

## TEKNOLOGI RADAR INTERFEROMETRI UNTUK PENGADAAN MODEL PERMUKAAN BUMI DIJITAL

Oleh  
Ishak Hanafiah Ismullah

Staf Pengajar Departemen Geodesi FTSP, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

### INTISARI

*Teknologi Radar, terus berkembang dengan pesat hingga saat ini. Peluncuran satelit ERS-1 pada tahun 1991 dilanjutkan dengan satelit ERS-2 pada tahun 1995 dan diteruskan dengan misi ENVISAT pada akhir tahun 2001 dengan mengandalkan sensor aktif yang disebut ASAR (Advanced Synthetic Aperture Radar), peluncuran SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) serta pengembangan sistem sensor aktif dengan pesawat terbang, menunjukkan betapa pentingnya sistem yang sangat menjanjikan ini untuk dimanfaatkan dan dikembangkan untuk misi-misi yang erat dengan masalah pengadaan data spasial.*

*Sekitar 15% hingga 20% wilayah Indonesia hampir sepanjang tahun tertutup awan, dan ini menyebabkan belum terselesaikannya pembuatan peta rupabumi untuk wilayah-wilayah tersebut. Tulisan berikut ini menjelaskan secara umum bagaimana kita mendapatkan model permukaan bumi digital, khususnya dengan menggunakan teknologi Radar Interferometri, yang sering dikenal dengan INSAR.*

*Kata kunci: INSAR, Radar Apertur Sintetik Interferometri, DTM, Modeli permukaan bumi digital.*

### PENDAHULUAN

Sejak gagalannya satelit SEASAT yang membawa sensor Radar pada tahun 1979, beberapa negara maju saling berlomba mencoba meneruskan misi SEASAT tersebut, masing-masing Canada dengan RADARSAT, konsorsium Eropa dengan ERS-1 dan ERS-2 serta ENVISAT, Jepang dengan JERS, Amerika dengan SIR-A dan B (*Shuttle Imaging Radar*) dan tahun 2000 yang lalu misi Endeavour meluncur dengan SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) dengan misinya menggunakan teknologi INSAR dengan hasil yang mengagumkan, meskipun masih ada sedikit kelemahan.

Disamping misi dengan wahana antariksa/satelit (*spaceborne*), misi-misi dengan menggunakan wahana pesawat terbang (*Airborne*) untuk teknologi Radar juga berkembang, khususnya teknologi INSAR, sebagai contoh adalah group dari Daimler Benz di Jerman, INTERMAP dari Amerika, Terra Matrix dari Jepang dan Pharus di Belanda dll.

## KONDISI DI INDONESIA

Indonesia sebagai negara tropis, mempunyai karakter meteorologi dan iklim yang sangat spesifik dibandingkan dengan negara-negara tropis lainnya. Hal ini karena Indonesia terletak diantara dua benua dan dua samudera dan Indonesia merupakan negara kepulauan yang sebagian besar wilayahnya merupakan perairan (72 %). Sebagai akibat dari lokasi Indonesia yang berada di sekitar ekuator yang berada pada rentang sekitar 7 derajat lintang utara hingga 11 derajat lintang selatan, maka hampir sepanjang tahun, angin monsun (*monsoon*) melewati Indonesia baik dari utara setelah melalui laut cina selatan maupun dari selatan setelah melewati samudera Hindia. Karena angin monsun ini melewati perairan yang sangat luas, maka uap air akan terbawa oleh angin ini di daerah Indonesia. Dengan adanya angin global sepanjang tahun, pembentukan awan tak terhindarkan dan sangat dominan, hal ini terjadi hampir di semua wilayah Indonesia.

Tabel 1 berikut ini menunjukkan kondisi liputan awan rata-rata per tahun di Indonesia, ditunjukkan berdasarkan persentase liputan awan dan persentase luas wilayah Indonesia.

**Tabel 1. Persentase Luas Wilayah Indonesia yang tertutup awan (Rais 1989)**

Tingkat	Liputan awan (%)	Luas wilayah Indonesia (%)
1	0 10	3,18
2	0 30	10,87
3	0 60	21,06

Selama ini, pemetaan topografi di Indonesia dilakukan dengan metoda fotogrametri, dengan menggunakan foto udara sebagai data masukan. Pengukuran langsung ke lapangan hanya dilakukan untuk mendapatkan posisi titik-titik kontrol medan.

Berdasarkan data dari Tabel 1 diatas dan dari Departemen Meteorologi dan Geofisika Institut Teknologi Bandung, ternyata persentase liputan awan yang cukup besar tersebut berada di sebagian Sumatera, Kalimantan dan Papua, sehingga sangat sulit didapat kondisi yang baik untuk pelaksanaan pemotretan udara. Hal ini karena sepanjang tahun, hanya beberapa hari saja didapat kondisi cerah yang benar-benar memungkinkan untuk pemotretan udara.

Dengan adanya keterbatasan citra optik, dimana panjang gelombang yang digunakan sangat pendek dan tidak mampu menembus awan, maka diharapkan teknologi Radar dapat mengatasi keterbatasan/kendala citra optik ini.

## PENCITRAAN RADAR

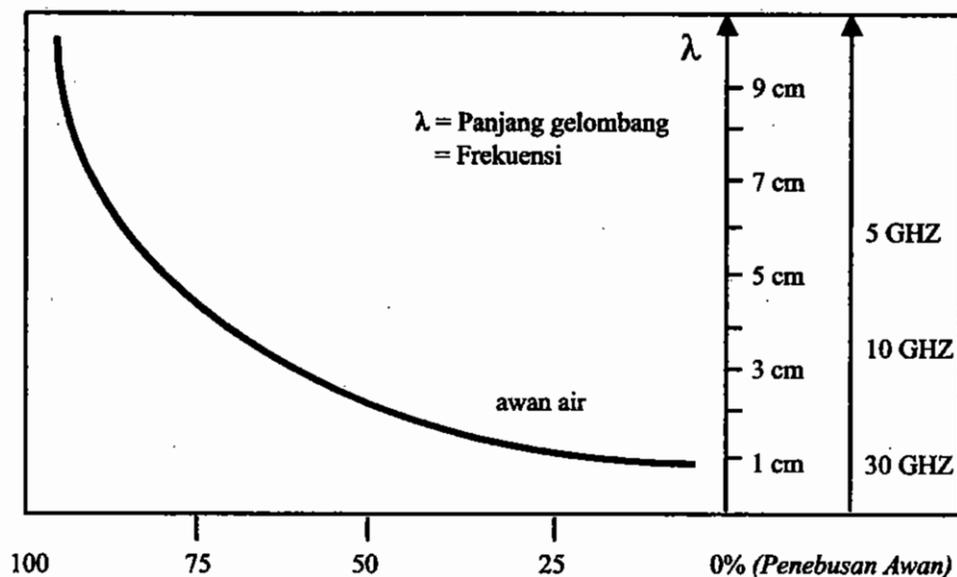
Pencitraan Radar bekerja hampir sama dengan pemotretan/pencitraan kamera optik menggunakan pencahayaan (*Flash/Blitz*) dimana cahaya pantul yang dipantulkan obyek, diterima kembali oleh kamera dan direkam dalam film. Pada sistim Radar, sensor mengirim sinyal ke obyek dan sinyal pantulnya diterima kembali oleh sensor yang sama, sehingga sering disebut dengan sistem aktif.

Karena panjang gelombang yang digunakan cukup besar, maka sistim ini dapat menembus awan. Tabel 2 berikut ini menunjukkan panjang gelombang dan frekuensi yang digunakan dalam penginderaan jauh, sedang Gambar 1 adalah hubungan antara panjang gelombang elektromagnetik dengan penembusan awan.

**Tabel 2 Panjang Gelombang dan Frekuensi yang digunakan sistim radar pada Penginderaan Jauh**

Saluran	Panjang Gelombang	Frekuensi
Ka	0,8 1,1	40.000 26.500
K	1,1 1,7	26.500 18.000
Ku	1,7 2,4	18.000 12.500
X	2,4 3,8	12.500 8.000
C	3,8 7,5	8.000 4.000
S	7,5 15,0	4.000 2.000
L	15,0 30,0	2.000 1.000
P	30,0 100,0	1.000 - 300

Pada awalnya panjang antena menentukan resolusi spasial pada arah sepanjang lintasan wahana (*Azimuth*), makin panjang antena, makin tinggi resolusi yang dicapai (makin teliti). Akan tetapi penempatan antena yang panjang merupakan kendala, karena sangat sulit menempatkan antena yang panjang (lebih dari 4 meter) di wahana, apalagi wahana tersebut pesawat terbang. Sehubungan dengan hal tersebut, berkembang sistim baru yang dikenal dengan Radar Apertur Sintetik (*Synthetic Aperture Radar*), yaitu pemanfaatan antena yang pendek dan teknik ini menggunakan efek doppler, yaitu mengkombinasikan sinyal pantul (*echoes*) yang diterima oleh sistim radar sepanjang lintasan penerbangan, diolah sedemikian rupa hingga seolah-olah kita menggunakan antena yang panjang. Sistim SAR ini terus dikembangkan dan selalu di usahakan untuk mendapatkan informasi sedetail mungkin dari obyek yang diinderanya.



Gambar 1. Hubungan Panjang Gelombang dengan Penembusan awan

### RADAR INTERFEROMETRI

Pengembangan teknik ini pada awalnya dilakukan oleh group yang ada di JPL (*Jet Propulsion Laboratory*), dimana sistim SAR dikembangkan dengan menggunakan dua antenna yang dicoba dipasang di pesawat terbang, baik melintang pesawat (*across track*) maupun memanjang pesawat (*along track*) pada tahun 1984. Jarak antara kedua antenna sering disebut Basis (*Baseline*), dimana basis ini menjadi sangat penting dan sangat berpengaruh terhadap pengolahan INSAR.

Prinsip utama dari Radar Interferometri adalah, sensor radar memancarkan gelombang mikro ke permukaan bumi melalui salah satu antenna dan sinyal pantulnya di terima oleh kedua antenna pada pesawat tersebut.

Sinyal yang diterima oleh antenna radar terdiri dari amplitudo, yang sangat tergantung dari intensitas dari sinyal pantul dari permukaan bumi, serta fasa. Dengan diketahuinya panjang gelombang dari radiasi yang dipancarkan, fasa yang terekam dapat diperhitungkan untuk mengukur jarak.

Dengan diketahuinya jarak antara pesawat dengan obyek serta jarak antara kedua antenna, maka selalu dapat dihitung tinggi suatu obyek di atas suatu referensi tertentu, berdasarkan beda fasa yang dihasilkan antara pencitraan pertama (*Master*) dan pencitraan kedua (*Slave*).

## PENGOLAHAN INSAR

Pada dasarnya secara umum pengolahan INSAR dibagi menjadi beberapa bagian utama, masing-masing adalah,

- a. Registrasi citra
- b. Pembentukan interferogram
- c. Pengolahan phase unwrapping
- d. Konversi dari fasa ke tinggi
- e. Pengolahan Geo-coding

Sampai saat ini masih banyak dilakukan penelitian untuk mendapatkan hasil sebaik mungkin, dengan mempelajari faktor-faktor kesalahan, baik pada sistim pencitraan maupun pengolahan serta faktor-faktor eksternal yang mempengaruhi hasil akhir.

### Registrasi Citra

Seerti ditulis sebelumnya, pencitraan untuk INSAR harus dilakukan dua kali, dapat sekaligus dengan dua antena (dengan pesawat terbang) atau satu antena tapi dilakukan dua kali pencitraan di area yang sama. Oleh karena itu pertama-tama harus dipilih sepasang citra SAR yang sesuai, dalam hal ini kedua citra mencakup area yang sama dan perbedaan waktu antara kedua pencitraan tidak terlalu lama (dalam penggunaan satu antena), karena jika waktunya terlalu lama, akan terjadi perubahan liputan lahan di area yang di indera dan ini berakibat mengganggu terbentuknya interferogram. Disamping itu juga harus dipilih jarak antara kedua antena (basis) hingga didapat hasil yang baik. Registrasi citra dalam pengolahan INSAR merupakan suatu usaha untuk "mencocokkan" citra pertama dan citra kedua. Proses ini sangat menentukan hasil akhir, karena disini akan ditunjukkan apakah pengolahan INSAR ini dapat dilaksanakan atau tidak.

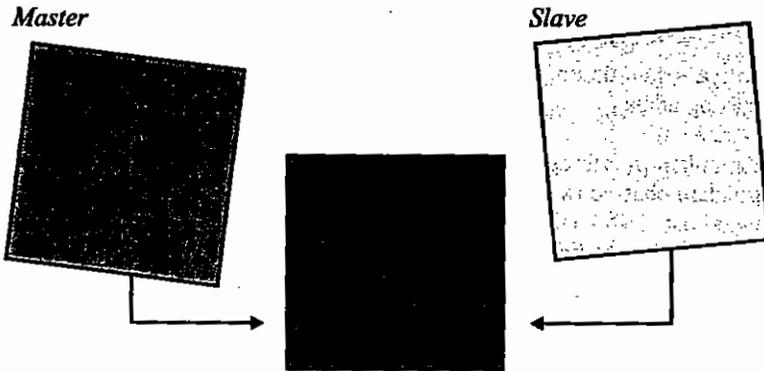
Kecocokan/korelasi antara citra pertama dan citra kedua dinyatakan dengan koherensi ( $\gamma$ ), dimana nilai koherensi ini adalah antara 0 dan 1. ( $0 \leq \gamma \leq 1$ ).

Jika nilai koherensi ini = 1 maka kedua citra benar-benar identik, tapi hal ini sangat jarang terjadi. Untuk pengolahan INSAR, hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai koherensi akan cukup baik jika menunjukkan nilai lebih besar dari 0,2.

Hal-hal yang mempengaruhi korelasi dalam proses registrasi adalah :

1. Bentuk topografi
2. Deformasi
3. Pengaruh waktu
4. Kondisi atmosfer
5. Karena Orbit/wahana
6. Suhu
7. Liputan lahan, dll

Secara umum proses registrasi adalah sebagai berikut, seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses registrasi

### Pembentukan Interferogram

Interferogram didefinisikan sebagai hasil perkalian nilai kompleks suatu citra SAR tertentu (*slave image*) dengan kompleks konjugasi dari citra utama (*master image*), berarti amplitudo dari piksel-piksel sekutu dirata-ratakan dan harga fasa untuk setiap titik/piksel di citra dihitung.

Untuk menghitung Interferogram digunakan hubungan sebagai berikut,

$$I = \{C_1, C_2^*\}$$

dimana,  $\{C_1, C_2^*\}$  = Perkalian kompleks konjugasi

$I$  = Interferogram dalam bentuk bilangan kompleks

$C_1$  = Citra utama (*master image*) dalam bentuk kompleks

$C_2$  = Citra kedua (*slave image*) dalam bentuk kompleks

Atau dalam bentuk lain, fasa relatif dapat dihitung sebagai berikut,

$$\hat{\phi} = \arctan \left\{ \frac{\text{Imaginer}(C_1, C_2^*)}{\text{Reil}(C_1, C_2^*)} \right\}$$

### Pengolahan Phase unwrapping

*Phase unwrapping* dua dimensi merupakan salah satu tahap penting dalam pengolahan Radar Apertur Sintesa Interferometri (INSAR). Seperti telah dibicarakan sebelumnya, bahwa interferogram terdiri atas informasi fasa, dan ternyata hal ini berkaitan erat dengan kondisi topografi. *Phase unwrapping* merupakan cara untuk menyelesaikan ambiguitas 2, karena fasa hanya berada pada rentang 0 hingga 2

atau antara  $-\pi$  hingga  $\pi$ , sehingga fasa interferometri hanya dapat diukur dalam kelipatan  $2\pi$ , dan harga integer  $k$  tidak diketahui.

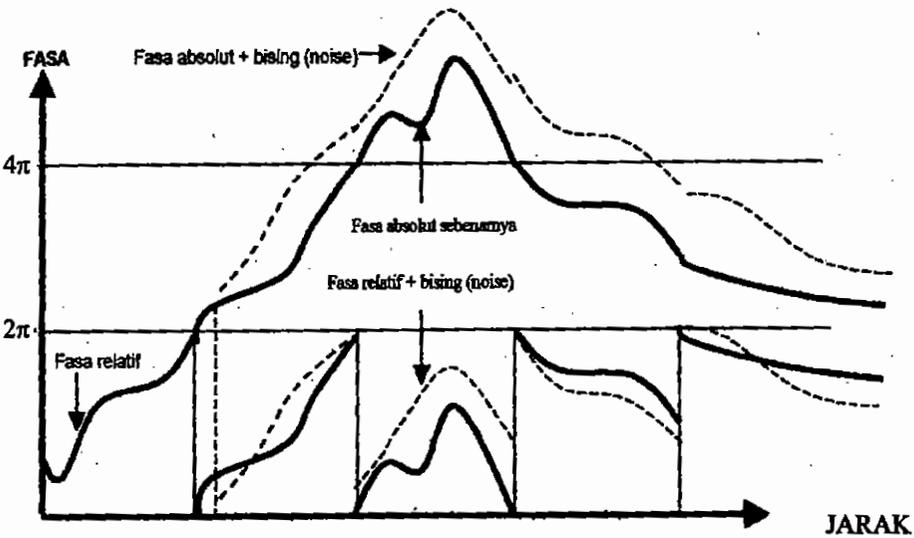
Dalam bentuk umum dapat dituliskan,

$$\phi = \hat{\phi} + k.2\pi$$

dimana,  $\phi$  = Fasa absolut  
 $\hat{\phi}$  = Fasa relatif

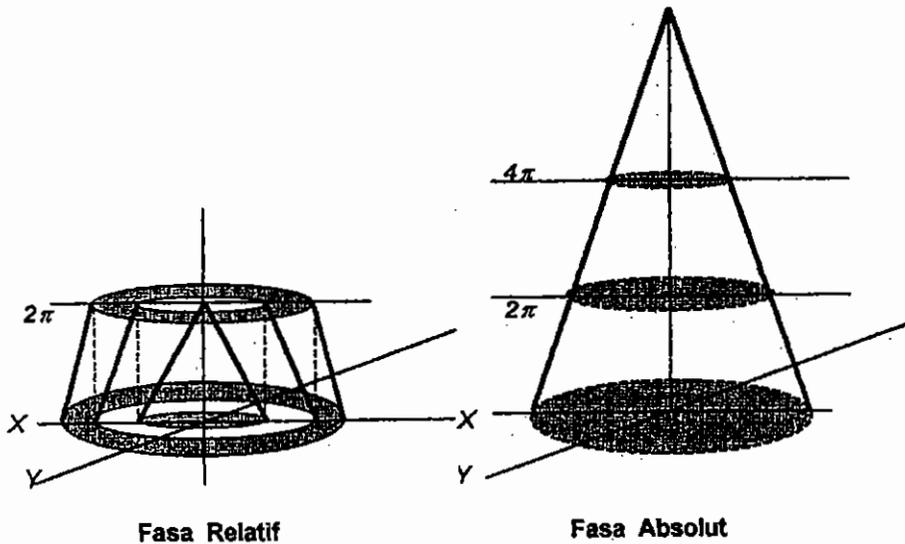
untuk menentukan nilai tinggi setiap piksel, perlu ditentukan harga fasa absolut .

Masalah utama dalam *phase unwrapping* adalah, bagaimana mendapatkan fasa interferometri (fasa relatif) sebaik mungkin, hal ini diakibatkan oleh berbagai faktor yang berpengaruh pada korelasi antara citra pertama dan kedua yang disebutkan pada proses registrasi citra. Secara umum proses pengolahan *Phase unwrapping* adalah sebagai berikut (Gambar 3).



Gambar 3. Proses pengolahan phase unwrapping

Untuk penerapan Phase unwrapping dalam dua dimensi, secara umum dapat ditunjukkan pada Gambar 4



Gambar 4. Phase unwrapping dalam dua dimensi

### KONVERSI FASA MENJADI TINGGI

Dari pengolahan *Phase unwrapping* didapat fasa absolut yang merupakan fasa masukan untuk mendapatkan tinggi dari setiap piksel.

Karena yang dihasilkan dalam pengolahan phase unwrapping adalah fasa absolut, maka harus dilakukan konversi dari harga fasa menjadi tinggi. Konversi ini dilakukan dengan tahap-tahap sebagai berikut,

1. Hubungan fisika
2. Hubungan geometri
3. Gabungan hubungan fisika dan hubungan geometri
4. Beda tinggi
5. Tinggi sebagai fungsi fasa interferometri

Setelah dilakukan konversi fasa menjadi tinggi, dilakukan integrasi untuk seluruh pixel, sehingga gabungan seluruh pixel ini akan membentuk model tinggi digital, yang kemudian dapat diturunkan juga garis kontur untuk wilayah yang dicakup.

Dengan sendirinya model tinggi digital masih dalam bentuk "relatif", karena belum terikat oleh referensi apapun, sehingga untuk itu perlu dilakukan pengolahan berikutnya, untuk mendapatkan model tinggi digital ber-georeferensi, pengolahan tersebut sering disebut dengan proses *geo-coding*.

## PENGOLAHAN GEO-CODING

*Geo-coding* merupakan proses agar model tinggi digital yang terbentuk menjadi model yang ber-geo-referensi, dengan demikian model tersebut terikat pada referensi yang ada. Untuk pengolahan *Geo-coding* pada SAR Interferometri satelit, prinsipnya adalah,

1. **Doppler** : Posisi dari suatu titik P di permukaan bumi terletak tegak lurus terhadap orbit satelit, karena akibat kondisi zero-doppler.
2. **Range** : Jarak dari sensor ke P di permukaan bumi adalah sama dengan kecepatan cahaya dikalikan waktu penjalaran yang di perlukan dari sensor ke P dan kembali ke sensor.
3. **Ellipsoid** : Dipilih Ellipsoid tertentu sebagai referensi, misalnya WGS'84.

Dari pengolahan *Geo-coding* akan didapat posisi lintang, bujur dan tinggi sementara dari setiap pixel, kemudian dengan menggunakan titik-titik kontrol, dilakukan transformasi koordinat menjadi sistim koordinat peta. (Misalnya Universal Transverse Mercator UTM). Sedang untuk tingginya, dilakukan juga transformasi sekaligus bersama dengan transformasi planimetris, yaitu dengan melakukan transformasi 3 dimensi.

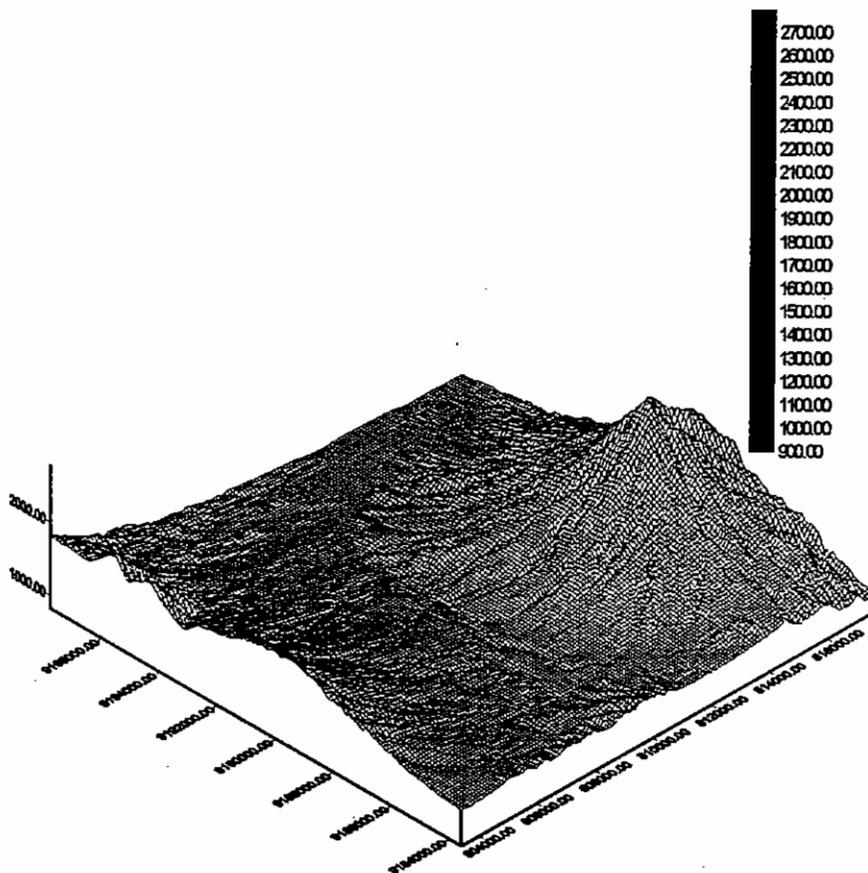
## KESIMPULAN

Dari uraian diatas, dapat disimpulkan bahwa radar interferometri karena dapat mencakup area yang luas maka dapat digunakan untuk menunjang kegiatan-kegiatan yang menyangkut area yang luas, antara lain, Pemetaan, Perencanaan wilayah dan tata ruang, penelitian deformasi, monitoring gunung api, penurunan lahan dan lain-lain.

Secara umum teknologi ini sangat menjanjikan., terutama untuk mereka yang berkecimpung di lingkup Perencanaan wilayah, Teknik Sipil, Teknik Geodesi, Geografi, Geologi, serta teknik Geo fisika.

Dari hasil yang disebarakan, Endeavour mengoperasikan radar interferometri dengan menggunakan band X dan band C, pertanyaannya adalah, apakah misi tersebut juga mengoperasikan dengan panjang gelombang yang lebih besar atau panjang gelombang yang lebih kecil ?

Hal ini penting, karena dengan panjang gelombang lebih besar atau panjang gelombang lebih kecil, akan diketahui tambahan informasi lain yang cukup penting. Dengan diluncurkannya satelit ENVISAT oleh konsorsium Eropa, dimana satelit ini membawa sensor aktif *ASAR (Advanced Synthetic Aperture Radar)* dengan kemampuan pengarahan sudut masuknya dapat diatur, diharapkan hasilnya akan makin menarik.



**Gambar 5. Model tinggi permukaan digital daerah Gunung Cikuray Jawa Barat**

## DAFTAR PUSTAKA

- CNES, 2000. INSAR : Theory and Applications, *Workshop materials*, BPPT 8-16 November 2000, Jakarta, Indonesia.
- CNES, 1999. *ERS-1 and ERS-2 Missions*. Workshop and Seminar, Denpasar Bali, 26 April-4 May 1999, Bali, Indonesia.
- Goldstein, R.M., H. Zebker and C. Werner, 1988. Satellite radar interferometry Two-dimensional phase unwrapping, *Radio Science*, 23(4):713-720.
- Hanssen, R., 2001. *Radar Interferometry Data Interpretation and Error Analysis*, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands.
- Hartl, P., 1996. *Synthetic aperture radar, theory and applications*, Faculty of Geodesy Delft University of Technology, Lecture Note.
- Ismullah, Ishak H., 1997. Phase unwrapping in Synthetic Aperture Radar as cost flow minimization problem, *Technical Report Faculty of Geodesy*, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.
- Ismullah, Ishak H., 2002. Model Tinggi Permukaan Dijital hasil pengolahan Radar Interferometri satelit untuk wilayah berawan, studi kasus Gunung Cikurai-Jawa Barat, *Disertasi doktor*, Institut Teknologi Bandung.
- Klees, R and R. Hanssen, 1999. An empirical model for the assessmen of DEM accuracy degradation due to vertical atmospheric stratification, *Second International Workshop on ERS SAR interferometry, 10-12 November 1999*, Liege, Belgium.