BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gelombang Elektromagnetik

Gelombang Elektromagnetik merupakan gelombang yang dapat merambat walau tidak ada medium. Energi elektromagnetik merambat dalam gelombang dengan beberapa karakter yang bisa diukur, yaitu: panjang gelombang/ *wavelength*, frekuensi, amplitudo, dan kecepatan. Amplitudo adalah tinggi gelombang, sedangkan panjang gelombang adalah jarak antara dua puncak. Frekuensi adalah jumlah gelombang yang melalui suatu titik dalam satu satuan waktu. Frekuensi tergantung pada kecepatan merambatnya gelombang. Karena kecepatan energi elektromagnetik adalah konstan (kecepatan cahaya), maka panjang gelombang dan frekuensi berbanding terbalik. Semakin panjang suatu gelombang akan semakin tinggi frekuensinya. Energi elektromagnetik dipancarkan, atau dilepaskan, oleh semua masa di alam semesta pada level yang berbeda-beda. Semakin tinggi level energi dalam suatu sumber energi, semakin rendah panjang gelombang dari energi yang dihasilkan, dan semakin tinggi frekuensinya (Timor dkk., 2016).



Gambar 2. 1 Spektrum Gelombang Elektromagnetik (Timor dkk., 2016)

 Tabel 2. 1 Pembagian Pita Frekuensi Gelombang Elektromagnetik (Menteri Komunikasi dan Informatika RI, 2019).

No	Pita Frekuensi	Rentang Frekuensi
1	Extremely low Frequency (ELF)	<3 kHz
2	Very Low Frequency (VLF)	3 – 30 kHz
3	Low Frequency (LF)	30 – 300 kHz
4	Medium Frequency (MF)	300 – 3 MHz
5	High Frequency (HF)	3 – 30 MHz
6	Very High Frequency (VHF)	30 – 300 MHz
7	Ultra High Frequency (UHF)	300 – 3 GHz
8	Super High Frekuency (SHF)	3 – 30 GHz
9	Extra High Frequency (EHF)	30 – 300 GHz

2.1.1 Propagasi Segaris Pandang (Line of Sight)

Jika frekuensi gelombang diatas 3 MHz, baik propagasi gelombang bumi maupun gelombang langit tidak akan bekerja dan transmisi gelombang harus dilakukan secara segaris pandang (*Line of Sight*) seperti yang diilustrasikan pada **Gambar 2.2**.

Untuk komunikasi berbasis bumi, antena pemancar dan antena penerima harus berada dalam garis pandang efektif antara satu dengan yang lainnya. Istilah efektif digunakan karena gelombang mikro dibengkokkan atau mengalami refraksi oleh atmosfer. Besar dan arah pembengkokan ditentukan oleh berbagai keadaan, tetapi pada umumnya gelombang mikro dibengkokkan sesuai kelengkungan bumi sehingga merambat lebih jauh daripada garis pandang optik (Timor dkk.,2016).



Gambar 2. 2 Propagasi Segaris Pandang (Line of Sight) (Timor dkk., 2016)

Penentuan LOS (*Line of Sight*) sangat dipengaruhi oleh kelengkungan bumi. Jika antara penerima dan tinggi antena pemancar tidak segaris lurus maka penerima tidak bisa menerima gelombang sinyal. Model sederhana untuk menentukan jarak LOS yang bisa dilalui antara dua titik yaitu pemancar dan penerima. Dalam merambat, gelombang memiliki beberapa mekanisme dasar perambatan gelombang elektromagnetik yang dikenal, yaitu:

- a. Refleksi (Pemantulan)
- b. Scattering (Hamburan/Penyebaran)
- c. Refraksi (Pembiasan)
- d. Difraksi (Lenturan)

Spektrum gelombang elektromagnetik yang dipakai dalam sistem radar atau satelit adalah jenis gelombang mikro (*mocrowave*) yang menggunakan energi elektromagnetik dengan frekuensi 0,3 – 40 GHz dan panjang gelombang 0,7 cm – 100 cm. Hanya beberapa band saja yang dapat digunakan untuk pencitraan karena adanya perbedaan interaksi dengan atmosfir dan permukaan bumi pada setiap panjang gelombang.

2.2 Remote Sensing atau Pengindraan Jarak Jauh

Pengindraan jauh atau *remote sensing* adalah pengambilan atau pengukuran data informasi mengenai sifat dari sebuah fenomena, objek atau daerah penelitian dengan menggunakan sebuah alat perekaman tanpa harus berhubungan langsung dengan daerah yang diteliti. Terdapat empat komponen dasar pada penginderaan jarak jauh yaitu target, sumber energi, alur transmisi, dan sensor. Sensor adalah sebuah alat yang mengumpulkan dan mencatat radiasi gelombang elektromagnetik, setelah itu data akan dikirimkan ke stasiun penerima (*receiver*) dan diproses menjadi format yang siap dipakai,

diantaranya yaitu berupa visualisasi citra. Data citra ini kemudian diinterpretasi untuk mencari informasi mengenai target yang diteliti (Puntodewo dkk., 2007).

Bagian terpenting pada penginderaan jarak jauh sendiri adalah sensor, yaitu pengumpul data menggunakan radiasi gelombang elektromagnetik. Gelombang elektromagnetik di sistem ini yaitu sebagai medium untuk pengiriman informasi dari target kepada sensor. Energi elektromagnetik merambat dalam gelombang dengan beberapa karakter yang bisa diukur, yaitu: panjang gelombang/*wavelength*, frekuensi, amplitude, dan kecepatan rambat gelombang (Puntodewo dkk., 2007).

2.2.1 Penginderaan Jauh Sistem Aktif Radar

Penginderaan jauh sistem aktif yang menggunakan gelombang mikro disebut pengindearaan jauh sistem radar. Sesuai dengan namanya "Radar" merupakan singkatan dari *radio detection and ranging* yang berarti mendeteksi dan menentukan jarak objek berdasarkan gelombang radio (Sutanto, 1987). Radar merupakan sistem penginderaan jauh aktif karena memiliki sumber energi sendiri yang dibangkitkan dari sensor yang "menyinari" permukaan bumi dengan energi elektromagnetik, mendeteksi besarnya energi yang dipantulkan kembali oleh objek, dan direkam sebagai sebuah citra (Sabins., 1978).

Gelombang mikro yang digunakan dalam sistem penginderaan jauh radar juga merupakan bagian dari spektrum elektromagnetik. Sama halnya dengan yang digunakan pada sistem penginderaan jauh optik merekam dengan saluran tampak, sistem termal dengan saluran infra merah.

Saluran	Frekuansi (GHz)	Panjang Gelombang (cm)
Р	0,225 - 0,390	133 - 76,90
L	0,390 -1,550	76,9 – 19,3
S	1,550 - 4,20	19,3 - 7,1
С	4,20 - 5,75	7,1-5,2
Х	5,75 - 10,90	5,2-2,7

Tabel 2. 2 Frekuensi Gelombang Mikro dan Salurannya

K	10,9 - 36,0	2,7-0,83
Ku	10,90 - 22,0	
Ka	22,0-36,0	
Q	36,0 - 46,0	0,83 - 0,65
V	46,0-56,0	0,65 - 0,53
W	56,0-100,0	0,53 - 0,30

Band yang biasa digunakan untuk pencitraan oleh radar hanya band X, C, L, dan P. Selain *band* tersebut, biasanya lebih banyak digunakan untuk kepentingan satelit komunikasi baik televisi ataupun penyiaran radio. Tidak seperti kebanyakan sistem penginderaan jauh lainnya, sistem penginderaan jauh radar mengindera ke arah samping (*side looking*) tegak lurus terhadap arah terbangnya satelit ERS sambil memancarkan tegangan untuk merekam objek dan diterima kembali sebagi hamburan balik (*backsctter*). Berdasarkan waktu perjalanan tegangan pada radar tersebut dapat memperhitungkan jarak objek terhadap sensor sedangkan intensitas tenaga baliknya memberikan karakteristik spektral objek yang bisa disebut nilai *backscatter*. Teknik perekaman menyamping ini menyebabkan geometri pencitraan penginderaan jauh sistem radar yang berbeda dari penginderaan sistem optik (CCRS, 2014; Sutanto, 1987).

2.3 Synthetic Aperture Radar (SAR) Basics

Synthetic Aperture Radar atau sering disebut SAR merupakan salah satu sistem penginderaan jauh non-optik yang bersifat aktif yang menggunakan sensor gelombang mikro aktif dengan teknik perekaman menyamping. Karena bersifat aktif, maka sensor mentransmisikan sinyal gelombang mikro (radio) ke arah objek atau permukaan bumi kemudian merekam kembali seberapa besar hamburan balik dari objek. *Synthetic Aperture Radar* (SAR) juga merupakan sistem visualisasi bumi menggunakan gelombang mikro. Sistem SAR juga selalu aktif dan mempuyai peneratsi terhadap awan yang memungkinkan *noise* dari awan untuk visualisasi permukaan bumi atau elevasi dapat tergambarkan dengan baik. Ukuran dari variasi rute perjalanan atau

rekaman berfungsi sebagai mengetahui posisi satelit, waktu dari akusisi dan memberikan hasil dari penurunan *Digital Elevation Model* (DEM) serta ukuran dari perubahan sentimetrik permukaan dari *area* pengukuran (Yamashiro dkk., 1984).

Metode ini yang mampu mencapai keseragaman resolusi azimut yang baik untuk semua sapuan perekaman tersebut disebut sebagai *Syntehetic Aperture Radar* atau SAR, *synthetic* yang menunjukkan antena tiruan (sintesis) yang lebih panjang sehingga celah/lebar sorotan (*aperture*) yang terbentuk untuk merekam objek pada jarak azimut semakin sempit

2.3.1 Data SAR Sentinel-1

Data SAR (*Synthetic Aperture Radar*) Sentinel-1 merupakan data SAR yang dihasilkan oleh perekaman satelit Sentinel-1 milik Eropa atau di sebut juga *Europe Remote Sensing* (ERS). Beroperasi dengan dual polarisasi (HH+HV, VV+VH) sehingga baik digunakan untuk mengidentifikasi dan membedakan klasifikasi penutup lahan dan pengenalan karakteristik objek termasuk penutup lahan hutan rakyat. Dual polarisasi tersebut diperoleh melalui salah satu mode perekaman *Interferometric Wide* (IW), dan dengan ketersedian data level-1 SLC (*Single Look Complex*) yang mampu mengkombinasikan lebar perekaman yang luas (250 km).

2.3.2 Europe Remote Sensing Satelit (ERS)

Europe Remote Sensing Satelit, ERS-1 merupakan satelit observasi bumi yang pertama, satelit ini memuat komprehensif dari citra gembar *Synthetic Aperture Radar* (SAR). Dengan peluncuran satelit pada bulan Juli tahun 1991 dan tervalidasi kemampuan untuk Interferometri pada September tahun 1991.

Orbit ERS mengorbit dekat dengan kutub yang dikombinasi dengan rotasi Bumi (*East-West*) memungkinkan dua akuisisi dari area yang sama dan untuk tampilan sudut citra yang berbeda pada setiap jalur lintasan satelit yang terekam. Jika hanya menggunakan satu geometri akusisi, keakuratan DEM (Digital Elevasi Model) dapat terganggu pada kemiringan medan lokal dari *area* penelitian dan mungkin tidak bisa dijadikan untuk data hasil akhir (Hasil data citra). Untuk menghilangkan *noise* medan lokal, menggabungkan DEM yang diperoleh dari orbit *ascending* (*South-North*) dan *descending* (*North-South*) dapat mengurangi masalah karena geometri akuisisi dan pengambilan sampel yang tidak merata pada area yang diamati, terutama pada area medan berbukit (Yamashiro dkk., 1984).

2.4 Visualisasi SAR dari Permukaan Bumi

Besar kecilnya panjang gelombang elektromagnetik sangat mempengaruhi terhadap penetrasi gelombang tersebut pada objek di permukaan bumi. Semakin besar panjang gelombang yang digunakan maka semakin kuat daya penetrasi gelombang tersebut.

Polarisasi pada sinyal radar menandai orientasi gelombang elektromagnetik yang ditransmisikan dan diterima oleh antena. Sistem radar dapat dikonfigurasi untuk mentransmisikan baik polarisasi secara horizontal atau vertikal dan untuk menerima baik polarisasi secara horizontal atau vertikal yang dikembalikan oleh objek di permukaan tanah.

Biasanya pencitraan radar mentransmisikan polarisasi secara horizontal dan menerima gema polarisasi secara horizontal juga dari permukaan bumi sehingga menghasilkan polarisasi HH atau dapat disebut juga *like-polarized image*. Tetapi ada beberapa radar yang didesain untuk mentransmisikan sinyal polarisasi secara horizontal tetapi secara terpisah menerima polarisasi secara vertikal dari permukaan bumi atau dapat disebut juga polarisasi HV atau *cross-polarized image* (Campell, 1996).

2.4.1 Strip-Map SAR Pencitraan Sistem

Sistem pencitraan SAR dari satelit (seperti ERS atau Envisat) diperlihatkan seperti pada **Gambar 2.3**. Satelit tersebut membawa radar dengan antena yang mengarah ke permukaan bumi dari satelit yang sudutnya tegak lurus dengan orbit (namun ilustrasinya tidak sepenuhnya tegak lurus, karena dipengaruhi untuk mengimbangi rotasi dan elevasi Bumi). Inklinasi pada antena yang sehubung dengan titik nadir adalah sudut *off-nadir* dan dalam sistem biasanya mempunyai jarak antara sudut kemiringan yaitu berkisar antara 20° sampai 50°. Namun untuk satelit ERS sendiri menggunakan sudut kemiringan 21°. Karena pada permukaan Bumi yang pada dasarnya tidak rata, maka sudut

datang untuk radiasi pada medan datar datar lebih besar dari pada titik pengukuran nadirnya yaitu 23° pada satelit ERS. Operasi pada sistem SAR berikut menggunakan gelombang mikro C *band* dengan besar frekuensi gelombang 5,3 GHz (Yamashiro dkk., 1984)



Gambar 2. 3 Sistem SAR dari Satelit (Sambodo dan Musyarofah, 2011 didalam Fitri 2017)

Rute atau jejak satelit yang mengorbit bumi mempunyai kecepatan tertentu sepanjang orbit yang sudah di tentukan. Untuk satelit ERS,mempunyai kecepatan orbit sekitar 7430 m/s dalam orbit kuasipolar yang melintasi garis khatulistiwa pada sudut 9° dan dengan ketinggian sekitar 800 km. Rute satelit ini mampu melacak petak selebar 100 km tepat di permukaan bumi, dengan kemampuan pencitraan 445 km jalur memanjang setiap menitnya (mode peta jalur) (Yamashiro dkk., 1984).

2.4.2 Gambar Komples SAR

Gambar SAR digital dapat dilihat sebagai visual mosaik (*array* dua dimensi yang dibentuk oleh kolom dan baris) elemen gambar kecil (piksel). Dan setiap piksel pada sistem SAR akan berhubungkan dengan area kecil permukaan bumi yang disebut sel resolusi. Setiap piksel memberikan bilangan kompleks yang membawa informasi amplitudo dan fase tentang medan gelombang mikro yang dihamburkan oleh semua pencar atau hamburan gelombang mikro dari objeknya (batu, tumbuhan, bangunan, dll.). Dalam satelit ERS, dimensi sel resolusi pada sistem SAR adalah sekitar 5 meter dalam azimut dan sekitar 9,5 meter untuk jarak kemiringan (*slant-range*). Jarak antara sel-sel yang berdekatan adalah sekitar 4 meter di azimut dan sekitar 8 meter di jarak kemiringannya (*slant-range*). Maka sel resolusi pada sistem SAR dengan demikian sedikit tumpang tindih baik dalam azimuth dan dalam jarak kemiringannya (*slant-range*) (Yamashiro dkk., 1984).

2.4.2.1 Deteksi Gambar SAR

Gambar pada sistem SAR yang dideteksi atau di rekam oleh satelit ERS yang berisi tentang pengukuran amplitudo radiasi yang telah dihamburkan (dipantulkan) kembali ke arah radar oleh objek pencar yang terkandung dalam setiap bagian pada resolusi SAR. Nilai amplitudo pada ERS ini lebih tergantung pada kekasaran atau elevasi permukaan bumi daripada pada komposisi kimia dari objek pencar di medan atau area pengukuran. Dan biasanya, batuan yang terbuka (tidak tertutup tanah) dan daerah perkotaan menunjukkan amplitudo yang kuat, sedangkan permukaan datar yang halus (seperti cekungan air yang tenang) menunjukkan amplitudo rendah. Gambar SAR yang terdeteksi umumnya divisualisasikan dengan menggunakan tingkat skala abu-abu (*grey scale*) seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.4** dibawah (Yamashiro dkk., 1984).



Gambar 2. 4 Gambar ERS Pada System SAR yang Menampilkan Kota Milan (Yamashiro dkk., 1984)

2.4.2.2 Fase dari Gambar SAR

Radiasi gelombang yang ditransmisikan atau dipancarkan dari radar harus mencapai penghambur di permukaan tanah dan kemudian dikembalikan lagi ke radar oleh objek hamburnya untuk membentuk visualisasi citra SAR (perjalanan gelombang dua arah). Objek hamburan pada jarak yang berbeda dari radar mempunyai *slant-range* yang berbeda-beda dan menimbulkan *delay* pada rambatan gelombang yang berbeda antara transmisi dan penerimaan radiasi (Yamashiro dkk., 1984).

Karena hampir murni sifat sinusoidal dari sinyal yang ditransmisikan, maka *delay* τ ini setara dengan perubahan fase φ antara sinyal yang dikirim dan sinyal yang diterima. Dengan demikian perubahan fase sebanding dengan jarak perjalanan dua arah 2R dari radiasi dibagi dengan panjang gelombang yang ditransmisikan λ . Penjelasan konsep dapat di gambarkan pada **Gambar 2.5** berikut.



Gambar 2. 5 Fungsi Sinusoidal Sin φ Dengan Periode 2 π (Yamashiro dkk., 1984)

2.4.3 Bagian Resolusi Proyeksi SAR pada Tanah

Area pengukuran yang dicitrakan disetiap bagian sel resolusi pada sistem SAR (disebut sel resolusi tanah/ground resolution) dan bergantung pada topografi lokal di area tersebut. Hal ini sangat tergantung pada kemiringan area yang dicitrakan pada bidang yang tegak lurus terhadap orbit satelit (arah jangkauan tanah), dan pada kemiringan medan di arah azimut. Dimensi dari sel resolusi tanah mempunyai jarak yang berhubungan dengan sel resolusi SAR dan mengalami deformasi atau perubahan secara perspektif yang tidak

biasa (perubahan awal pada area pengukuran). **Gambar 2.6** menunjukkan bagaimana *slant-range* diproyeksikan ke tanah.



Gambar 2. 6 Efek Medan Pada Gambar SAR (Yamashiro dkk., 1984)

Ketika kemiringan medan meningkat sehubungan dengan permukaan horizontal yang datar, maka dimensi sel pada resolusi tanah pada jarak resolusi akan meningkat dan efek ini disebut *foreshortening*. Ketika kemiringan medan dekat dengan sudut nadir radar, dimensi sel menjadi sangat besar dan semua detailnya hilang (akibat kemiringan medan). Selain itu, ketika kemiringan medan yang melebihi sudut pada radar atau di luar sudut nadir, maka proyeksi yang dicitrakan dalam hasil visualisasi akan terbalik dan ditumpangkan pada kontribusi yang berasal dari daerah lain. Efek ini disebut juga *layover*, dan ditampilkan pada **Gambar 2.7** (Yamashiro dkk., 1984).



Gambar 2. 7 Konsep Proyeksi *Layover* dan Efek bayang (Yamashiro dkk., 1984)

Ketika kemiringan area pengukuran berkurang yang sehubung dengan permukaan referensi datar, dimensi sel resolusi akan menurun. Dimensi sel resolusi minimum ada ketika medan sejajar dengan *Line of Sight* (LOS). Dalam sistem ERS, dimensi sel resolusi ditunjukan pada fungsi kemiringan medan yang dapat di lihat pada **Gambar 2.8** berikut.



Gambar 2. 8 Dimensi Resolusi Sel ERS Pada Tanah didalam Fungsi Kemiringan Medan (Yamashiro dkk., 1984)

2.4.3.1 Deformasi Geometris dari ascending dan descending ERS

Sistem ERS ini sangat memungkinan untuk mengamati objek yang sama dengan *angles* yang berbeda dengan kemiringan 23°. Dengan pengamatan seluruh permukaan bumi didapat dengan kombinasi gerakan satelit yang mengorbit di sepanjang garis meridian (orbit hampir mendekati kutub) dan rotasi bumi di bidang ekuatornya. Hal ini berasal dari orbit satelit yang bergerak dari Selatan ke Utara (lintasan *ascending*) dan dari Utara ke Selatan (lintasan *descending*), maka antena SAR yang mengarah biasanya dipasang ke sisi yang sama dari bidang orbital sehubungan dengan vektor kecepatannya (Yamashiro dkk., 1984)

2.5 SAR Interferometry: Aplikasi dan Limit

SAR satelit dapat mengamati area yang sama dari sudut tampilan yang sedikit berbeda. Hal ini dapat dilakukan baik secara bersamaan (dengan dua radar dipasang pada platform yang sama) atau pada waktu yang berbeda dengan memanfaatkan orbit yang berulang dari satelit yang sama. Jarak antara dua satelit (atau orbit) dalam bidang yang tegak lurus terhadap orbit disebut garis dasar interferometer dapat di lihat pada **Gambar 2.9**, dan proyeksi yang

tegak lurus terhadap *slant-range* adalah garis dasar yang tegak lurus (Yamashiro dkk., 1984).



Gambar 2. 9 Geometri Satelit Pada Sistem SAR Interferometri (Yamashiro dkk., 1984)

Interferogram SAR dihasilkan oleh perkalian silang antara dua citra, piksel demi piksel dari citra SAR pertama dengan konjugasi kompleks citra SAR yang kedua. Dengan demikian, amplitudo interferogram adalah amplitudo dari gambar citra pertama dikalikan dengan gambar citra yang kedua, sedangkan fase menunjukan fase interferometri yang mengacu pada perbedaan fase antara kedua gambar (Yamashiro dkk., 1984).

2.5.1 Pengukuran ketinggian medan menggunakan fase interferometri

Di proyeksi interferometri pada konsep ini, penyebaran titik referensi di setiap sel resolusi tanah tetap (tidak berubah seiring waktu). Penyebar titik pada proyeksi ini diamati oleh dua SAR dari sudut tampilan yang sedikit berbeda seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.10** di atas. Dalam hal ini fase interferometri dari masing-masing piksel gambar SAR, hanya akan bergantung pada perbedaan jalur perjalanan dari dari dua satelit di sistem SAR ke sel resolusi pada objek yang diukur (Yamashiro dkk., 1984).

Setelah titik referensi tanah telah diidentifikasi, maka variasi dari perbedaan jalur perjalanan Δr yang menghasilkan perpindahan dari sel resolusi referensi ke titik lain yang dapat diberikan oleh proyeksi sederhana (sebuah pendekatan yang berlaku untuk *baseline* yang cukup kecil dan sel resolusi yang tidak terlalu jauh) dan bergantung pada parameter geometri yang ditampilkan pada **Gambar 2.10** berikut.



Gambar 2. 10 Parameter Geometri Dari Satelit Interferometrik SAR (Yamashiro dkk., 1984)

$$\Delta r = -2\frac{Bn\,qs}{R} \tag{2.2}$$

Bn = Garis tegak lurus dari R ke satelit kedua

qs = Perpindahan antara sel resolusi sepanjang garis yang tegak lurus terhadap jarak kemiringan

Variasi dari fase interfeometrik dapat di lambangkan $\Delta \varphi$ dan kemudian sebanding dengan Δr yang dibagi dengan panjang gelombang λ yang ditransmisikan:

$$\Delta \varphi = \frac{2\pi \,\Delta r}{\lambda} = \frac{4\pi \,Bn \,Qs}{R} \tag{2.3}$$

2.5.2 Perataan Interferogram

Variasi fase interferometrik dapat dibagi menjadi dua yaitu:

 Variasi pada fase sebanding dengan perbedaan ketinggian q dengan target titik referensi yang disebut bidang referensi horizontal 2. Variasi pada fase yang sebanding dengan perpindahan *slantrange* dari target titik

$$\Delta \varphi = -\frac{4\pi}{\lambda} \frac{Bn \, q}{R \sin \theta} - \frac{4\pi}{\lambda} \frac{Bn \, s}{R \tan \theta} \tag{2.4}$$

Pada persamaan ini, θ adalah radiasi dari pengaruh *angle* yang sehubung dengan objek pengukuran. Perlu diketahui bahwa garis dasar tegak lurus didapat dari data orbital yang tepat, dan istilah fase kedua dapat dihitung dan dikurangi dari fase interferometri sendiri. Operasi ini disebut perataan interferogram (Interferogram *flattening*), sebagai hasilnya, operasi ini menghasilkan peta fase yang proporsional dengan ketinggian medan relatif. Gambar yang di hasilkan adalah gambar yang diskontinuitas fasenya yang menyerupai garis kontur dimana ketinggian antara dua diskontinuitas yang berdekatan dan disebut ketinggian ambiguitas (*altitude of ambiguity*) dengan di lambangkan (*ha*) yang dapat di hitung dari parameter interferometrik nya (Yamashiro dkk., 1984).



Gambar 2. 11 Visualisasi Perbandingan Interferogram Dengan *Flattened* Interferogram (Yamashiro dkk., 1984)

2.5.3 Ketinggian Ambiguitas

Ketinggian ambiguitas (*ha*) didefinisikan sebagai perbedaan ketinggian yang menghasilkan perubahan fase interferometrik 2π setelah perataan interferogram. Ketinggian ambiguitas juga berbanding terbalik dengan garis dasar tegak lurus yang ditunjukan pada persamaan berikut:

$$ha = \frac{\lambda R \sin \theta}{2 Bn} \tag{2.5}$$

Pada satelit ERS sendiri menggunakan panjang gelombang λ =5.6 cm, θ = 23°, dan R = 850 km. sehingga jika disubtitusikan ke dalam persamaan menjadi:

$$ha = \frac{0.056 \, m \times 850000 \, m \times \sin 23^{\circ}}{2 \, Bn} \tag{2.6}$$

$$ha = \frac{18598.807}{2 Bn} \tag{2.7}$$

$$ha = \frac{9299.400}{Bn}$$
(2.8)

Namun pada satelit ERS menggunakan nilai ha:

$$ha \approx \frac{9300}{Bn} \tag{2.9}$$

Prinsipnya adalah semakin tinggi jarak *baseline*, maka semakin akurat pengukuran ketinggiannya, karena *noise* pada fase setara dengan dipengaruhi oleh *noise* ketinggian yang lebih kecil. *Baseline* yang tegak lurus secara optimal memaksimumkan sinyal pada *noise power ratio* dimana sinyal yang ditranmisikan mengindikasi nilai ketinggian. Dan pada satelit ERS *basline* yang maksimum adalah 300 sampai 400 meter (Yamashiro dkk., 1984)

2.5.4 Fase *Unwrapping* dan Turunan Digital Elevasi Model (DEM)

Citra yang dihasilkan dari DInSAR *processing* masih dalam satuan radian (satuan *phase* sudut) dalam rentang $-\pi$ sampai dengan π , sehingga menimbulkan masalah ambiguitas. Walaupun pola defomasi sudah dapat terlihat, namun informasi besar deformasi tersebut belum dapat dibaca dengan baik. Untuk mendapatkan citra deformasi yang memiliki nilai dalam satuan metrik, maka harus dilakukan proses *unwrapping* dan merubah

satuan sudut phase absolut menjadi satuan metrik. Untuk mengetahui besar deformasi dilakukan kalkulasi dari rumus *displacement of the earth's surface* sepanjang sensor *line of sight* (LOS) (Ng, dkk. 2008), yaitu:

$$\Delta \emptyset def = \frac{4\pi \, \Delta R}{\lambda} \tag{3.0}$$

Nilai λ merupakan panjang gelombang citra Sentinel-1A, $\Delta \emptyset$ defo adalah nilai perbedaan phase dan R merupakan radar dengan objek. Setelah fase interferometrik dibuka (*unwrapped phase*) peta elevasi dalam koordinat SAR didapatkan (Yamashiro dkk., 1984).



Gambar 2. 12 Kiri:Fase Interferometrik SAR Dari Dua Citra ERS. Kanan: Diskontinuitas Siklus 2π Pada Fase yang Telah Dihilangkan Dengan Menambah atau Mengurangi Kelipatan Bilangan Bulat Pada Fase Untuk Setiap Piksel Dari Gambar Fase Interferometric yang Asli yang Sudah Dibandingkan Dengan Unwrapped Phase (Yamashiro dkk., 1984)

2.5.5 *Geocoding* (*Terrain Correction*)

Tahap ini bertujuan untuk menyesuaikan koordinat citra radar yang ada pada citra interferogram ke dalam sistem koordinat global (penentuan titik azimuth pada citra yang sesuai dengan daerah penelitian) sehingga interferogram yang didapat sudah *georeference*, artinya posisi suatu piksel memiliki posisi di permukaan bumi atau model deformasi posisinya sudah diketahui di permukaan bumi.

2.6 Kawasan Rawan Bencana

Dengan kejadian erupsi Gunung Anak Krakatau pada akhir tahun 2018 maka melalui Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral ditetapkan Kawasan rawan bencana Gunung Anak Krakatau melalui penyusunan peta kawasan rawan bencana di Provinsi Lampung sebagai petunjuk tingkat kerawanan bencana suatu daerah apabila terjadi letusan gunungapi dan dalam peta tersebut mencakup wilayah yang tidah boleh ada kegiatan manusia dan area aman untuk memantau aktivitas vulkanik pada Gunung Anak Krakatau.



Gambar 2. 13 Peta Kawasan Bahaya Gunung Anak Krakatau

(Sumber: PVNBG, Kementrian ESDM)