ y_{skb} \\ z_{skb} \end{bmatrix} + t \cdot \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{bmatrix} \quad \text{atau} \quad \vec{U} = \vec{r}_{SKB} + t \cdot \vec{V}$$

Dengan t merupakan parameter yang dicari

Dengan memasukkan persamaan interseksi vector pointing pada persamaan ellipsoidal bumi didapat persamaan untuk mencari nilai t:

$$(b^2x_p^2 + b^2y_p^2 + a^2z_p^2)t^2 + (b^2x_{skb}x_p + b^2y_{skb}y_p + a^2z_{skb}z_p)2t + b^2x_{skb}^2 + b^2y_{skb}^2 + a^2z_{skb}^2 - a^2b^2 = 0$$



Akan dihasilkan 2 nilai t, dengan nilai t minimum merupakan perpotongan terdekat dengan bidang ellipsoidal bumi

Gambar 10. Interseksi vektor *pointing* per piksel pada sensor terhadap permukaan bumi ellipsoid

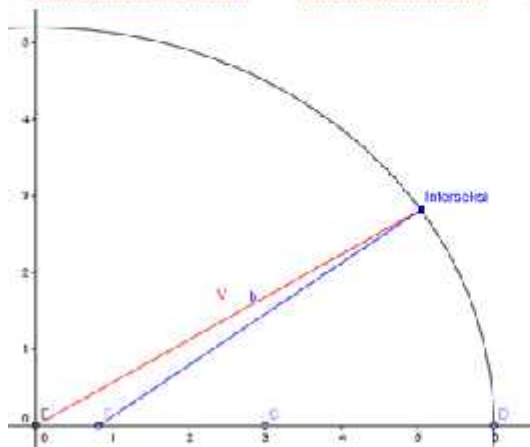
Tahapan akhir pada proses *direct georeferencing* yang dilakukan adalah memperoleh koordinat bumi yang *geocoded* yaitu koordinat yang sesuai dengan kaidah-kaidah pemetaan. Untuk memperoleh koordinat bumi yang *geocoded* maka tahapan selanjutnya adalah mengubah hasil vektor interseksi dalam koordinat ECEF yang diperoleh ke dalam koordinat *latitude* dan *longitude* untuk setiap piksel pada citra. Dalam hal ini diasumsikan bahwa ketinggian interseksi adalah 0 (nol) meter di atas permukaan ellipsoidal bumi. Sehingga dengan persamaan matematis tangensial bisa diperoleh koordinat *latitude* dan *longitude* untuk setiap piksel pada citra seperti ditunjukkan pada Gambar 11.

## Vektor interseksi -> Lat. Long.

Vektor interseksi (ECEF) diubah menjadi Longitude Latitude untuk setiap pixel *i*

Asumsi:

Ketinggian interseksi = 0m di atas permukaan ellipsoidal bumi



Longitude:  

$$\lambda(i) = \tan^{-1}(y_i, x_i)$$

Latitude:  

$$\phi(i) = \tan^{-1} \left( \frac{z_i}{(1 - e^2) \sqrt{x_i^2 + y_i^2}} \right)$$

Gambar 11. Mengubah vektor interseksi (ECEF) menjadi koordinat *latitude* dan *longitude* untuk setiap piksel



Dari uraian geometri analitis penentuan titik potong arah pandang pada permukaan ellipsoid bumi sebagaimana telah dijelaskan di atas, maka dapat dirangkum sebuah algoritma proses kalibrasi geometrik citra indera secara langsung (*direct georeferencing*) antara lain sebagai berikut :

1. Menetapkan rumusan atau definisi orientasi internal piksel citra pada sistem kamera
2. Menetapkan rumusan atau hubungan yang menyatakan orientasi piksel citra di dalam sistem acuan satelit
3. Menghitung penanggalan pada saat sebuah piksel citra diperoleh
4. Menghitung posisi dan sikap satelit pada saat pengambilan piksel citra dilakukan
5. Menghitung vektor arah piksel citra pada sistem acuan orbital
6. Menghitung vektor arah piksel citra pada sistem acuan bumi
7. Menghitung titik potong vektor arah piksel citra dengan ellipsoid bumi acuan untuk menentukan vektor posisi titik citra pada permukaan bumi yaitu :
  - Mengubah vektor posisi ke koordinat geografis lintang bujur geosentrik
  - Mengubah koordinat geografis geosentrik ke koordinat geografis lintang bujur geodetik

#### 4. HASIL PEMBAHASAN

Program *direct georeferencing* yang dibuat memiliki alur proses seperti ditunjukkan pada **Error! Reference source not found.** Secara umum proses *direct georeferencing* merupakan proses memproyeksikan setiap titik sensor (piksel) pada permukaan bumi dengan prinsip interseksi. Namun untuk menggunakan interseksi, posisi sensor dan permukaan bumi harus berada pada suatu sistem koordinat yang sama. Maka operasi sensor terhadap sikap (*roll, pitch, yaw*) dilakukan pada sistem koordinat wahana (SKW) sedangkan operasi interseksi dilakukan pada sistem koordinat bumi (SKB).

Proses *direct georeferencing* diawali dengan melakukan transformasi koordinat LLA menjadi SKB (ECEF) dilakukan dengan cara mengubah sistem koordinat input GPS sensor yang berupa LLA menjadi SKB yang berupa sistem koordinat ECEF dengan parameter bumi yang digunakan adalah WGS84. koordinat output yang dihasilkan adalah dalam koordinat kartesian (X, Y, Z) dengan pusat bumi (geosentris) sebagai pusat koordinat, sumbu Z mengarah pada zenith sumbu geografis bumi, sumbu x mengarah pada longitude 0°, dan sumbu Y melengkapi sumbu Z dan X sesuai kaidah tangan kanan. Output tersebut nantinya digunakan sebagai pusat koordinat dari sensor untuk setiap garis pada *linescan*.

Selanjutnya dilakukan transformasi koordinat SKB menjadi SKW dilakukan dengan cara mentransformasikan koordinat dengan pusat koordinat stasiun bumi menjadi pusat koordinat wahana (sensor). Sumbu Z SKW mengarah pada pusat geosentris bumi, sumbu x mengarah pada *true north*, dan sumbu Y melengkapi sumbu Z dan X sesuai kaidah tangan kanan. Matriks koordinat ini nantinya digunakan sebagai *inverse* dari Sistem Koordinat Wahana ter-Rotasi (SKWR) menjadi Sistem Koordinat Bumi (SKB).

Tahapan berikutnya adalah melakukan transformasi koordinat SKW menjadi SKWR adalah operasi rotasi pada sistem koordinat wahana berdasarkan input dari sensor sikap (IMU) dengan prinsip sudut *roll* ( ) positif adalah rotasi sudut pada sumbu X berlawanan arah jarum jam, sudut *pitch* ( ) positif adalah rotasi sudut pada sumbu Y berlawanan arah jarum jam, dan sudut *yaw* ( ) positif adalah rotasi sudut pada sumbu Z berlawanan arah jarum jam dan dengan posisi awal *pointing* piksel pada sumbu z (0,0,1). Dengan asumsi setiap piksel pada satu *line* merupakan operasi rotasi *roll*.

Setelah diperoleh SKWR, maka dilakukan penyamaan sistem koordinat wahana dengan sistem koordinat bumi dengan sistem koordinat bumi sebagai acuan. Operasi ini mengubah dari SKWR menjadi SKB untuk setiap piksel dalam satu *line*. Dalam hal ini setiap piksel pada sensor sudah terproyeksi dengan sistem koordinat bumi. Langkah selanjutnya adalah melakukan interseksi untuk menyesuaikan nilai koordinat SKB terhadap ellipsoid bumi (dengan parameter kecepatan bumi menggunakan standar WGS84 untuk setiap piksel dalam 1 baris sensor sehingga diperoleh hasil interseksi/perpotongan antara posisi piksel pada permukaan bumi yang berbentuk ellips. Tahap terakhir adalah mengubah nilai koordinat SKB (ECEF) yang diperoleh menjadi koordinat *latitude* dan *longitude* untuk setiap piksel. Dalam hal ini disumsikan bahwa ketinggian setiap piksel adalah 0 (nol) meter.

Simulasi *direct georeferencing* yang dilakukan adalah *programming* menggunakan bahasa pemrograman Python 2.7 dengan memasukan parameter input sensor yang akan disimulasikan yaitu jumlah piksel *linescan*, panjang fokus lensa (*focal length*), *image length* dan panjang baris sensor. Dalam hal ini *default* nilai untuk piksel *linescan* adalah 2048, panjang fokus lensa (*focal length*) 35 mm, *image length* 512, dan panjang baris sensor 28.672 mm). Adapun parameter WGS84 yang dimasukan adalah nilai radius ekuator (a) sebesar 6378137 km, radius kutub bumi (b) sebesar 6356752.3142 km dan *eccentricity* ( $e^2$ ) sebesar 0.00669437999014. Diasumsikan sensor berada di ketinggian (*altitude*) 1500 meter, koordinat input berupa *longitude, latitude, altitude, roll, pitch, yaw* berturut-turut (106.859102,-6.337270,1500,0,0,0). Output akhir

yang dihasilkan adalah berupa koordinat *latitude* dan *longitude* untuk setiap piksel pada citra. Dari hasil simulasi dengan tahapan seperti diuraikan diatas maka diperoleh hasil sebagai berikut :

Input (1 baris): 106.859102,-6.337270,1500,0,0,0

Keterangan: *Longitude, Latitude, Altitude, Roll, Pitch, Yaw*

Output (dengan sampel berjumlah 2048 piksel) :

```
106.86465236,-6.33728989072,0,0
106.864646937,-6.33728989078,1,0
106.864641514,-6.33728989083,2,0
106.864636091,-6.33728989089,3,0
106.864630668,-6.33728989095,4,0
106.864625245,-6.337289891,5,0
106.864619821,-6.33728989106,6,0
106.864614398,-6.33728989112,7,0
106.864608975,-6.33728989117,8,0
106.864603552,-6.33728989123,9,0
...
...
...
106.853595025,-6.33728989117,2039,0
106.853589602,-6.33728989112,2040,0
106.853584179,-6.33728989106,2041,0
106.853578755,-6.337289891,2042,0
106.853573332,-6.33728989095,2043,0
106.853567909,-6.33728989089,2044,0
106.853562486,-6.33728989083,2045,0
106.853557063,-6.33728989078,2046,0
106.85355164,-6.33728989072,2047,0
```

Keterangan: *Longitude, Latitude, Row*(nomor piksel dalam 1 *line*),*Column*(nomor *line*)

Gambar 12 berikut adalah hasil *plotting* output koordinat *longitude*, *latitude*, *row* (nomor piksel dalam 1 *line*), dan *column* (nomor *line*) pada google maps yang merupakan hasil simulasi *direct georeferencing*.



**Gambar 12.** *Plotting* koordinat *longitude* dan *latitude* pada google maps hasil simulasi *direct georeferencing* untuk 1 baris sensor *linescan* dengan jumlah piksel 2048 buah

Seperti ditunjukkan pada Gambar 12 di atas, hasil simulasi *direct georeferencing* diperoleh dengan memasukan 1 baris input koordinat *longitude, latitude, altitude, roll, pitch, yaw* berturut-turut (106.859102,-6.337270,1500,0,0,0) kemudian di-plot pada google maps menghasilkan koordinat output untuk 1 baris dengan jumlah piksel sebanyak 2048 piksel berupa koordinat *longitude, latitude, row* (nomor piksel dalam 1 *line*), *column* (nomor *line*) berturut-turut (106.86465236,-6.33728989072,0,0 ..... s.d ..... 106.85355164,-6.33728989072,2047,0). Titik lokasi pada input merupakan *center* atau pusat data citra dalam 1 baris/*line*, dalam hal ini titik yang dimaksud adalah lokasi kantor Pustekdata LAPAN Jl. Lapan No. 70 Pekayon Pasar Rebo Jakarta Timur.

Dari koordinat output yang dihasilkan terlihat bahwa sebanyak 2048 piksel dalam 1 baris sensor telah memiliki koordinat geodetik *longitude* dan *latitude*. Hal ini terbentuk karena piksel detektor yang membentuk sebuah garis lurus (*an array*), maka gambar yang akan diberikan hanyalah berupa satu elemen garis gambar saja yang lebarnya sangat kecil atau bisa dianggap sebagai gambar 1-dimensi. Namun jika sensor diinginkan untuk memperoleh citra 2-dimensi, maka hal yang sama juga dapat disimulasikan untuk memperoleh nilai koordinat geodetik *longitude* dan *latitude* pada baris/*line* ke-2, ke-3 ... dst jika sensor kamera *pushbroom imager* digeser secara teratur pada tiap kali kamera mengambil gambar sesuai dengan ukuran lebar dari masing-masing garis gambar hingga bisa dibangun dan diperoleh data citra 2-dimensi. Hal ini menunjukkan bahwa simulasi *direct georeferencing* yang dilakukan telah mampu menghasilkan data citra yang *georeferenced* atau tertransformasi dari koordinat geografis geosentrik pada wahana sensor ke dalam bentuk koordinat geografis lintang bujur geodetik pada permukaan bumi. Seluruh tahapan dilakukan hingga memperoleh koordinat geodetik *longitude* dan *latitude* (bujur, lintang) citra pada permukaan bumi. Maka untuk selanjutnya dapat dikatakan bahwa *direct georeferencing* bisa dijadikan sebagai sebuah tahap awal untuk menghasilkan data atau citra yang terkoreksi secara geometrik sistematis dan terkode kepada sebuah peta (*geocoded image*).

## 5. KESIMPULAN

Telah dilakukan simulasi program *direct georeferencing* untuk menghasilkan data citra penginderaan jauh yang terkoreksi secara geometrik (*georeferenced*) dan terproyeksi pada permukaan bumi berdasarkan kaidah pemetaan (*geocoded*). Secara umum proses *direct georeferencing* merupakan proses memproyeksikan setiap titik sensor (piksel) pada permukaan bumi dengan prinsip interseksi. Namun untuk menggunakan interseksi, posisi sensor dan permukaan bumi harus berada pada suatu sistem koordinat yang sama. Maka operasi sensor terhadap sikap (*roll, pitch, yaw*) dilakukan pada sistem koordinat wahana (SKW) sedangkan operasi interseksi dilakukan pada sistem koordinat bumi (SKB). Dalam hal ini parameter input sensor dimasukan adalah jumlah piksel *linescan*, panjang fokus lensa (*focal length*), *image length* dan panjang baris sensor. Sedangkan parameter WGS84 yang dimasukan adalah radius ekuator, radius kutub bumi dan *eccentricity* ( $e^2$ ). Output akhir yang dihasilkan adalah berupa koordinat geodetik *latitude* dan *longitude* untuk setiap piksel pada data citra. Hasil simulasi *direct georeferencing* yang dilakukan telah mampu menghasilkan data citra yang *georeferenced* atau tertransformasi dari koordinat geografis geosentrik pada wahana sensor ke dalam bentuk koordinat geografis lintang bujur geodetik pada permukaan bumi. Proses ini merupakan sebuah tahap awal yang bermanfaat untuk menghasilkan data atau citra yang terkoreksi secara geometrik sistematis dan terkode kepada sebuah peta (*geocoded image*).

## DAFTAR PUSTAKA

- Rizaldy A, Firdaus W (2012). Direct Georeferencing : A New Standard In Photogrammetry For High Accuracy Mapping, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXIX-B
- Poli D (2005). Modelling of spaceborne Linear Array Sensors, Dissertation, Swiss Federal Institute Of Technology Zurich
- Jacobsen K (2002). Calibration Aspects in Direct Georeferencing of Frame Imagery. Pecora 15/Land Satellite Information, Denver, USA
- Jacobsen K, Helge W (2004). Dependencies and Problems of Direct Sensor Orientation. Proceedings of ISPRS Congress Commission III
- Hutton J (2005). 10 Years of Direct Georeferencing For Airborne Photogrammetry, Photogrametric Week

- Schroth R (2004). Direct Geo-Referencing in Practical Applications, ISPRS workshop WG 1/5 about Theory, Technology and Realities of Inertial/GPS Sensor Orientation, Barcelona, Spain
- Jovanovic VM, Scott A. Lewicki, Smyth MM, Zong J, Korechoff RP (1999). MISR (Multi-angle Imaging Spectro-Radiometer) Level 1 Georectification and Registration Algorithm Theoretical Basic, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology