

BAB II LANDASAN TEORI

2.1. Gunung Agung

Gunung Agung merupakan gunung tertinggi di Pulau Bali. Gunung ini terletak di Kabupaten Karangasem dan merupakan gunung api aktif tipe A. Banyak dari gunung berapi tipe A di Indonesia yang masih aktif yang menunjukkan tanda-tanda gejala erupsi dan salah satunya adalah Gunung Agung.

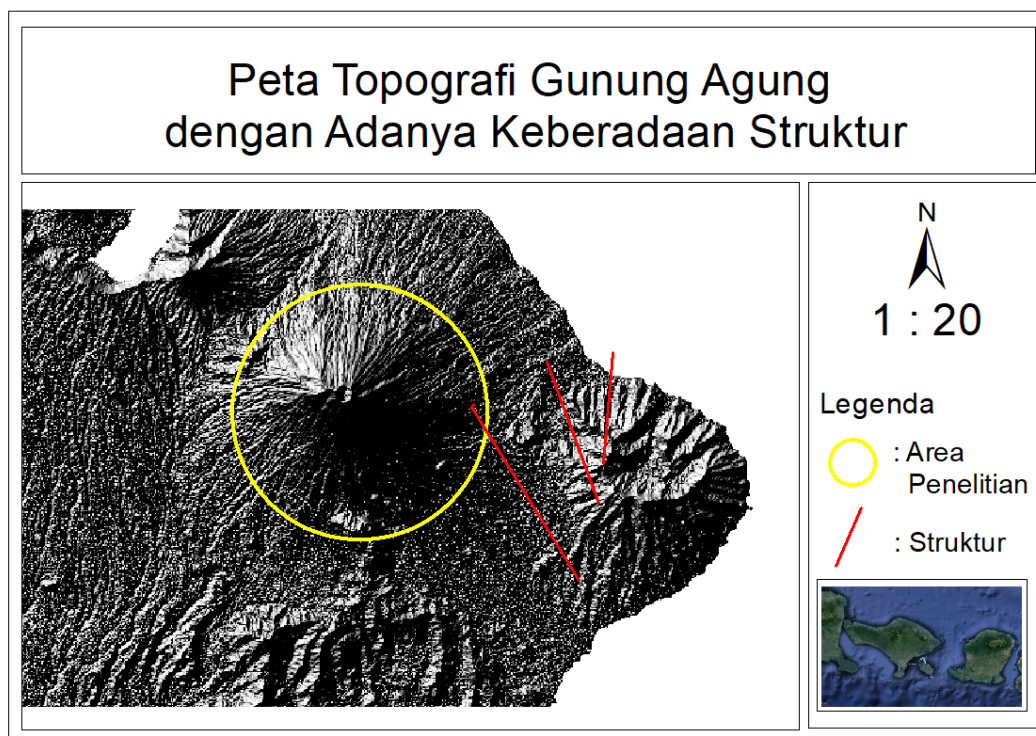
Posisi Geografis Gunung Agung terletak di Latitude -8.342° LU, Longitude 115.508° BT dan memiliki ketinggian 3142 mdpl. Gunung Agung tercatat telah mengalami 4 kali letusan besar, dengan letusan pertama tahun 1808, kemudian di tahun 1821, lalu tahun 1843 dan terakhir pada tahun 1963. Letusan terakhir ini terjadi setelah 120 tahun Gunung Agung mengalami fase tidur yang waktunya panjang.

Berdasarkan data pantauan gunung api Dinas ESDM sejak bulan Juli 2017 Gunung Agung mengalami peningkatan aktivitas secara terus menerus sehingga dilakukan pemantauan secara eksklusif dan dinyatakan dalam status AWAS (level IV) pada bulan September 2017. Meskipun aktifitas seismologi terus meningkat tidak menyebabkan terjadinya erupsi sehingga Gunung Agung diturunkan statusnya menjadi level III (Siaga) pada tanggal 29 Oktober. Terjadi letusan pada tanggal 21 November yang menghasilkan kolom abu dengan ketinggian 750 m ke arah timur tenggara dan letusan pada tanggal 25 November dengan kolom abu setinggi 1500 m ke arah barat. Pada tanggal 27 November setelah terjadi letusan dengan ketinggian kolom abu lebih dari 3000 m dan Gunung Agung kembali dinyatakan dalam level IV (AWAS). Erupsi terus berlangsung hingga 1 Desember setiap harinya dengan ketinggian kolom abu rata – rata di atas 2500 m ditambah diamatinya adanya aliran cairan panas berupa lava ke arah selatan pada tanggal 1 Desember.

Aktivitas vulkanologi terus berlangsung dengan beberapa kejadian erupsi hingga bulan Februari 2018 Gunung Agung diturunkan status menjadi SIAGA (Level III). Dalam upaya mengurangi dampak dari bencana yang diakibatkan erupsi gunung api, upaya pemantauan status keaktifan dan mitigasi bencana terus dilakukan.

2.2. Morfologi Gunung Agung

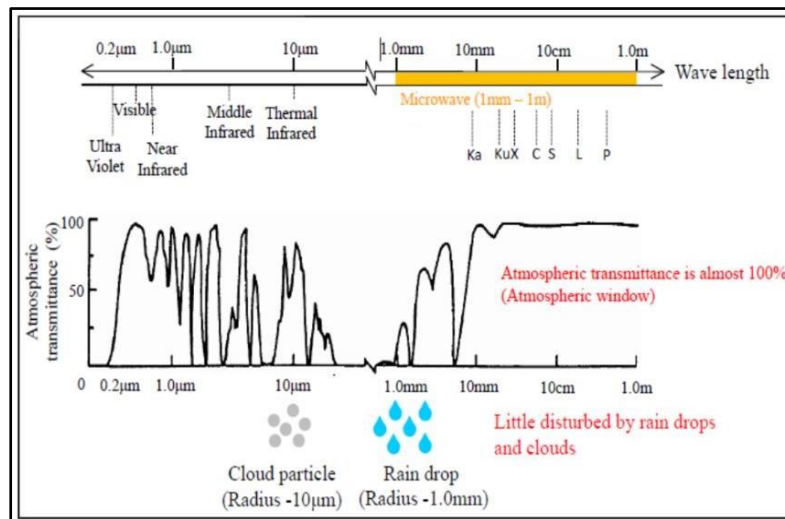
Gunung Agung memiliki morfologi berbentuk kerucut gunung api dan parasit gunung api dengan ketinggian 3142 meter di atas permukaan laut dengan lerengnya yang relatif terjal. Batuan piroklastik dan lava hasil erupsi menjadi penyusun morfologi Gunung Agung. Bagian puncak tersusun oleh material vulkanik yang cukup tebal, terutama piroklastik jatuh hasil letusan tahun 1963. Sedangkan morfologi parasit gunung api daerah Gunung Agung terdapat pada lereng bagian tenggara, membentuk kerucut-kerucut gunung api (*cone shape*), salah satunya adalah Gunung Pawon (800 mdpl). Sedangkan pada bagian timur Gunung Agung tidak dianggap sebagai *cone Shape*.



Gambar 2.1. Peta Topografi Gunung Agung dengan Adanya Keberadaan Struktur.

2.3. RADAR (*Radio Detection and Ranging*)

RADAR adalah salah satu sistem penginderaan jauh aktif dimana satelit radar akan menembakan sinyal dan menangkapnya kembali. Sehingga sinyal yang diukur tidak bergantung pada radiasi matahari dan dapat beroperasi meskipun cuaca berawan ataupun saat kondisi malam hari. Sinyal dalam sistem radar yang digunakan adalah sinyal dalam bentuk gelombang elektromagnetik yang ditembakkan kemudian dipantulkan oleh objek pada permukaan bumi. Kemudian gelombang hasil pantulan objek bawah permukaan bumi diterima kembali oleh sensor dan dimuat dalam bentuk citra. Bentuk dan kondisi permukaan bumi yang homogen membuat hasil pemantulan (*backscattering*) memiliki nilai intensitas dan fase yang berbeda tiap titik pemantulan. Dalam hal ini, hanya beberapa *band* pada satelit yang mampu digunakan dalam sistem radar. Hal tersebut disebabkan oleh adanya interaksi pada atmosfer dan permukaan bumi yang memiliki gelombang yang berbeda. (Tomiyama, 2010).



Gambar 2.2. Pengaruh panjang gelombang terhadap gangguan atmosfer (Tomiyama, 2010).

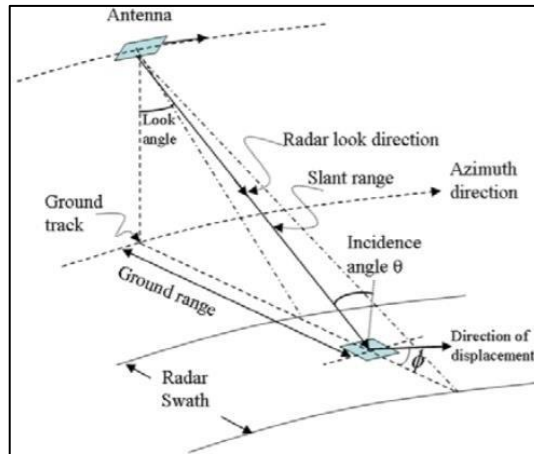
Tabel 2.1. Deskripsi *Band* Pada Radar (Tomiya, 2010).

Band	Panjang Gelombang (cm)	Frekuensi (GHz)	Aplikasi
X	3,8 – 7,5	12,5 – 8	Militer dan Survey Pemetaan
C	7,5 – 15,0	8 – 4	Pada radar ruang angkasa seperti ERSI dan RADARSAT
S	15,0 – 30,0	4 – 2	Pada sistem Almaz
L	30,0 – 100,0	2 – 1	Pada SEASAT dan JERSI
P	3,8 – 7,5	1 – 3	USA JPL – AirSAR

Band yang biasa digunakan untuk pencitraan sistem radar hanya *band* X, C, L, dan P. Selain dari *band* tersebut, lebih banyak digunakan dalam kepentingan satelit komunikasi seperti saluran televisi atau siaran radio.

2.4. *Synthetic Aparature Radar (SAR)*

Synthetic Aparature Radar (SAR) adalah teknologi radar *imaging* yang memanfaatkan teknik pemrosesan sinyal untuk membuat antena yang berukuran kecil dapat memberikan hasil seperti menggunakan antena yang berukuran lebih panjang dengan cara menggerakkan antena yang berukuran kecil dan mengirimkan *pulse* gelombang secara berkali-kali secara berurutan (Campbell dan Wynne, 2011). SAR juga merupakan salah satu sistem penginderaan jauh aktif sehingga tidak dipengaruhi oleh kondisi cuaca berawan dan mampu beroperasi setiap saat, meskipun dalam keadaan malam serta mampu menghasilkan citra dengan resolusi tinggi.. Sehingga memungkinkan pengukuran yang akurat dari jalur perjalanan radiasi gelombang. (ESA, 2017).



Gambar 2. 3. Geometri Pencitraan SAR (Zhou, 2009)

Gambar 2.3 menunjukkan geometri pencitraan SAR, yaitu:

1. Incidence Angle

Incidence angle merupakan sudut antara arah datang gelombang terhadap garis tegak lurus dari permukaan.

2. Look Angle

Look Angle merupakan sudut yang dibentuk oleh posisi satelit tegak lurus terhadap arah datang gelombang.

3. Slant Range

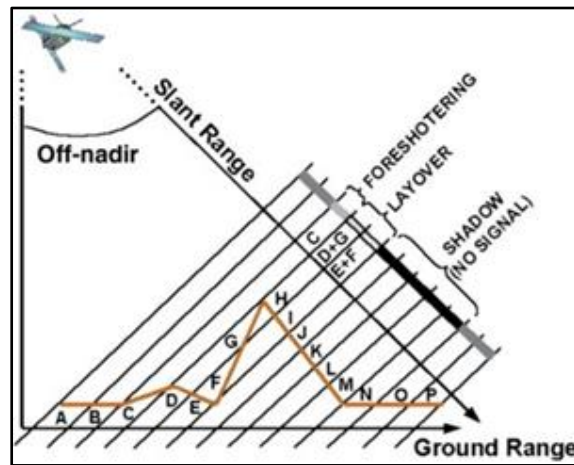
Slant Range merupakan jarak miring dari satelit radar terhadap titik pengukuran di permukaan. *Slant Range* ini terbagi menjadi *near range* (NR) dan *far range* (FR).

4. Ground Range

Ground Range merupakan jarak lurus dari satelit radar terhadap titik yang ada di permukaan bumi.

Proyeksi Resolusi SAR di permukaan area lapangan yang dicitrakan dalam setiap resolusi SAR disebut sel resolusi tanah dan bergantung pada kondisi topografi lokal. Hal ini sangat ditentukan oleh kemiringan area lapangan dalam bidang tegak lurus dengan orbit (arah jangkauan tanah) dan pada kemiringan medan dalam arah azimuth. 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. 4 Efek distorsi geometris (Wasowski, 2006).

Namun, kondisi pengambilan gambar pada sistem radar yang kesamping (*sidelooking*) memiliki beberapa pengaruh atau yang disebut distorsi geometri, diantaranya (Wasowski, 2006) :

1. *Foreshortening*

Foreshortening mengakibatkan objek yang dicitrakan menjadi lebih pendek daripada objek sebenarnya di atas permukaan. Hal ini sangat bergantung pada sudut pengambilan dari radar, semakin besar sudut pengambilan dari radar maka akan meminimalkan efek *foreshortening*.

2. *Layover*

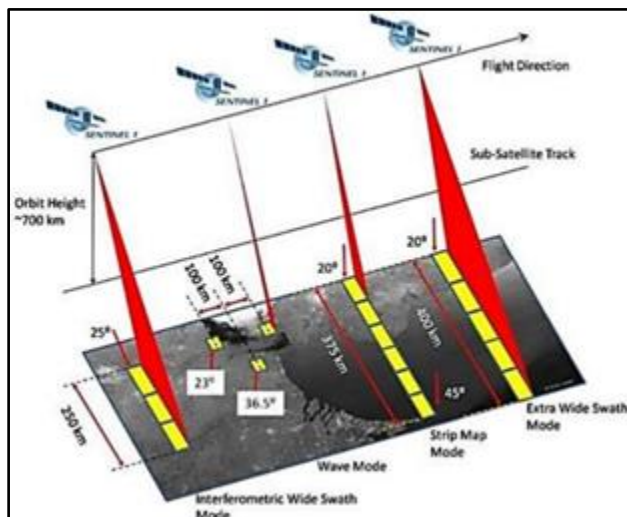
Layover sangat dipengaruhi topografi permukaan yang digambarkan. Karena objek yang memiliki posisi yang lebih tinggi di permukaan akan diterima lebih dahulu oleh citra sehingga seolah memiliki jarak yang dekat dengan radar.

3. *Shadow*

Biasanya disebabkan karena tidak adanya nilai backscatters dari objek di permukaan bumi yang diterima oleh radar. Hal ini, disebabkan oleh tertutupnya objek di permukaan bumi oleh objek lainnya yang lebih tinggi. Hal ini membuat seolah adanya nilai kosong pada citra atau biasanya terlihat dengan warna gelap atau hitam.

2.5. Karakteristik Sentinel-1

Sentinel-1 diluncurkan dan mulai beroperasi pada tanggal 3 April 2014 dan menjadi seri satelit pertama yang diluncurkan sebagai bagian dari program Copernicus yang digagas oleh *European Commission* (EC) dan *European Space Agency* (ESA). Dilengkapi sensor aktif SAR (*Synthetic Aperture Radar*) C-band dengan tujuan melakukan pemantauan darat dan laut, Sentinel-1 terdiri dari 2 satelit Sentinel-1A dan Sentinel-1B yang mengorbit berjauhan 180° siang dan malam berlawanan utara dan selatan sehingga mampu memperoleh data tanpa terganggu cuaca dan kondisi gelap.



Gambar 2.5. Satelit Sentinel-1 (ESA, 2017)

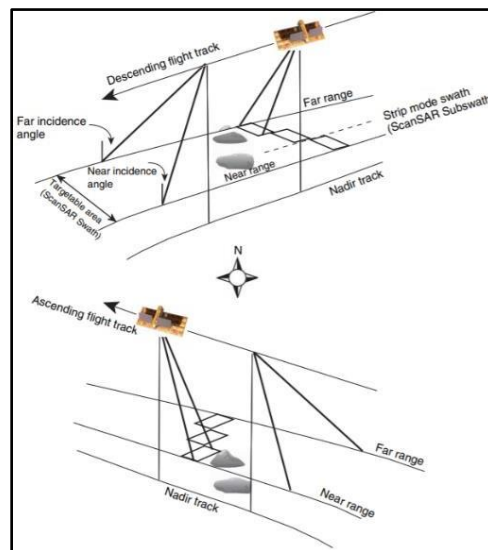
Masing – masing satelit mampu mengorbit dan mencitrakan satu objek di permukaan selama 12 hari sekali. Dengan memiliki 2 satelit yang mengorbit artinya mampu mendapatkan data setiap 6 hari untuk 1 objek di permukaan bumi. Sentinel-1 memiliki 4 mode pengamatan dengan mode utama untuk melakukan pengamatan bagian daratan adalah mode *Interferometric Wide Swath* (IW).

Tabel 2.2. Karakteristik Sentinel-1 (ESA, 2017)

Mode	Incidence Angle	Resolution	Swath Width	Polarization
				H = Horizontal V = Vertical
Stripmap	20 - 45	5 x 5 m	80 km	HH+HV, VH+VV, HH, VV
Interferometric Wide swath	29 - 46	5 x 20 m	250 km	HH+HV, VH+VV, HH, VV
Extra Wide swath	19 - 47	20 x 40 m	400 km	HH+HV, VH+VV, HH, VV
Wave	22 - 35	5 x 5 m	20 x 20 km	HH, VV

2.5.1. Arah Orbit Satelit *Ascending* dan *Descending*

Sistem pada SAR sangat memungkinkan untuk mengamati objek yang sama dengan sudut yang berbeda dengan kemiringan 23° . Dengan pengamatan yang dilakukan terhadap permukaan bumi didapat kombinasi gerakan satelit yang mengorbit di sepanjang garis meridian hingga mendekati kutub dan rotasi bumi di bidangekuatornya.



Gambar 2.6. Orbit *Ascending* dan *Descending* (Simons, 2007)

Dari gambar 2.6. satelit mengorbit dari 2 arah yang berlawanan seperti 2 arah vector yang berlawanan. Sistem SAR mampu melakukan pencitraan dalam jalur secara terus menerus sehingga dapat beroperasi dalam mode jalur dengan lebar sapuan yang dibatasi oleh sistem pada satelit. 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 (Simons, 2007).

2.6. *Interferometry Synthetic Aperture Radar (InSAR)*

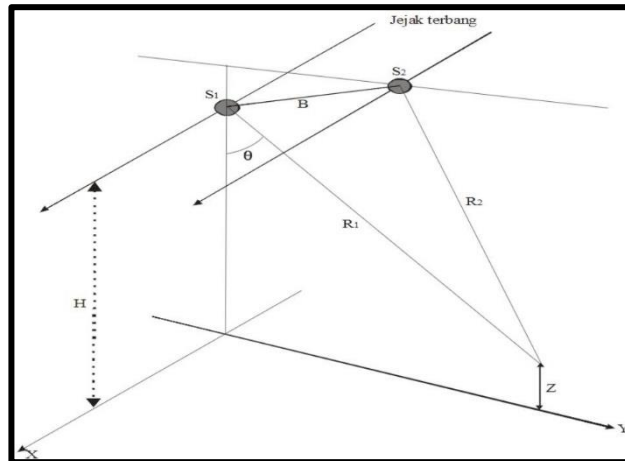
Interferometry Synthetic Aperture Radar (InSAR) adalah teknologi penginderaan jauh yang menggunakan citra hasil dari satelit radar. Teknik interferometri ini sendiri mencitrakan suatu objek di permukaan bumi dengan cara melakukan pengamatan terhadap beda fase dua gelombang radar yang berasal dari satu objek. Secara umum setiap piksel pada citra SAR terdiri dari fase dan amplitudo (Haniah, 2011).

a. *Amplitudo (A)*

Nilai amplitudo pada citra radar membuat tampilan objek permukaan bumi. Besarnya nilai *amplitudo* menunjukkan seberapa kuat nilai hamburan balik (*backscattering*) yang dipantulkan oleh objek di permukaan bumi yang kemudian diterima oleh antena radar. Semakin kuat nilai hamburan balik menunjukkan kekasaran permukaan tanah yang dicitrakan dan akan semakin tampak terang pada citra. Sebaliknya nilai hamburan balik yang rendah menunjukkan permukaan yang halus yang dicitrakan dan terlihat gelap pada citra. Ketika gelombang elektromagnetik sampai ke permukaan bumi maka akan dipantulkan ke segala arah. Sebagian nilai pantulan gelombang akan diterima kembali oleh antena radar. Namun, nilai hamburan balik ini jauh lebih lemah dibandingkan dengan gelombang yang dipancarkan. Kekerasan objek pada permukaan mempengaruhi nilai hamburan balik. (Febriyanti, 2017).

b. *Phase (Φ)*

Pada citra yang diperoleh dari tiap-tiap pikselnya akan memiliki informasi fase gelombang, fase gelombang digunakan untuk menentukan apakah telah terjadi pergerakan pada permukaan yang memantulkan gelombang tersebut.



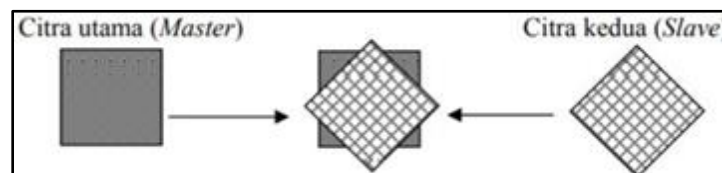
Gambar 2.7. Geometri SAR Interferometri (Haniah, 2011).

Pada **gambar 2.7** di atas tampak bahwa S1 dan S2 merupakan 2 buah sensor yang berbeda, memancarkan gelombang radar pada suatu objek dengan tinggi objek tersebut sebesar Z dari bidang referensi. R1 dan R2 adalah jarak geometris objek terhadap sensor radar, disebut juga *Slant Range*.

2.6.1. Koregistrasi Citra Kompleks

Proses koregistrasi dapat diartikan sebagai proses pencocokan citra kedua (*slave*) dengan citra utama (*master*). Sehingga tiap piksel antara kedua citra memiliki kesamaan. Piksel merupakan element grid pada citra dan berhubungan dengan resolusi data. Umumnya tiap piksel pada citra mewakili 30 meter area permukaan bumi.

Citra SAR merupakan citra kompleks yang tiap pikselnya memuat nilai amplitude dan fase di dalamnya. Dapat digambarkan sebagai suatu vector kompleks, amplitude (A) adalah Panjang vector dan nilai fase (Φ) menyatakan arah vektornya.

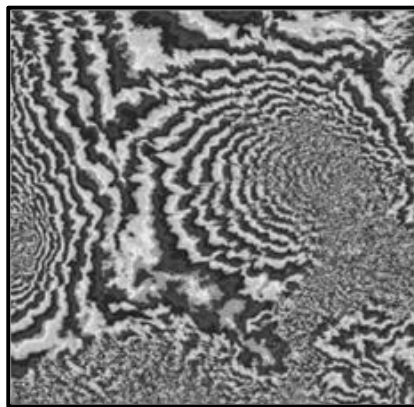


Gambar 2.8. Koregistrasi citra (Ismullah, 2014).

Pada koregistrasi citra kompleks, lokasi dari setiap piksel di citra kedua (*slave*) dicocokkan terhadap citra utama (*master*) kemudian amplitudo dan fase setiap citra tersebut dihitung. Mencocokkan citra kompleks dapat diartikan sebagai proses manipulasi lokasi piksel dan interpolasi nilai piksel untuk mendapatkan nilai dari kedua citra (Ismullah, 2014).

2.6.2. Pembentukan Interferogram

Teknik InSAR memanfaatkan perbedaan fase dari pasangan citra yang dikonversikan menjadi beda jarak atau perubahan kondisi permukaan seiring jarak pengambilan data yang dipasangkan. Hasil dari beda fasa ditampilkan dalam bentuk interferogram. Jika pasangan citra diambil pada area yang sama, maka pasangan citra tersebut dapat dikombinasikan tiap pikselnya. Pembentukan Interferogram dilakukan dengan menghitung lebih dahulu bentuk kompleks dari hasil perkalian kompleks konjugasi antara citra utama (*master*) dengan citra kedua (*slave*) (Ismullah, 2014).



Gambar 2.9. Interferogram (Ismullah, 2014).

Pada interferogram terlihat garis-garis tepi yang disebut *fringes*. *Fringes* menunjukkan rentang fase antara $0 - 2\pi$ dalam bentuk warna. Gambar 2.9 menunjukkan antara warna yang pertama dengan warna yang sama berikutnya (misalnya dari awal hitam ke awal hitam berikutnya, atau dari awal putih ke awal putih berikutnya), perbedaan yang terjadi adalah sebesar 2π (Ismullah, 2014).

2.6.3. Koherensi

Interferometri didefinisikan sebagai penggabungan dari fungsi gelombang dari suatu sumber yang koheren. Nilai koherensi antara citra *master* dan citra *slave* menunjukkan hasil seberapa jauh pencocokan kedua citra tersebut. Nilai koherensi dihitung dari hubungan sebagai berikut:

$$\gamma = C1C2^*C1C2^*\Sigma C1C2^*$$

Pada persamaan di atas, (*) adalah kompleks konjugasi, C1 adalah citra *master*, dan C2 adalah citra *slave*. Jika citra C1 dan C2 benar-benar identik, maka $\gamma = 1$, akan tetapi jika tidak maka $0 \leq \gamma \leq 1$. Sesuai dengan persyaratan yang diberikan oleh *European Space Agency* (ESA), nilai minimum koherensi untuk pembentukan model tinggi permukaan digital adalah 0,2 (Ismullah, 2014).

2.7. DinSAR (*Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar*)

Teknik Penginderaan jauh DInSAR (*Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar*) sering digunakan dalam melakukan pemantauan perubahan permukaan (deformasi) dengan orde *centimeter* (cm), yaitu pengolahan metode InSAR dengan cara dideferensialkan. DInSAR adalah teknik akuisisi dua citra SAR berpasangan kombinasi data citra kompleks pada posisi spasial yang sama (*differential SAR*) atau posisinya sedikit berbeda (*terrain height InSAR*) pada area sama dengan melakukan perkalian konjugasi berganda. Hasil akhir berupa model elevasi digital (DEM) atau pergeseran suatu permukaan bumi (Pratiwi, 2017). Pada metode ini digunakan beberapa pasang interferogram untuk mendeteksi perubahan permukaan topografi dengan ketelitian yang tinggi. Citra interferogram yang diperoleh dalam bentuk piksel dengan resolusi 30 meter. Pola interferensi dari 2 citra (*master* dan *slave*) SAR pada daerah yang sama, tiap citra yang digunakan diambil pada area yang sama dengan tempat berbeda. Salah satu parameter yang termuat dalam data SAR adalah fase. Tujuan utama DInSAR adalah untuk mengekstrak total fase yang hanya

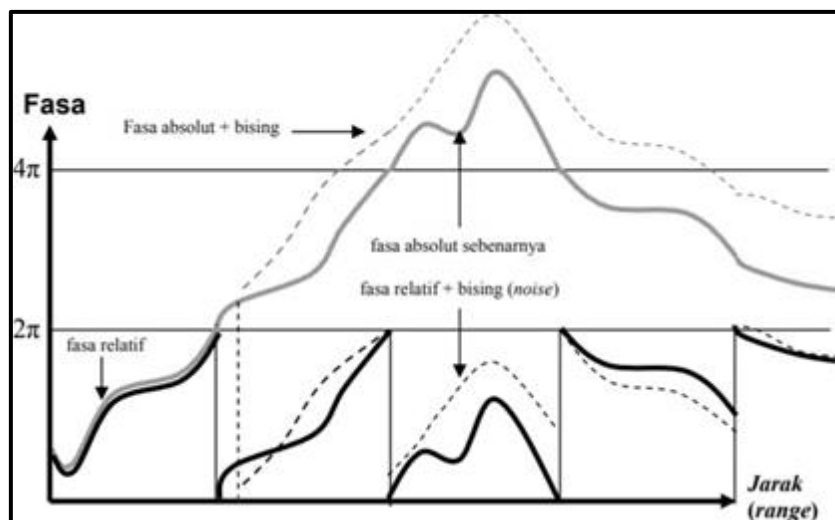
diakibatkan oleh deformasi dengan menghapus atau meminimalkan hal-hal lain yang mempengaruhi nilai fase.

2.7.1. Pengolahan *Phase Unwrapping*

Informasi pada interferogram biasanya terbatas antara 0 dan 2π sehingga menimbulkan masalah ambiguitas dalam menghitung siklus fase yang diperlukan untuk mendapatkan jarak miring yang benar. Fase ini disebut fase relatif, penyelesaian ambiguitas ini adalah pengolahan *phase unwrapping* yaitu untuk mendapatkan fase absolut, melalui hubungan berikut:

$$abs = \phi + k.2$$

dimana, abs = fasa absolut, ϕ = fasa relative, dan k = ambiguitas fase



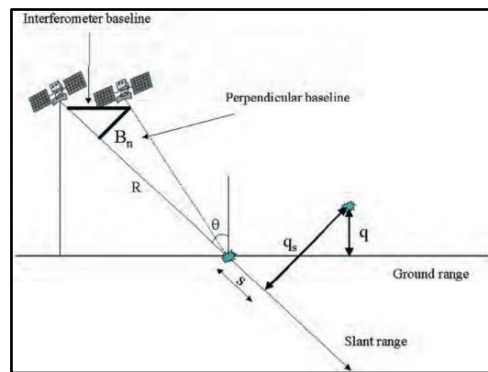
Gambar 2.10. Fasa relatif, Fasa absolut dan Karakteristik fasa absolut yang dipengaruhi noise

2.7.2. Konversi Fase Menjadi Tinggi

Dengan menganggap proyeksi interferometri hanya memiliki satu dominan titik hamburan di setiap sel resolusi tanah yang tidak berubah seiring waktu, maka penyebaran titik ini diamati oleh dua SAR dari sudut pandang yang berbeda. Pada kasus ini fase interferometri dari setiap piksel citra SAR hanya akan berpengaruh pada perbedaan jalur perjalanan dari masing-

masing dua satelit SAR ke sel resolusi tanah.

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 dengan parameter geometrinya (ESA, 2017). Parameter geometri sistem *interferometry* SAR ditunjukkan pada **gambar 2.11** di bawah ini.



Gambar 2.11. Parameter geometri sistem inteferometri SAR (ESA, 2017).

Keterangan parameter:

1. B_n jarak antara satelit pertama dan kedua.
2. R merupakan jarak satelit terhadap objek di permukaan bumi.
3. Q_s merupakan perpindahan sel resolusi

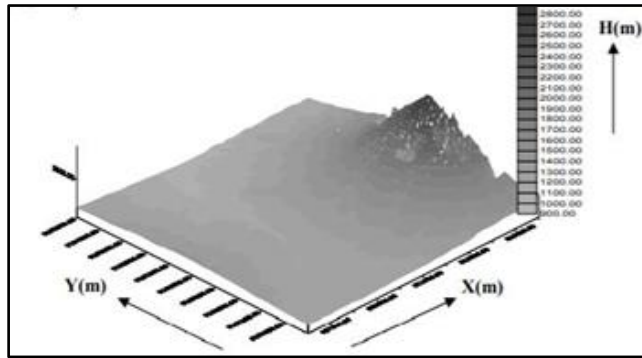
$$\Delta r = -2 B_n q_s R$$

Variasi fase interferometri $\Delta \phi$ dinyatakan sebanding dengan Δr dibagi dengan panjang gelombang yang yang ditransmisikan satelit:

$$\Delta \phi = 2\pi \Delta r = 4\pi B_n q_s R$$

2.7.3. Pengolahan *Geo-Coding*

Setiap tinggi titik pada hasil konversi dari fase ke tinggi dilakukan pengolahan *Geo-coding*, yaitu proses mendapatkan referensi untuk setiap pikselnya di atas permukaan bumi, sehingga interferogram yang didapat sudah mengalami *geo-reference*. (Ismullah, 2014).



Gambar 2.12. Model tinggi permukaan hasil interferometri SAR bergeoreferensi (Ismullah, 2014)