

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gelombang Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik merupakan gelombang yang dapat memancar tanpa adanya media rambat yang membawa energi listrik dan magnet (elektromagnetik) [12]. Tidak seperti gelombang yang pada umumnya membutuhkan media rambat, gelombang elektromagnetik tidak memerlukan media rambat (seperti radiasi). Energi elektromagnetik merambat dalam gelombang dengan beberapa karakter yang bisa diukur yaitu: panjang gelombang, frekuensi, amplitudo, dan kecepatan. Amplitudo merupakan tinggi gelombang, kemudian panjang gelombang merupakan jarak antara dua puncak. Frekuensi merupakan jumlah gelombang yang melalui suatu titik dalam satu satuan waktu. Frekuensi bergantung pada kecepatan merambatnya suatu gelombang. Karena kecepatan energi elektromagnetik adalah konstan (kecepatan cahaya), maka panjang gelombang dan frekuensi berbanding terbalik. Bentuk gelombang elektromagnetik hampir sama dengan bentuk gelombang transversal pada umumnya, namun pada gelombang ini terdapat muatan energi listrik dan magnetik dimana medan listrik (E) selalu tegak lurus terhadap medan magnet (B) yang keduanya menuju ke arah gelombang.

2.1.1 Pantulan, Hamburan, dan Serapan Gelombang Elektromagnetik.

Matahari merupakan sumber utama dari gelombang elektromagnetik terutama dikaitkan dengan kegiatan pemetaan yang memanfaatkan citra satelit. Dalam perjalanannya sampai ke permukaan bumi gelombang elektromagnetik ini mengalami hambatan. Hambatan ini terutama disebabkan oleh butir – butir yang ada di atmosfer seperti uap air, debu dan gas. Proses penghambatan ini terjadi terutama dalam bentuk serapan, pantulan dan hamburan. Hamburan ialah pantulan ke arah serba beda yang disebabkan oleh benda yang permukaannya kasar dan bentuknya tidak menentu, atau oleh benda – benda kecil yang terserak tak menentu. Sebagian gelombang elektromagnetik yang dapat mencapai permukaan bumi diserap oleh objek dipermukaan bumi, sedangkan selebihnya dipantulkan olehnya sehingga mencapai sensor yang dipasang pada pesawat terbang, satelit atau wahana

lainnya. Jumlah tenaga yang diserap dan dipantulkan akan sama dengan jumlah tenaga yang mengenainya.

2.1.2 Teori Maxwell

Pada tahun 1862, Maxwell mengutarakan teori gelombang elektromagnetik. Gerakan radiasi gelombang elektromagnetik mengikuti bentuk gelombang dengan gejala elektrik dan magnetik. Interaksinya terhadap benda tergantung atas sifat elektrik dan sifat magnetik bendanya. Sifat elektrik dan sifat magnetiknya merupakan satu rangkaian sifat yang tidak terpisahkan. Bila sifat elektriknya berubah, sifat magnetiknya berubah. Selanjutnya Hubungan antara kecepatan radiasi elektromagnetik, panjang gelombang dan frekuensinya dalam bentuk rumus sebagai berikut:

$$c = \lambda \cdot f \quad (2.1)$$

Untuk:

c = Kecepatan radiasi elektromagnetik = 3×10^8 m/detik

λ = panjang gelombang dalam satuan mikrometer.

f = frekuensi, yaitu jumlah siklus gelombang yang melalui satu titik tiap detik, dalam Hertz

2.1.3 Teori Kuantum

Teori kuantum juga disebut teori partikel, Dalam teori ini dinyatakan bahwa spektrum elektromagnetik terdiri dari bagian – bagian kecil berkesinambungan yang disebut “Photon” atau “Quanta”. Tenaga kuantum dapat dinyatakan dengan formula sebagai berikut:

$$E = h \cdot f \quad (2.2)$$

Untuk:

E = tenaga kuantum, dinyatakan dalam Joule (J)

h = Konstanta Plank yang besarnya $6,625 \times 10^{-34}$ J/detik

f = Frekuensi, dalam Hertz.

Bila $v = c/\lambda$, maka persamaan diatas menjadi:

$$E = h \frac{c}{\lambda} \quad (2.3)$$

Berdasarkan persamaan ini maka dapat diketahui bahwa tenaga kuantum berbanding terbalik terhadap panjang gelombang. Semakin besar panjang gelombang, semakin kecil tenaga kuantum, sehingga penggunaan dalam Remote Sensing untuk mengidentifikasi objek yang mempunyai ukuran kecil dan luasan yang kecil dapat dilakukan dengan tenaga kuantum yang besar dengan kata lain resolusi spasial pada spektrum tampak akan tampak lebih halus.

2.1.4 Hukum PLANK, STEFAN – BOLTZMAN dan WIEN

Panas atau tenaga kinetik merupakan akibat gerakan partikel suatu benda secara acak. Gerakannya berhenti bila suhu bendanya sebesar 0 K atau -273 K yang sering disebut suhu nol derajat absolut. Bila digunakan skala Kelvin, es mencair pada suhu 273 K. Tenaga Kinetik ini diukur dengan termometer yang dipasang pada objeknya. Pengukuran terhadap tenaga kinetik ini tidak mungkin dilakukan dari jauh, meskipun demikian tenaga yang dipancarkan dari objeknya dapat direkam dengan sensor yang dipasang jauh dari objeknya. Jumlah tenaga yang dipancarkan dari tiap objek dapat dihitung dengan menggunakan hukum Plank, yang ditulis dengan rumus

$$E = \frac{c_1 \lambda^{-6}}{\text{Exp}(c_2/\lambda T) - 1} \quad (2.4)$$

E = jumlah tenaga yang dipancarkan oleh permukaan objek tiap satuan luas pada gelombang panjang tertentu (= W/ (cm²m).

λ = panjang gelombang (= μm), T = suhu Absolut, K Exp = Eksponen

C1 = konstanta radiasi pertama yang besarnya = $2 hc^2$

C2 = konstanta radiasi kedua yang besarnya = ch / K

Jumlah tenaga yang dipancarkan ini sama dengan yang diperhitungkan dengan formula Stefan – Boltzmann (Hukum Stefan – Boltzmann) yaitu:

$$W = \sigma \cdot T^4 \quad (2.5)$$

Dengan:

W = Jumlah tenaga yang dipancarkan oleh permukaan objek tiap detik satuan luas ($= W \text{ m}^{-2}$).

σ = konstanta Stefan – Boltzmann, $5,6697 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$

T = suhu absolut objek, $^{\circ}\text{K}$

Dari hukum Stefan – Boltzmann ini dapat dijelaskan bahwa jumlah tenaga yang dipancarkan oleh tiap benda antara lain merupakan fungsi suhu permukaan objeknya. Jumlah tenaga yang dipancarkan dari suatu benda berbanding lurus terhadap suhu absolut benda tersebut, termasuk berlaku juga untuk benda hitam sempurna meskipun kenyataannya untuk benda ini seperti ini tidak ada. Karena tidak ada benda hitam yang menyerap secara sempurna maka rumus diatas perlu diubah menjadi:

$$W = e \cdot T^4 \quad (2.6)$$

Untuk e adalah daya pancar (emissivity) objek.

Dari rumus ini dapat disimpulkan mengenai dua hal:

1. Jumlah tenaga yang dipancarkan oleh suatu benda di permukaan bumi berbanding lurus terhadap pangkat empat suhu absolutnya. Semakin tinggi suatu objek, semakin besar tenaga yang dipancarkan olehnya.
2. Gelap terangnya gambaran objek pada citra tidak selalu menunjukkan suhu objeknya, karena daya pancar setiap objek tidak sama.

Semakin tinggi suhu benda yang memancarkan tenaga, semakin besar pula tenaga kinetik yang dipancarkan. Apabila suhu bertambah besar maka tenaga pancaran dari benda tersebut juga akan makin besar dan hal ini sesuai dengan panjang gelombang yang makin menuju ke arah panjang gelombang yang lebih pendek. Hubungan antara pancaran maksimum, panjang gelombang dan suhu dinyatakan dalam Hukum Pergeseran Wien. Persamaan Hukum Pergeseran Wien dirumuskan sebagai berikut:

$$\lambda_m = \frac{A}{T} \quad (2.7)$$

λ_m = panjang gelombang pada pancaran maksimum

A = konstanta yang besarnya 2898 m K, T = suhu absolut benda, $^{\circ}\text{K}$

Dari persamaan hukum pergeseran Wien diatas, panjang gelombang dengan pancaran maksimum berbanding terbalik terhadap suhu absolut benda pemancarnya. Pancaran matahari dengan suhu 6000 K mencapai radiasi maksimum pada panjang gelombang 0,5 μm . Oleh sebab itu pada penginderaan jauh sistem pasif (seperti citra Land Sat, IKONOS, Quick Bird) menggunakan matahari sebagai sumber tenaganya dengan menggunakan spektrum tampak yaitu di sekitar panjang gelombang 0,5 μm dan perluasannya.

2.2 Penginderaan Jauh (*Remote Sensing*)

Remote Sensing dalam bahasa Indonesia yaitu penginderaan jauh, dapat diartikan suatu teknik pengumpulan data atau informasi objek permukaan bumi secara tidak langsung (instrumen tidak kontak langsung dengan objek) melalui analisis pengumpulan datanya, yang didapatkan dari perekaman sensor yang menerima pantulan sinyal gelombang dari objek, wahana dari instrumen ini dapat berupa satelit luar angkasa (*spaceborne*) dan dapat juga berupa wahana pesawat (*airborne*).

Airborne remote sensing atau penginderaan melalui wahana pesawat memiliki sensor yang mengarah ke bawah ataupun ke samping, yang terpasang menjulang pada suatu pesawat untuk memperoleh citra dari permukaan bumi. Keuntungan dari wahana pesawat penginderaan jauh ini dibandingkan satelit penginderaan jauh (*spaceborne remote sensing*) adalah kemampuan resolusi spasial yang sangat tinggi yaitu 20 cm sampai di bawahnya. Selain itu, terdapat kekurangan dari penggunaan wahana pesawat ini yaitu *low coverage*. Maksudnya cakupan objek yang didapat sangat kecil dan biaya yang dibutuhkan sangat tinggi dalam satu cakupan pada area permukaan bumi serta tidak sangat efektif jika penggunaan wahana pesawat ini untuk memperoleh informasi permukaan bumi yang sangat luas. Sementara satelit penginderaan jauh menawarkan kemampuan memonitor secara kontinu dari informasi permukaan bumi untuk banyak hal keperluan, walaupun kemampuan resolusi spasialnya lebih kecil dibandingkan teknik wahana pesawat [3].

2.3 Pencitraan Radar (*microwave remote sensing*)

Penginderaan jauh dengan radar ini ialah pencitraan dengan memancarkan radiasi gelombang radar ke suatu permukaan bumi yang akan dicitrakan [4]. Citra dari

permukaan bumi dibentuk oleh pantulan atau hamburan energi gelombang radar dari permukaan baik daratan ataupun lautan dan sinyal gelombangnya dikembalikan lagi ke sensor. Kelebihan menggunakan pencitraan ini adalah dapat dilakukan pada kondisi siang hari ataupun malam hari, serta penetrasi gelombangnya dapat menembus awan, pepohonan serta perairan dangkal tergantung dari jenis band yang digunakan. Penetrasi gelombang radar dalam medium udara dipengaruhi oleh spectrum gelombang elektromagnetik yang digunakan, nilainya diantara frekuensi 300 Mhz hingga 30 Ghz atau pada panjang gelombang 1 cm sampai 1 m dengan polarisasi gelombang satu bidang vertikal atau horizontal. Spektrum gelombang elektromagnetik itu sendiri dikelompokkan menjadi band – band, dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut, [4]:

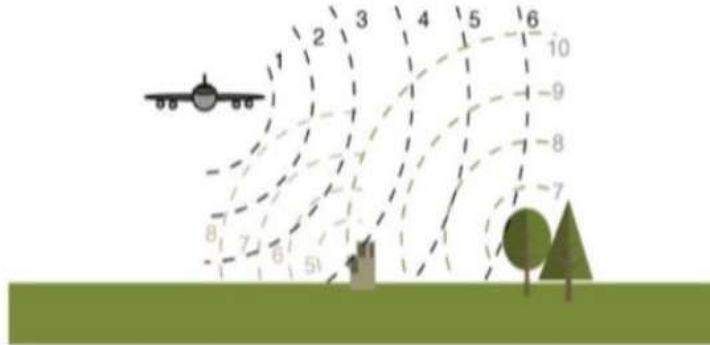
Tabel 2.1 Klasifikasi Band dari panjang gelombang dan frekuensinya [7]

Band	Panjang Gelombang (cm)	Frekuensi (MHz)
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	1.000 – 300

Citra radar yang diperoleh merepresentasikan jumlah energi pantul yang diterima oleh sensor. Besar kecilnya panjang gelombang yang digunakan berpengaruh pada citra yang diperoleh, semakin besar panjang maka semakin kuat daya tembus medium perantaranya (kanopi, perairan, salju, dsb) gelombangnya (dengan menganggap bahwa konstanta dielektrik medium atmosfer sama).

Pada permukaan bumi, pulsa gelombang radar dipancarkan ke segala arah, sebagian pantulannya diterima kembali oleh sensor. Intensitas dari gelombang pantulan ini

sangat lemah dibandingkan ketika dipancarkan, dapat dilihat pada ilustrasi gambar di bawah ini.



Gambar 2.1 Ilustrasi pulsa gelombang radar [17]

Ketika wahana memancarkan sinyal radar, memiliki bentuk geometri pencitraan tersendiri. Berikut ini adalah faktor-faktor geometri pada pencitraan radar, yaitu:

- *Incidence Angle*
Incidence Angle merupakan sudut yang dibentuk antara pancaran gelombang radar dengan garis yang tegak lurus terhadap permukaan objek.
- *Depression Angle*
Depression Angle adalah sudut yang dibentuk dari arah horisontal ke arah garis pancaran gelombang radar.
- *Look Angle*
Look Angle merupakan sudut antara utara geografis dan arah pancaran gelombang radar atau dengan garis yang tegak lurus arah terbang wahana.
- *Look Direction*
Look Direction merupakan arah antena pada saat melakukan pencitraan.

2.4 Pencitraan Radar Ke samping (*Side Looking*)

Penginderaan jauh radar mengindera ke arah samping (*side looking*) atau tegak lurus terhadap arah terbangnya wahana sambil memancarkan pulsa untuk merekam objek dan diterima kembali sebagai hamburan balik (*backscatter*). Sistem radar dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu sistem *Real Aperture Radar* (RAR) dan *Synthetic Aperture Radar* (SAR). Beda antara kedua sistem ini ialah antenanya yang menghasilkan resolusi spasial yang berbeda [5].

2.4.1 Real Aperture Radar (RAR)

Real Aperture Radar (RAR) merupakan sistem pencitraan radar dengan mengarah ke samping (*side looking*) dengan geometri pengamatannya seperti tinggi terbang, sudut pengamatan, panjang gelombang yang digunakan dan lain sebagainya tergantung dari satelit yang digunakan.

Resolusi spasial dari sistem RAR ini ditentukan terutama oleh ukuran antena yang digunakan, semakin besar ukuran antenanya maka semakin baik resolusi spasialnya. Faktor lain yang menentukan antara lain, durasi pulsa dan *beamwidth* dari antenanya. Dalam sistem Real Aperture Radar (RAR) resolusi spasial dibagi atas 2 hal, yaitu sebagai berikut:

- Resolusi *range*

Resolusi *range* didefinisikan merupakan jarak terkecil antara dua titik dalam permukaan (*ground*), dengan memproyeksikan resolusi *slant range* ke dalam permukaan diformulasikan sebagai berikut [6]:

$$R_{gr} = \frac{c \cdot \tau}{2 \cdot \sin \theta} \quad (2.8)$$

Dimana R_{gr} resolusi ground range, c kecepatan cahaya, τ panjang pulsa, dan θ *look angle*.

Pada dasarnya *slant range* adalah jarak yang diukur antara antena radar dengan target yang dicitrakan dan *ground range* adalah jarak yang diukur antara arah lintasan *platform* satelit radar yang tegak lurus dengan objek yang ada dipermukaan bumi.

- Resolusi *azimuth*

Resolusi *azimuth* merupakan resolusi pada arah yang sejajar dengan arah terbang. Dua titik dapat dibedakan sepanjang arah lintasan hanya jika mereka tidak diindera secara simultan. Untuk membedakan dua objek secara terpisah, harus dipisahkan pada arah *azimuth* oleh jarak yang lebih besar dibandingkan dengan lebar *footprint* di permukaan bumi.

Resolusi *azimuth* dipengaruhi oleh *beamwidth* antena tersebut. Sinyal radar dari antena menyebar dan lalu meningkatkan jaraknya ke permukaan bumi

lalu dipantulkan kembali dan beberapa sinyal hamburan yang diterima kembali oleh *platform* dengan membawa informasi melalui pulsa yang dipancarkan dan diterima tersebut, akibatnya resolusi *azimuth* memburuk, tapi pada intinya *beamwidth* antena dikontrol dengan: (1) dikontrol oleh panjang fisik dari antena; (2) dikontrol keefektifan sintesis panjang dari antena. Sementara untuk *azimuth* resolusi dalam sistem RAR ini diformulasikan sebagai berikut [6]:

$$R_a = \frac{\lambda \cdot r}{L_a} \quad (2.9)$$

Dimana R_a resolusi *azimuth*, λ panjang gelombang, r jarak dari sensor ke permukaan, L_a panjang antena.

Sistem ini dimana *beamwidth*nya dikontrol oleh fisik dari panjang antena, contohnya untuk resolusi spasial sampai 10 km, dengan mengumpamakan pengamatan jarak sebesar 1000 km.

2.4.2 Synthetic Aperture Radar (SAR)

Synthetic Aperture Radar (SAR) merupakan sistem radar koheren yang membentuk citra penginderaan jauh resolusi tinggi yang dapat digunakan pada siang maupun malam hari [7]. SAR dapat digunakan pada siang maupun malam hari pada segala jenis kondisi cuaca, hal ini dikarenakan sistem SAR menggunakan gelombang radio (*microwave*) untuk pengamatan permukaan bumi.

2.5 Interferometry Synthetic Aperture Radar (InSAR)

2.5.1 Prinsip SAR Interferometri

Sistem SAR interferometri (*Synthetic Aperture Radar*) menyinari bumi dengan sinar dari radiasi koherensi gelombang radar, dengan mempertahankan informasi fase dan amplitudo dalam gema radar selama akuisisi data (pengambilan data) dan pengolahannya. Radiasi ini dapat di gambarkan melalui 3 properti utama, sebagai berikut:

1. Panjang gelombang, jarak antar puncak dalam gelombang.

2. Amplitudo, pergeseran dari puncak dari gelombang.
3. Fase, gambaran pergeseran dari gelombang (baik *degree* maupun *shift*) dari beberapa gelombang lain.

InSAR yang merupakan salah satu metode dari SAR saat ini banyak digunakan untuk pemetaan topografi daratan dan permukaan es, studi struktur geologi dan klasifikasi batuan, studi gelombang dan arus laut, studi karakteristik dan pergerakan es, pengamatan deformasi dan gempa.

2.6 PSInSAR

Permanent Scatterer Interferometry Synthetic Aperture Radar (PSInSAR) adalah suatu teknik dimana teknik ini dikembangkan dari teknik InSAR (*Interferometry Synthetic Aperture Radar*) yang digunakan untuk mengukur deformasi permukaan tanah. Tujuan dari aplikasi PSInSAR adalah untuk mengidentifikasi deformasi lahan dalam piksel-piksel koheren tunggal dari beberapa citra SAR yang dipisahkan oleh baseline besar untuk memperoleh akurasi tinggi [10]. Tingkat akurasi pengukuran deformasi dengan menggunakan PSInSAR setidaknya dapat mencapai hingga fraksi sub-meter atau bahkan milimeter per tahun. PSInSAR memiliki kelebihan dalam hal pengolahan data dibandingkan dengan metode lain seperti DInSAR yaitu mampu mengeliminasi kesalahan dekorelasi yang terjadi disebabkan waktu pengamatan dengan rentang waktu yang lama. Proses dalam metode PS InSAR menggunakan perhitungan perataan matematika, dan estimasi kesalahan serta terdapat proses pemilahan pada data. Teknik PS InSAR mirip dengan teknik InSAR konvensional tetapi biasanya membutuhkan 20 atau lebih citra SAR yang diproses secara bersamaan untuk menentukan sebagian variansi amplitudo dari semua citra SAR di setiap piksel. Piksel yang memiliki variansi amplitudo yang relatif tinggi di antara banyak citra SAR dipilih sehingga menghasilkan kumpulan data yang berisi piksel yang stabil. Fase diferensial kemudian dihitung dengan cara yang sama seperti pada proses InSAR konvensional. Namun, fase diferensial dihitung hanya untuk setiap piksel yang stabil dalam batas citra. Model regresi fase diferensial kemudian dihitung untuk pasangan interferometrik yang dipilih, yang mendefinisikan ketergantungan linear fase interferometrik pada perbedaan dalam

geometri satelit dari dua gambar SAR yang menyusun pasangan interferometrik [10].