

BAB II

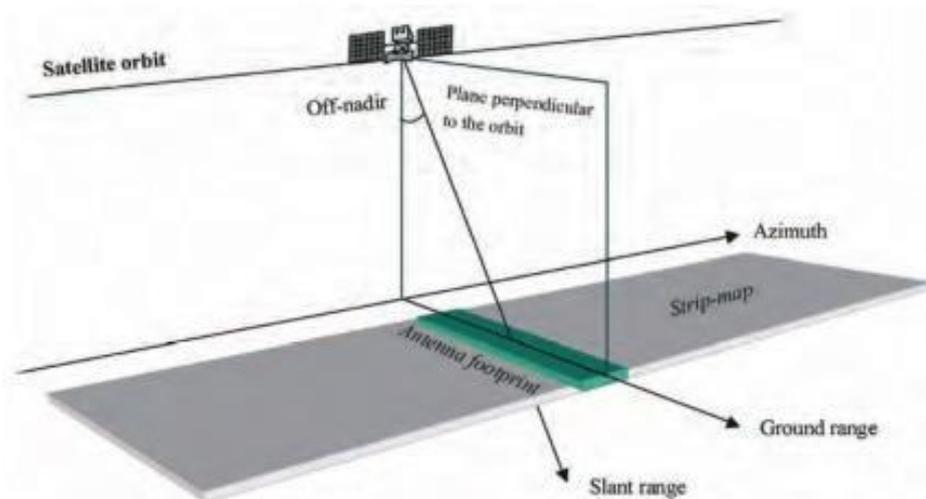
TINJAUAN PUSTAKA

1.1. *Synthetic Aperture Radar (SAR)*

Pengamatan dengan media satelit bersensor aktif atau dikenal dengan *Synthetic Aperture Radar (SAR)* menggunakan gelombang *microwave* yang memiliki panjang gelombang lebih panjang sehingga mampu menembus awan.. SAR mampu melakukan pencitraan/akuisisi data pada saat malam hari dengan menggunakan sistem aktif. [1] Sistem ini akan menghasilkan gelombang yang akan dipancarkan secara terus menerus.

i. Sistem Pencitraan Satelit SAR

Sistem pencitraan SAR bekerja dengan cara mengarahkan antena radar ke arah bumi tegak lurus dengan dengan rotasinya. Sinyal yang dipancarkan membentuk sudut pancaran sebesar 20 hingga 50 derajat (23 derajat untuk satelit ERS) dari sumbu nadirnya sudut ini disebut *incident angle*. Untuk mengimbangi rotasi dari bumi maka pencitraan SAR dimiringkan dan membuat hasil citra terlihat lebih panjang dengan jarak kemiringan tertentu (*slant range*) [2]. Sistem pencitraan satelit SAR dapat dilihat dalam ilustrasi gambar 2.1. Sistem pencitraan satelit SAR berikut:



Gambar 2.1. Sistem pencitraan satelit SAR [2]

Sistem SAR menggunakan gelombang elektromagnetik yang tidak dihasilkan oleh bumi dan aman untuk lingkungan. Gelombang ini termasuk kedalam gelombang mikro dan menggunakan band tertentu dalam penggunaannya. [2] Antara lain sebagai berikut:

- C – band, memiliki frekuensi sebesar 5,3 GHz digunakan oleh ESA's ERS and Envisat, misi luar angkasa Amerika Serikat.
- L – band, memiliki frekuensi sebesar 1,2 GHz digunakan oleh The Japanese J-ERS dan ALOS.
- X – band, memiliki frekuensi sebesar 10 GHz digunakan oleh The German-Italian X-SAR dalam misi luar angkasa.

Satelit melakukan pencitraan bumi dengan bergerak sesuai dengan orbitnya atau disebut juga *Satellite orbit*. Pergerakannya sesuai dengan arah *azimuth* melakukan pencitraan pada daerah permukaan dalam jangkauan *incident angle*. Daerah yang berada dalam sapuan pencitraan disebut *ground range* dan jarak miring dari pencitraan disebut *slant range*. [2]

ii. Bilangan Kompleks Pada Citra Saletit SAR

Citra satelit SAR terdiri dari sunanan pixel yang tersusun berdasarkan baris dan kolom. Setiap pixel mempresentasikan gambaran muka bumi dengan ukuran dimensi panjang dan lebar tertentu disebut juga dengan *resolution cell*. Setiap pixel memiliki nilai kompleks yang mempresentasikan objek yang dipermukaan bumi. [2] Bilangan kompleks yang dimaksud adalah hasil dari *backscterring* gelombang yang diterima kembali setelah dipantulkan. Nilai komplek berisi besar amplitudo dan sudut *phasa* gelombang yang diterima.

Pada satelit ERS memiliki *resolution cell* dalam satu arah azimuth sebesar 5 meter atau 9,5 meter dalam *slant range*. Sedangkan jarak anatar dua azimuth berdekatan

memiliki jarak 4 meter dan 8 meter dalam *slant range*. Dikarenakan dalam setiap azimuth terdapat tumpang tindih. [2]

1.1.1.1. Pengaruh Amplitudo Pada Citra Satelit SAR

Objek di permukaan bumi dalam citra satelit SAR diidentifikasi berdasarkan perhitungan dari amplitudo gelombang yang diterima dari proses *backscattering* dalam satu *resolution cell*. [2] Amplitudo memberikan penilaian terhadap kekasaran dan sifat kimia objek yang memantulkannya. Pada objek kimia padat dan memiliki tingkat resapan kecil akan memberikan pantulan amplitude yang besar. Seperti batuan, pemukiman dan lahan kosong. Pada objek yang memiliki sifat kimia cair dan memiliki resapan tinggi memberikan nilai amplitudo yang kecil. Objek yang memiliki

Pada citra satelit SAR setiap pixel digambarkan melalui tingkatan kegelapan pixel. Pixel yang memiliki pantulan *backscatter* tinggi akan memiliki warna cerah. Sedangkan pada pixel yang memiliki pantulan *backscatter* rendah akan berwarna gelap. Sebagaimana dalam gambar 2.2. Warna citra satelit SAR berupa tingkatan kegelapan berikut ini.

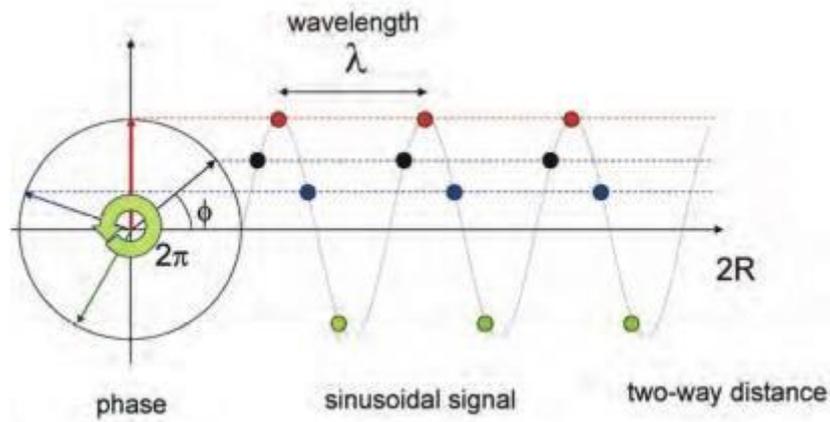


Gambar 2.2. Warna citra satelit SAR berupa tingkatan kegelapan [2]

1.1.1.2. Pengaruh Phasa Pada Citra Satelit SAR

Konsep penggunaan gelombang satelit SAR adalah dengan memanfaatkan *backscatter*. Gelombang yang dipancarkan dalam keadaan *slant range* oleh radar akan diterima kembali setelah memantul pada objek di bumi seperti tanah dalam selisih waktu tertentu.

Karena gelombang yang ditransmisikan bersifat sinusoidal sehingga dalam jeda waktu antar waktu gelombang dipancarkan dan diterima kembali (t) sebanding dengan perubahan fasa gelombang (ϕ) sama dengan jarak tempuh ($2R$) dibagi dengan panjang gelombang (λ) [2]. Diilustrasikan dalam gambar 2.3. Perubahan fasa sebanding dengan jeda waktu sebagai berikut.



Gambar 2.3. Perubahan fasa sebanding dengan jeda waktu [2]

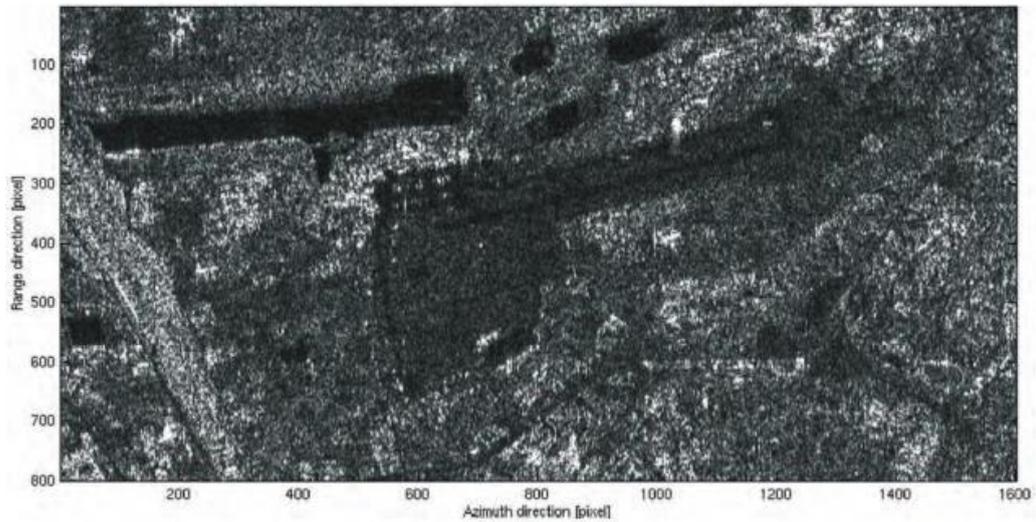
Namun pada penentuan posisi *phasa* terdiri dari bilangan bulat dan beda fasa. Sifat gelombang yang sinusoidal membuat perubahan phara dalam kisaran 0 – 360 derajat dalam satu panjang gelombang. Setelah berubah posisi dalam gelombang pertama gelombang akan mengulang posisi *phasa* dalam radian untuk gelombang kedua dan seterusnya [2]. Posisi akhir fasa menjadi beda fasa setelah berubah sebanyak panjang gelombang.

1.1.1.3. Efek *Speckle*

Munculnya beberapa hamburan *backscatter* dalam satu pixel menyebabkan efek yang disebut *speckle*. Efek ini biasa ditemui pada citra satelit SAR dan tidak ada dalam citra optis. [2] Daerah dataran yang homogen yang membentang sepanjang beberapa *resolution cell* (seperti daerah perkebunan luas dengan satu jenis tanaman) dicitrakan dalam amplitudo berbeda di *resolution cell* berbeda. Penampakan visual citra berupa tampilan titik hitam dan putih seperti butiran “garam dan merica” sesuai dengan besaran amplitudonya.

Efek *speckle* ini adalah efek yang muncul langsung dari beberapa hamburan-hamburan kecil (gelombang yang memiliki dimensi yang sama dengan panjang gelombang radar). Citra satelit yang mengandung efek *speackle* apat dilihat pada gambar 2.4. Efek *speckle* pada citra satelit ERS seperti butiran “garam dan merica”

dan bebas dari efek *speckle* pada gambar 2.5. Hasil gabungan beberapa citra satelit SAR ERS yang menghasilkan citra dengan *speckle* rendah.

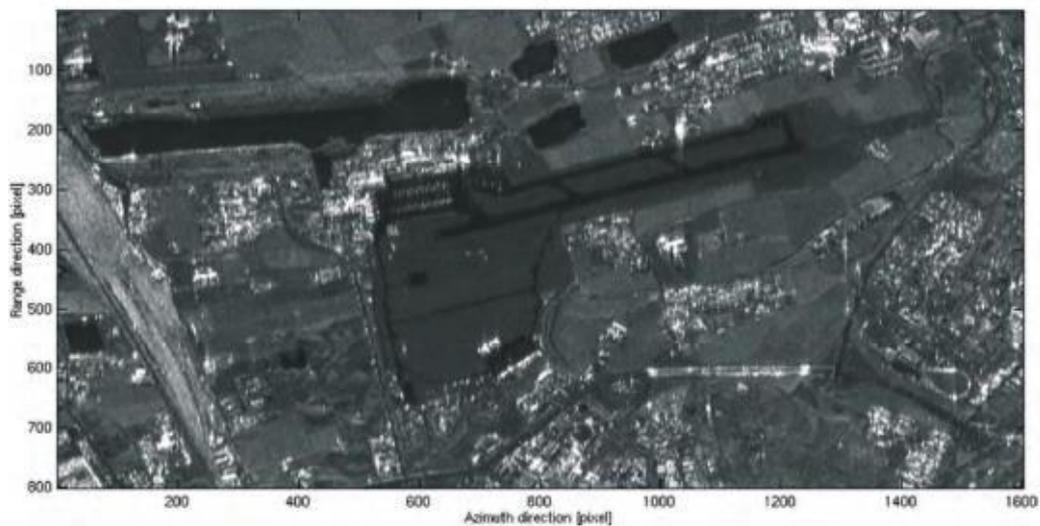


Gambar 2.4. Efek *speckle* pada citra satelit ERS seperti butiran “garam dan merica” [2]



Gambar 2.5. Pada citra satelit optik SPOT tidak ada terdapat *speckle* [2]

Speckle berdampak pada kualitas dan kemampuan mengidentifikasi objek dari citra SAR. Biasanya segmentasi permukaan akan terlihat tidak jelas. Namun dengan menggabungkan dua buah citra satelit yang sama dengan waktu berbeda atau dari sudut pandang yang sedikit berbeda, akan mengurangi *speckle*: biasanya pada beberapa citra akan membatalkan beberapa *variabilitas amplitudo* dan meningkatkan amplitudo yang memiliki keseragaman dapat dilihat pada gambar 2.6. Hasil gabungan beberapa citra satelit sar ers yang menghasilkan citra dengan *speckle* rendah.

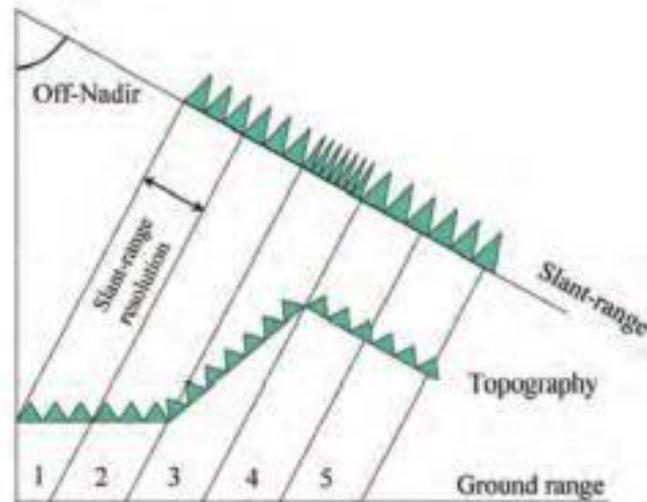


Gambar 2.6. Hasil gabungan beberapa citra satelit sar ers yang menghasilkan citra dengan *speckle* rendah. [2]

iii. **Proyeksi *Resokution Cell* Pada Permukaan Bumi**

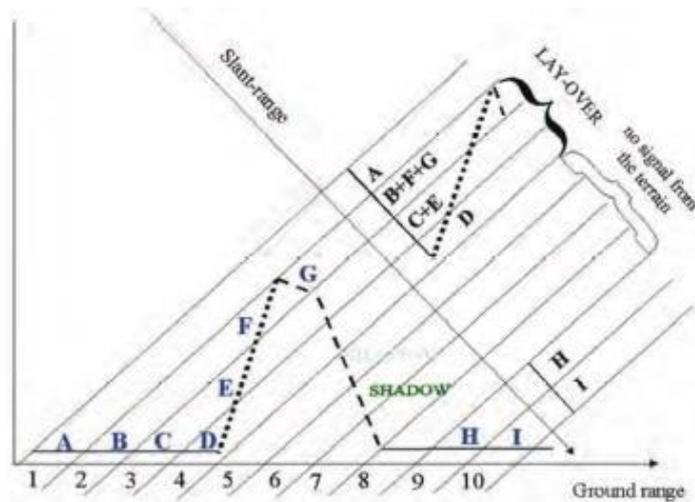
Area permukaan yang dicitrakan oleh SAR dalam satu *resolution cell* akan sangat bergantung pada kemiringan permukaan terhadap sumbu tegak lurus orbit dan kemiringan terhadap arah azimuth satelit. [2] Dimensi atau bentuk objek yang dicitra sangat bergantung terhadap penampakan perspektif pada citra dalam satu *resolution cell*. Penampakan perspektif seperti saat melihat sebuah kertas dari sudut 90 derajat maka terlihat seperti garis lurus.

Berikut adalah ilustrasi pengaruh dimensi terhadap penampakan objek dalam citra radar dalam satu *resolution cell* dapat dilihat pada gambar 2.7. Skema pencitraan dalam satu *resolution cell* oleh citra SAR.



Gambar 2.7. Skema pencitraan dalam satu *resolution cell* oleh citra SAR [2]

Pada permukaan miring terhadap bidang datar permukaan yang meghadap kearah datangnya gelombang (*Light of Sight*) menyebabkan objek terlihat lebih pendek. Efek ini disebut juga sebagai *foreshortening*. Pada kemiringan permukaan yang berlawanan dengan arah gelombang datang/LOS akan menghasilkan penampakan yang terbalik dimana puncak kemiringan akan terlihat dibawah dan dasar kemiringan akan terlihat keatas. Efek ini disebut dengan *layover*. Ilustrasi pada gambar 2.8. Pengaruh dimensi oleh efek persektf terhadap penampakan pada citra SAR dalam satu *resolution cell*. [2]



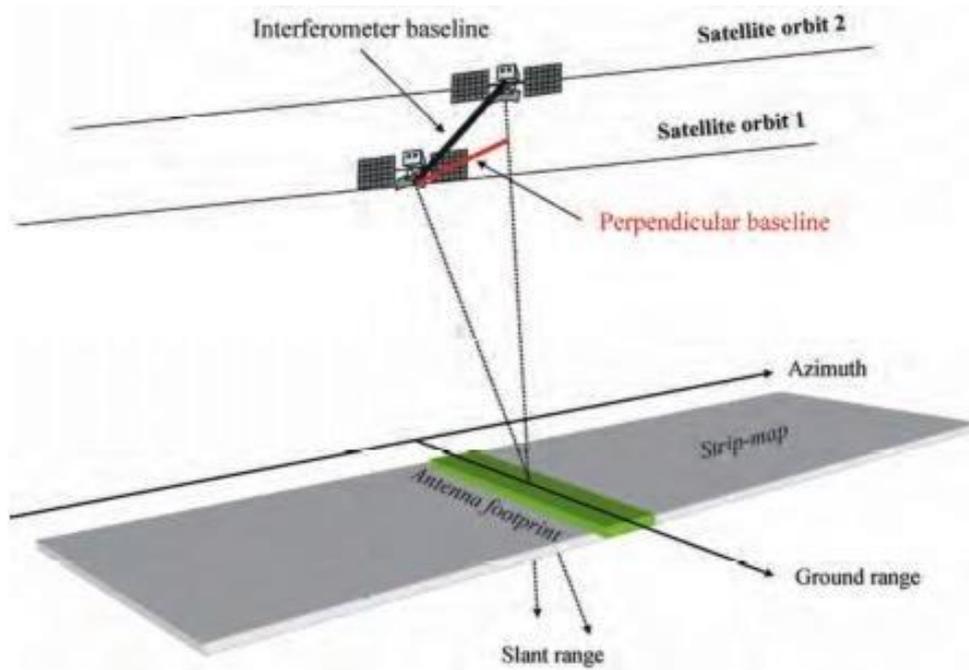
Gambar 2.8. Pengaruh dimensi oleh efek persektif terhadap penampakan pada citra SAR dalam satu *resolution cell* [2]

Sedangkan permukaan yang berada dibelakang dari kemiringan yang bertertutup oleh sudut LOS akan menghasilkan permukaan tidak terlihat atau disebut sebagai efek *shadow*. [2] Sehingga *line of sight* menjadi sudut kemiringan minimal untuk permukaan.

1.2. *Interferometry Synthetic Aperture Radar (InSAR)*

Satelit SAR dapat mengamati daerah yang sama dengan sudut pandang sedikit berbeda. Hal ini juga dapat dilakukan dengan cara menggabungkan dua buah citra satelit dengan waktu bersamaan atau dengan dengan waktu berbeda memanfaatkan selisih waktu rotasi satelit.

Jarak antara dua satelit (atau orbit satelit) berbeda tegak lurus ke orbit disebut dengan *interferometry baseline* dan sedangkan proyeksi tegak lurus dengan *slant range* disebut dengan *perpendicular baseline*. [2] Dapat diilustrasikan dalam gambar 2.9. Proyeksi posisi dua buah satelit dengan objek pengamatan sama berikut ini.



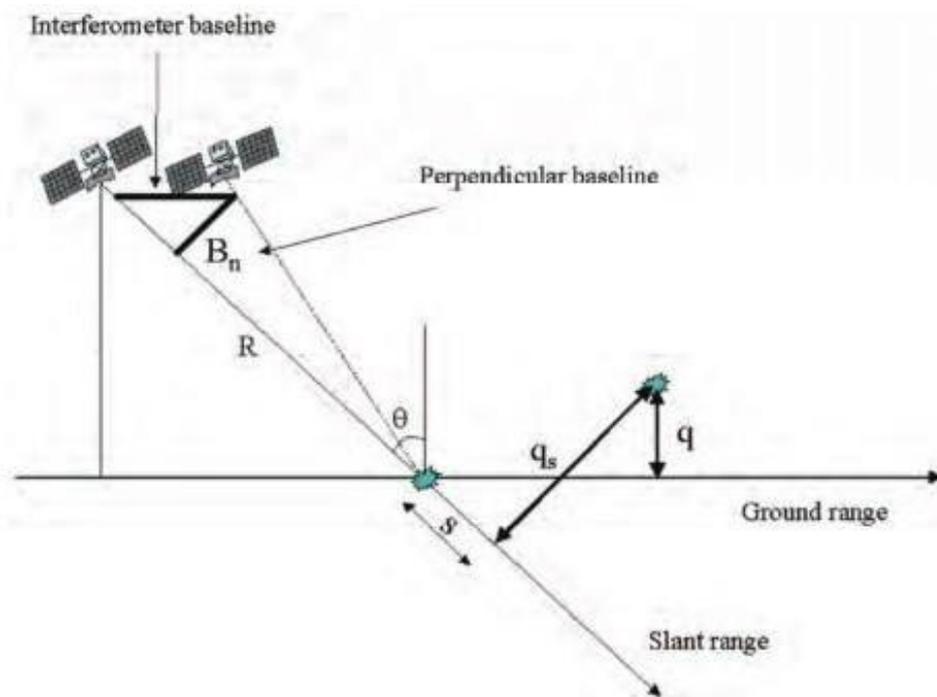
Gambar 2.9. Proyeksi posisi dua buah satelit dengan objek pengamatan sama [2]

Interferogram SAR dihasilkan oleh perkalian silang antar piksel citra SAR pertama dengan konjugat kompleks kedua. Dengan demikian, amplitudo interferogram adalah amplitudo dari citra pertama dikalikan dengan yang kedua, sedangkan fase (*interferometry phasa*) adalah perbedaan fase antara citra. [2]

iv. Pengukuran Ketinggian Dengan *Interferometry Phasa*

Asumsikan satu penyebar titik dominan di setiap sel resolusi tanah yang tidak berubah seiring waktu. Penyebar titik ini diamati oleh dua buah satelit SAR dari sudut pandang yang sedikit berbeda. Dalam hal ini *interferometry phasa* dari setiap piksel citra SAR hanya akan bergantung pada perbedaan jalur perjalanan dari masing-masing dua SAR ke *resolution cell* yang dipertimbangkan. [2]

Setelah titik referensi tanah telah diidentifikasi, variasi dari perbedaan jalur perjalanan atau yang menghasilkan perpindahan dari sel resolusi referensi ke yang lain dapat dirumuskan dengan sederhana (aproksimasi berlaku untuk baseline kecil dan *resolution cell* yang tidak terlalu berjauhan) yang tergantung pada beberapa parameter geometris. Parameter InSAR dapat diamati pada gambar 2.10. Parameter geometri dari satelit *interferometry synthetic aperture radar* berikut ini.



Gambar 2.10. Parameter geometri dari satelit *interferometry synthetic aperture radar* [2]

Parameter yang berlaku adalah:

1. Baseline Tegak Lurus B_n .
2. Jarak Objek R .
3. Perubahan posisi *Resolution Cell* sepanjang garis tegak lurus sateline ke *slant range* Δr .

Dengan aproksimasi dapat dirumuskan dalam persamaan 2.1. Beda jarak [2] dengan:

$$\Delta r = -2 \frac{B_n q_n}{R} \quad (2.1)$$

Variasi *Interferometry Phasa* ($\Delta\phi$) kemudian sebanding dengan beda jarak (Δr) dibagi dengan panjang gelombang yang ditransmisikan (λ) sehingga membentuk persamaan 2.2. Beda fasa citra satelit SAR [2] sebagai berikut:

$$\Delta\phi = \frac{2\pi\Delta r}{\lambda} = \frac{4\pi B_n q_n}{\lambda R} \quad (2.2)$$

1.2.1.1. *Interferogram Flattening*

Variasi fase *interferometry* dapat dibagi menjadi dua fungsi:

1. Variasi fasa sebanding dengan perbedaan ketinggian q antara target titik, disebut bidang referensi horizontal.
2. Variasi fase yang proporsional dengan perpindahan *slant range* dari target titik

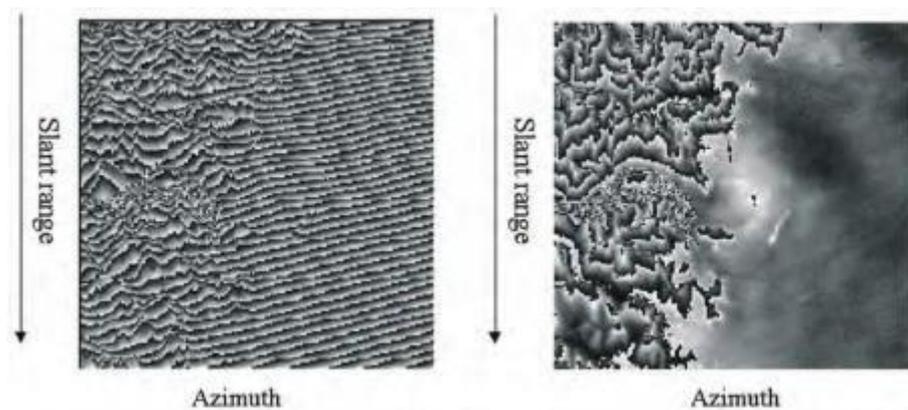
Variasi fase *interferometry* dapat dirumuskan dalam persamaan 2.3. *interferogram flattening* [2] berikut:

$$\Delta r = -\frac{4\pi B_n q}{\lambda R \sin \theta} - \frac{4\pi B_n S}{\lambda R \tan \theta} \quad (2.3)$$

Dimana θ adalah sudut *accident angle*.

Perlu dicatat bahwa *perpendicular baseline* diketahui dari data orbital yang tepat, dan fase kedua dapat dihitung dan dikurangi dari fase interferometrik. Operasi ini disebut *interferometry flattening*. Sebagai hasilnya proses ini menghasilkan peta fase yang sebanding dengan ketinggian medan relatif.

Sebagai contoh pada sebelah kiri adalah sebuah Interferogram dari sebagian Pegunungan Alpen Italia dan Pianura Padana yang telah diperoleh dari data citra ERS-1 dan ERS-2 (dengan jeda satu hari dan *baseline normal* 30 meter). Interferogram yang rata ditampilkan di sisi kanan. Di sini diskontinuitas fase menyerupai garis kontur. Ketinggian antara dua diskontinuitas yang berdekatan disebut ketinggian ambiguitas (simbol h_a) dan dapat dihitung dari parameter interferometer. [2] Dapat dilihat pada gambar 2.11. *Interferogram* citra satelit ERS-1 dan ERS-2 berikut ini.



Gambar 2.11. *Interferogram* citra Satelit ERS-1 dan ERS-2 [2]

2.2.1.2. Ambiguitas Ketinggian

Ketinggian ambiguitas h_a didefinisikan sebagai perbedaan ketinggian yang menghasilkan perubahan fase interferometrik 2π setelah *interferometry flattening*. Ketinggian ambiguitas berbanding terbalik dengan *perpendicular baseline* dapat dirumuskan seperti persamaan 2.4. Ketinggian terhadap *perpendicular baseline* [2] berikut:

$$h_a = \frac{\lambda \sin \theta}{2B_n} \quad (2.4)$$

Dalam kasus ERS dengan $\lambda = 5.6$ cm, $\theta = 23^\circ$, dan $R = 850$ km, maka berlaku ambiguitas ketinggian sebesar sehingga membentuk persamaan 2.5. Ambiguitas ketinggian citra satelit SAR [2] berikut:

$$h_a \approx \frac{9300}{B_n} \quad (2.5)$$

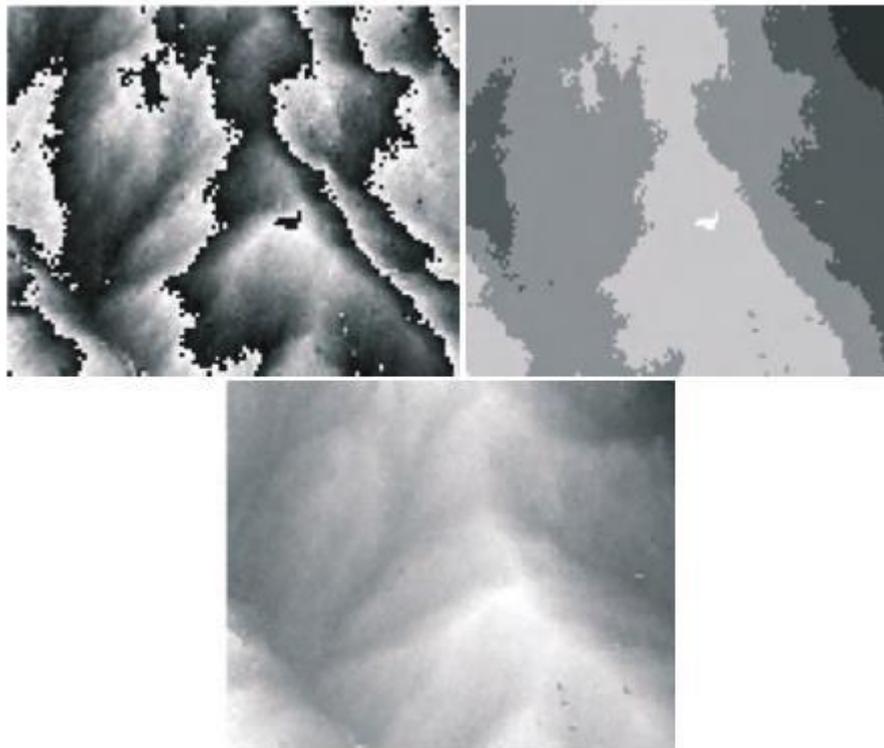
Sebagai contoh menggunakan *perpendicular baseline* sebesar 100 meter. Perubahan 2π dari fase interferometrik membentuk perbedaan ketinggian sekitar 93 meter. Prinsipnya semakin tinggi baseline, semakin akurat pengukuran ketinggian, karena *phase noise* setara dengan *altitude noise* yang lebih kecil namun akan ditunjukkan kemudian bahwa ada batas atas *perpendicular baseline*, di mana sinyal interferometrik saling berhubungan dan tidak ada *fringer* yang dapat dihasilkan. Kesimpulannya *perpendicular baseline* optimal yang memaksimalkan sinyal ke noise power ratio (di mana sinyal adalah ketinggian medan). Dalam kasus ERS, baseline optimal tersebut adalah sekitar 300-400 meter. [2]

2.2.1.3. Phase unwrapping dan DEM generation

Flattened interferogram memberikan pengukuran yang ambigu dari ketinggian permukaan relatif karena sifat siklik 2π dari fase interferometrik. Variasi fase antara dua titik pada *flattened interferogram* memberikan pengukuran variasi ketinggian yang sebenarnya, setelah menghapus sejumlah bilangan bulat dari ambiguitas

(setara dengan jumlah bilangan bulat dari siklus 2π integer fase). Proses menambahkan kelipatan bilangan bulat yang benar dari 2π ke *interferometric fringer* disebut *phase unwrapping*. [2]

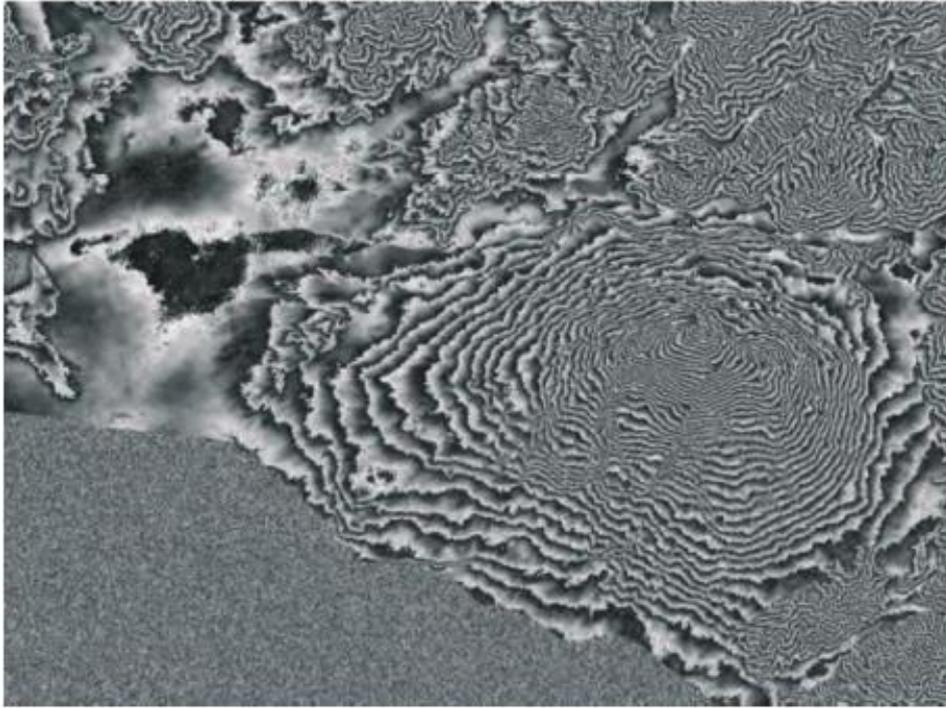
Contoh dari *phase unwrapping* ditunjukkan pada gambar berikut, di mana fase interferometrik SAR, *unwrapped version* dan peta dengan kelipatan bilangan bulat 2π yang ditambahkan ke fase asli ditunjukkan secara bersama-sama seperti gambar 2.12. *Phase unwrapping* dari citra satelit SAR berikut ini.



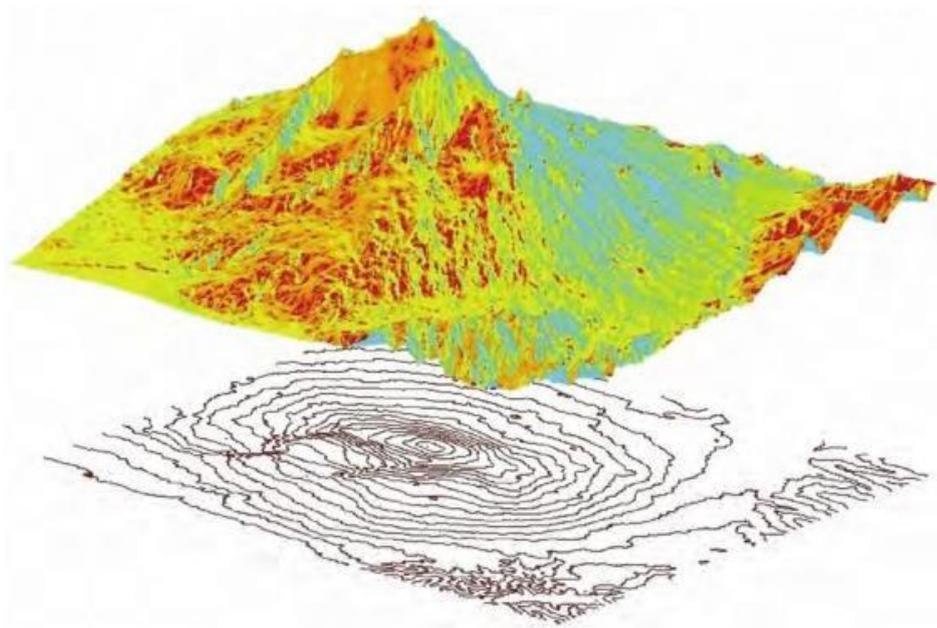
Gambar.2.12. *Phase unwrapping* dari citra satelit SAR [2]

Setelah *Phase Unwrapping*, peta elevasi dalam koordinat SAR diperoleh. Ini adalah langkah pertama menuju pembentukam DEM. Peta elevasi SAR kemudian harus dirujuk ke ellipsoid konvensional (misal WGS84) dan disampel ulang pada grid yang berbeda (misalnya UTM). [2] Proses *phase unwrapping* dapat dilihat pada gambar 2.13. *Flattened interferogram* dari pegunungan Mount Ethna, gambar 2.14.

Penampakan proses *phase unwrapping* menghasilkan DEM pada *flattened interferogram* Mount Ethna dan Gambar 2.15. Mount Ethna dari rata-rata beberapa sensor ERS SAR dalam bentuk DEM berikut ini.



Gambar 2.13. *Flattened interferogram* dari pegunungan Mount Ethna [2]



Gambar 2.14. Penampakan proses *phase unwrapping* menghasilkan DEM pada *flattened interferogram* Mount Ethna [2]



Gambar 2.15. Mount Ethna Dari Rata-rata Beberapa Sensor ERS SAR dalam bentuk DEM [2]