BAB II
LANDASAN TEORI

II.1 Penurunan Muka Tanah

Fenomena penurunan muka tanah adalah aktivitas pergeseran atau penurunan permukaan bumi akibat pergerakan material bumi (Fulton, 2008). Penurunan tanah bisa lambat atau tiba-tiba. Perubahan mendadak di permukaan bumi biasanya diikuti dengan perubahan fisik yang sebenarnya, dan besaran serta kecepatan kehancuran dapat langsung diketahui (Islam, Prasetyo dan Sudarsono, 2017). Penurunan muka tanah merupakan salah satu masalah geologi yang dapat disebabkan beberapa hal seperti pengambilan air secara berlebihan, pengambilan minyak dan gas alam atau sumber daya mineral dari tanah dengan kegiatan pemompaan, atau penambangan. Merujuk dari (Whittaker dan Reddish, 1989) secara keseluruhan terdapat tiga faktor yang mempengaruhi penurunan muka tanah, seperti yang dijelaskan sebagai berikut.

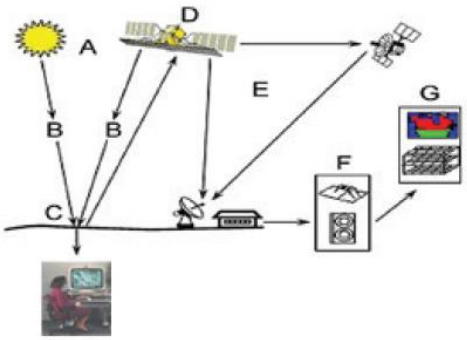
1. Penurunan tanah disebabkan oleh proses geologis seperti siklus geologis dan adanya sedimen cekungan atau gua bawah tanah.
2. Penurunan tanah akibat ekstraksi air tanah (*groundwater extraction*). Pemompaan air tanah yang berlebihan akan mengakibatkan penurunan jumlah air tanah di akuifer, sehingga mengosongkan pori-pori tanah dan mengurangi tekanan hidrostatik di bawah permukaan tanah.
3. Penurunan muka tanah akibat faktor beban bangunan (*settlement*). Lapisan di bawah permukaan tanah dapat mengalami pemampatan seperti kompaksi atau konsolidasi akibat beban bangunan yang di atasnya. Pemampatan ini diakibatkan adanya deformasi partikel tanah atau keluarnya air dari dalam pori-pori tanah.

Implikasi nyata dari penurunan tanah adalah pengaruhnya terhadap pola aliran permukaan. Turunnya permukaan tanah dapat menyebabkan tempat-tempat mengalami banjir yang mungkin tidak pernah terlihat sebelumnya. Hal ini menyebabkan lebih banyak kerusakan pada kota yang sudah mengalami penurunan permukaan tanah. Penurunan muka tanah dapat menyebabkan dampak yang serius bagi lingkungan seperti dengan rusaknya infrastruktur bangunan, jalan dan

jembatan, intrusi air laut serta berdampak pada perencanaan lingkungan dan tata ruang kota. Pengamatan penurunan muka tanah dalam jangka waktu tertentu dapat diamati hingga milimiter, dan dampaknya akan mempengaruhi infrastruktur dan stabilitas ekonomi daerah tersebut. Kajian karakteristik permukiman diperlukan untuk mengetahui sifat dan laju penurunan. Hal ini diperlukan untuk struktur dan perencanaan wilayah, yang membutuhkan stabilitas wilayah lokasi pembangunan dan pusat-pusat pembangunan (Hutabarat, 2017).

II.2 Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh merupakan suatu metode atau teknik untuk menganalisis suatu objek di permukaan bumi tanpa kontak langsung dengan objek tersebut menggunakan alat yang disebut dengan sensor. Sensor pada satelit dapat berupa sistem aktif dan sistem pasif. Pada sensor pasif menggunakan tenaga alami yaitu dengan memanfaatkan cahaya matahari sehingga pada sistem pasif ini tidak dapat beroperasi pada malam hari diakibatkan karena tidak adanya sinar alami yang dapat memungkinkan terjadinya pantulan gelombang elektromagnetik. Sedangkan sensor aktif menggunakan energi yang dipancarkan melalui satelit atau pesawat itu sendiri contohnya adalah pada sistem Lidar dan Radar (Hadi, 2019). Penginderaan jauh terbangun oleh beberapa komponen yang saling mendukung. Komponen tersebut adalah sumber tenaga, atmosfir, interaksi tenaga objek, sensor, sistem pengolahan data, dan berbagai pengguna data (Sutanto, 1994; Lilesand, Kiefer, dan Chipman, 2007). Komponen sistem penginderaan jauh secara garis besar dapat dibagi menjadi 3 komponen, yakni alami, teknologi, dan manusia. Sistem penginderaan jauh diilustrasikan oleh Gambar II.1.



Gambar II. 1 Komponen penginderaan jauh

Berdasarkan Gambar II.1 menunjukkan adanya tujuh elemen yang berperan dalam penginderaan jauh yaitu.

1. Sumber Energi (A), yaitu cahaya matahari dan energi yang dipancarkan oleh satelit digunakan untuk memberikan energi elektromagnetik ke target yang diinginkan.
2. Radiasi dan Atmosfer (B), dimaksudkan dengan energi akan bersentuhan terlebih dahulu dengan atmosfer yang dilaluinya sebelum berinteraksi dengan target.
3. Interaksi dengan Target (C), yaitu energi yang dipancarkan akan dipantulkan yang dipengaruhi oleh kondisi radiasi dan target yang ingin diteliti.
4. Perekaman oleh Sensor (D), setelah energi elektromagnetik yang dipancarkan mengenai target di Bumi, sensor tersebut berguna sebagai media untuk mengumpulkan dan merekam radiasi elektromagnetik dengan tidak bersentuhan langsung dengan objek.
5. Transmisi, penerimaan, dan pengolahan (E), data hasil perekaman oleh sensor ditransmisikan kedalam bentuk elektronik ke stasiun penerima.
6. Interpretasi dan Analisis (F), setelah dilakukan pemrosesan data menjadi citra yang memiliki informasi, dilanjutkan dengan interpretasi dan analisis data baik secara visual maupun digital yang bertujuan untuk mengekstrak informasi mengenai target.
7. Aplikasi atau Pemanfaatan (G), proses terakhir yaitu aplikasi atau pemanfaatan dari produk dari penginderaan jauh, informasi yang telah diekstrak dari citra satelit dimanfaatkan oleh pengguna untuk memahami tentang keadaan target hingga membantu dalam memecahkan suatu permasalahan tertentu.

II.3 Radar (*Radio Detection dan Ranging*)

Radar atau *Radio Detection and Ranging* merupakan suatu sistem pendeteksi objek yang memanfaatkan gelombang elektromagnetik agar dapat menentukan jarak (*range*), arah (*direction*), atau kecepatan (*speed*) dari suatu objek di permukaan bumi baik objek bergerak maupun objek yang diam (Haniah dan Prasetyo, 2011). Radar memiliki sistem kerja yang menggunakan gelombang

elektromagnetik berupa gelombang radio dan gelombang mikro, dengan panjang gelombang mulai dari milimeter hingga satu meter. Gelombang mikro dapat menembus awan dan vegetasi dan tidak terpengaruh oleh keadaan cuaca. Karena radar memiliki sensor aktif, ini berarti sensor radar memancarkan dan merekam energinya sendiri. Sistem radar yang berfungsi terdiri dari memancarkan gelombang radio dan gelombang mikro di seluruh permukaan bumi, yang kemudian dipantulkan dan dideteksi oleh sistem radar sehingga sistem radar dapat mengidentifikasi objek (Haniah dan Prasetyo, 2011). Besar kecilnya panjang gelombang yang digunakan pada sistem Radar bergantung pada citra yang digunakan. Semakin besar panjang gelombangnya maka semakin kuat daya tembus gelombangnya. Spektrum gelombang mikro biasanya diartikan sebagai energi elektromagnetik dengan frekuensi mulai dari sekitar 1 GHz hingga 100 GHz. Aplikasi yang paling umum berada dalam rentang 1 hingga 40 GHz.

Frekuensi gelombang mikro, seperti yang didefinisikan oleh *Radio Society of Great Britain* ditambah *P-Band* yang dapat dilihat pada Tabel II.1. Seperti pada *band* L-*Band* adalah jauh lebih sensitif terhadap kelembapan tanah dibandingkan panjang gelombang lainnya. Panjang gelombangnya jauh lebih besar dari daun pohon pada umumnya sehingga jenis vegetasi tertentu transparan terhadap sensor *L-Band*, sehingga menerima lebih banyak gelombang dari tanah dibandingkan dengan vegetasi. *L-Band* lebih rentan terhadap efek ionosfer dibandingkan panjang gelombang lainnya (Haniah dan Prasetyo, 2011). Panjang gelombang pada citra SAR dikelompokkan berdasarkan *band* yang digunakan, seperti yang dijelaskan pada Tabel II.1 dan penggunaan pada *band* tersebut dapat dilihat pada Tabel II.2.

Tabel II. 1 Panjang gelombang radar dan frekuensinya
(Sumber: Haniah dan Prasetyo, 2011)

Band	**Panjang Gelombang (cm)**	**Frekuensi (MHz)**
P	30,0 – 100,0	1.000 – 300
L	15,0 – 30,0	2.000 – 1.000
S	7,5 – 15,0	4.000 – 2.000

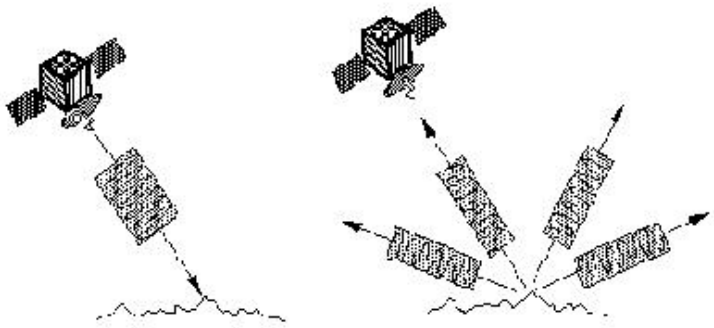
Band	Panjang Gelombang (cm)	Frekuensi (MHz)
C	3,8 – 7,5	8.000 – 4.000
X	2,4 – 3,8	12.500 – 8.000
Ku	1,7 – 2,4	18.000 – 12.500
K	1,1 – 1,7	26.500 – 18.000
Ka	0,8 – 1,1	40.000 – 26.500

Tabel II. 2 Aplikasi gelombang radar

(Sumber: (Haniah dan Prasetyo, 2011)

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

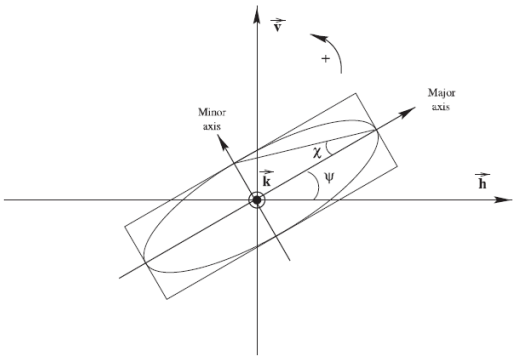
Gelombang radar dapat menembus awan, dan perangkat radar mendeteksi area yang tertutup awan. Sehingga data Radar diharapkan dapat mengatasi kekurangan penggunaan data optik yang terganggu oleh tutupan awan. Data radar memiliki keunggulan dalam mendeteksi area berawan atau mengumpulkan data di malam hari. Selain itu, interaksi gelombang radar dengan objek di permukaan bumi dipengaruhi oleh panjang gelombang, kekasaran permukaan, bentuk, dan kandungan airnya. Pulsa gelombang radar dikirim ke segala arah di permukaan bumi, beberapa di antaranya diterima oleh sensor ilustrasi ini dapat dilihat pada ilustrasi Gambar II.2 dibawah ini.



Gambar II. 2 Ilustrasi gelombang hamburan dari permukaan bumi
(Sumber: Prasetyo dan Subiyanto, 2014)

Panjang gelombang elektromagnetik yang dipancarkan satelit memiliki pengaruh yang kuat terhadap objek yang ada di permukaan bumi. Polarisasi sinyal radar menunjukkan arah gelombang elektromagnetik yang dikirim dan diterima oleh antena. Sifat polarisasi didefinisikan dari komponen gelombang elektromagnetik dengan struktur geometris, dari arah rambatnya sumbu vertikal dan horizontal yang memiliki sistem koordinat tertentu dan didefinisikan dengan sisi panjang dan pendek antena radar. Polarisasi mengacu dari orientasi dan bentuk pola yang dibentuk oleh ujung vektor yang mewakili pola reguler yaitu panjang vektor dan laju rotasi vektor, panjang vektor diambil dari panjang gelombang sedangkan laju rotasi vektor diambil dari frekuensi gelombang (Ariyantoni dan Rokhmana, 2020).

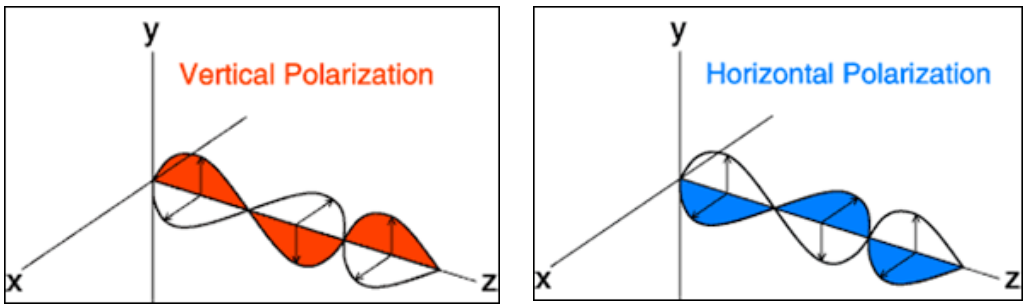
Citra radar mengirimkan polarisasi horizontal dan menerima gema terpolarisasi horizontal, atau mengirimkan pantulan polarisasi vertikal dan menerima polarisasi vertikal dari permukaan bumi untuk menciptakan polarisasi HH / VV (*like-polarized image*). Gelombang radar yang dipancarkan ke objek di permukaan bumi kemudian akan dipantulkan kembali ke sensor. Pantulan yang dikembalikan ini memiliki suatu polarisasi. Polarisasi adalah orientasi atau arah dari gelombang radar. Biasanya gelombang dikirim dan diterima dalam polarisasi yang sama (HH atau VV). Namun, terdapat beberapa gelombang terpolarisasi silang, yaitu mengirim gelombang terpolarisasi horizontal dan menerima gelombang terpolarisasi secara vertikal (HV).

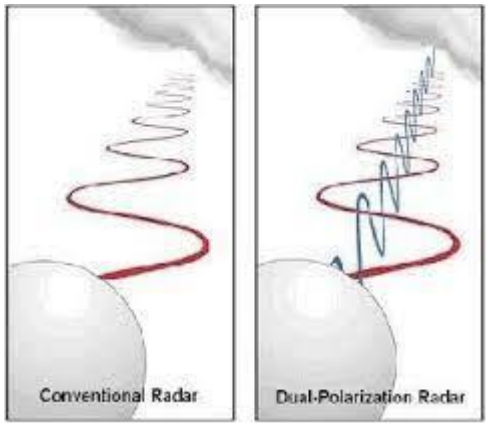


Gambar II. 3 Polarisasi gelombang pada bidang vektor

(Maitre, 2001)

Gelombang elektromagnetik dapat dibedakan berdasarkan arah dari medannya yaitu tegak lurus terhadap bidang ataupun sejajar dengan bidang tersebut. Gambar II.3 vektor $\vec{h}$ merupakan bidang horizontal. Polarisasi horizontal terjadi ketika ψ sejajar dengan 0°. Sedangkan polarisasi vertikal terjadi ketika ψ sama dengan 90° (Maitre, 2001). Berdasarkan hal tersebut pada Gambar II.4 dapat diketahui bahwa sistem radar memiliki empat polarisasi, yang pertama adalah HH dengan bertransmisi horizontal dan penerima horizontal, VV untuk transmisi vertikal dan penerimaan secara vertikal, HV untuk transmisi horizontal dan penerimaan secara vertikal, sedangkan VH untuk transmisi vertikal dan penerimaan secara horizontal (Febriyanti, 2017).



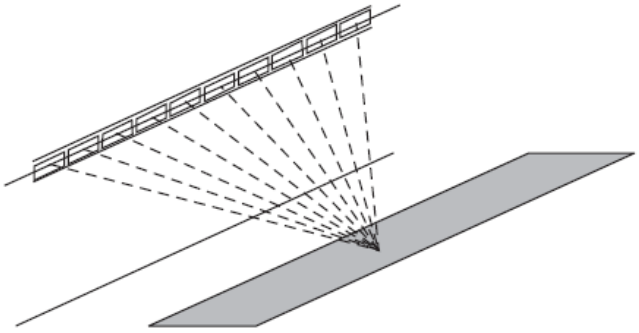


Gambar II. 4 Polarisasi radar

(Marsili, 2010)

II.4 *Synthetic Aperture Radar* (SAR)

Synthetic Aperture Radar (SAR), adalah teknik yang dapat digunakan untuk melakukan pemetaan suatu objek melalui pancaran dan penerimaan sinyal elektromagnetik (EM) (Ferro-Famil dan Pottier, 2016). Konsep SAR adalah menggunakan frekuensi radio dari seluruh spektrum untuk membedakan dua distribusi dalam sinar antena. Faktor penentu dalam proses ini adalah pemindaian radar, yang merupakan fase dan amplitudo yang diterima dan disimpan. Hal ini memberi kesan bahwa antena panjang sedang digunakan dengan menggabungkan informasi dari berbagai gelombang yang diterima. Dengan kata lain sensor SAR menggunakan teknologi pencitraan yang menggunakan teknik pemrosesan sinyal sehingga dengan menggerakkan antena yang kecil dapat menghasilkan hasil seperti antena yang lebih besar (Sèze dan Pawlowska, 2001). Prinsip kerja SAR dapat dilihat pada Gambar II.5.



Gambar II. 5 Prinsip kerja SAR

(Maitre, 2001)

Setiap pulsa yang dikirim oleh sensor direfleksikan dalam sistem penerimaan dan perekaman. Resolusi dari citra yang dihasilkan oleh sensor SAR sangat bergantung pada ukuran antena dan karakteristik sensor SAR yang digunakan. Resolusi citra searah lintasan pesawat atau dikenal dengan *Azimuth Resolution* (Raz) ditentukan oleh panjang dari antena (L). Semakin pendek pulsa yang dipancarkan maka semakin baik resolusi yang dihasilkan (Chan dan Koo, 2008). Pencitraan SAR memungkinkan pengguna dari jarak jauh untuk memetakan reflektifitas objek atau lingkungan dengan resolusi spasial yang tinggi dengan menerima sinyal gelombang elektromagnetik. Hasil gambar dari teknik ini dapat digunakan untuk berbagai aplikasi, seperti fungsi dasar radar yang merupakan deteksi objek dan lokasi geografisnya, termasuk estimasi beberapa sifat geofisika dari lingkungan yang kompleks, seperti dimensi tertentu, kadar air, kekasaran, kepadatan dan lainnya.

Domain frekuensi yang umumnya digunakan oleh perangkat SAR, sistem pengindraan aktif ini tidak bergantung pada sinar matahari dan kondisi cuaca. Sistem SAR yang dipasang pada sensor udara atau satelit dengan cepat mencitrakan lingkungan yang luas yang berpotensi sulit diakses dari pengukuran lapangan. Karakteristik ini membuat sistem pencitraan radar menjadi metode yang sangat cocok untuk pengindraan jauh dan digunakan untuk sejumlah aplikasi yang besar di berbagai sektor, seperti geofisika, pertahanan, lingkungan pengawasan dan deformasi permukaan bumi (Yazici dan Tunc Gormus, 2020). Citra SAR yang diolah secara interferometri pada umumnya memiliki informasi *amplitudo* (a) dan *phase* (φ) yang tersimpan pada setiap pixelnya (Hanafiah Ismullah, 2004).

1. *Amplitudo*

   Amplitudo merupakan kuatnya hamburan yang dipantulkan dari sebuah objek yang dapat diterima oleh *transmitter*. Semakin kuat hamburan pantulan objek, semakin terang area yang terdeteksi oleh sistem radar, menunjukkan bahwa objek yang terdeteksi adalah objek dengan permukaan yang kasar. Sebaliknya, semakin gelap area yang terekam maka hamburan yang dipantulkan oleh objek tersebut semakin lemah. Hal tersebut juga menunjukkan objek yang direkam merupakan objek dengan permukaan

halus. Pada intinya, kekasaran permukaan mempengaruhi terhadap gelombang yang dipancarkan.

2. *Phase*

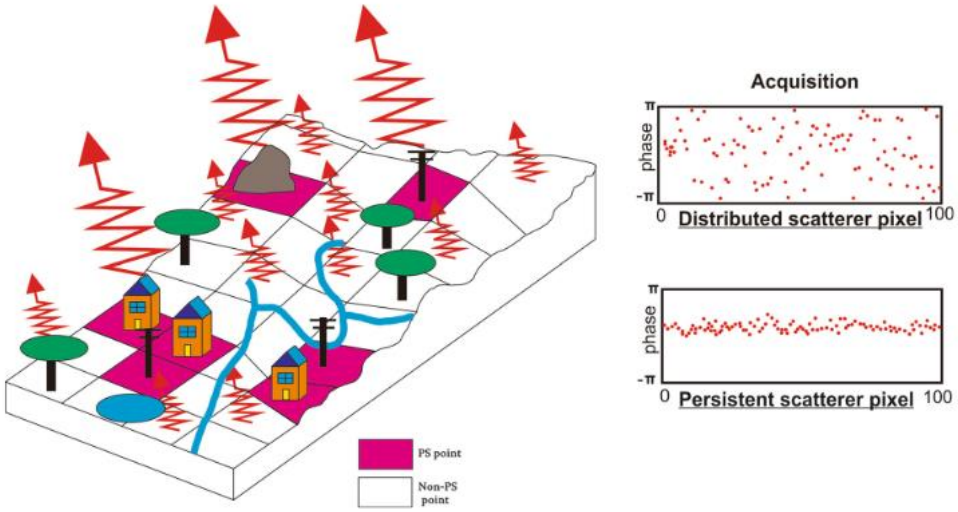
   Phase merupakan kondisi suatu gelombang ketika diterima kembali oleh *receiver*. Ketika titik di permukaan bumi bergerak, maka jarak antar sensor dan titik tersebut akan berubah yang mengakibatkan perubahan pada nilai phase uang direkam oleh sensor SAR, hubungan antara pergerakan titik di permukaan bumi dan pergeseran sinyal *phase* ditunjukkan pada Gambar II.5

II.5 *Permanent Scatterer Inferometric Synthetic Aperature Radar* (PS-InSAR)

Differential Interferometric Synthethic Aperture Radar (DinSAR) merupakan metode yang menggunakan citra interferormetrik pasangan tunggal SAR yang memiliki beberapa keterbatasan yang disebabkan oleh perubahan yang tidak koheren pada hamburan balik target dan gangguan atmosfer. Keterbatasan ini dapat diperbaiki dengan menggunakan teknik *Permanent Scatterer Interferometric* SAR (PS-InSAR) yang menggunakan sekumpulan citra interferometri SAR pada area yang sama dalam waktu yang lama (Ferretti, Prati, dan Rocca, 2001). PS-InSAR adalah DinSAR multi-temporal yang memproses serangkaian gambar SAR temporal dengan waktu yang lama (biasanya lebih dari 15 gambar) dan mengidentifikasi target radar yang memberikan sinyal fase hamburan balik untuk menemukan kecepatan tanah sepanjang *Line of Sight* (LOS).

Teknik yang memproses rangkaian citra SAR multi temporal dapat dikelompokkan menjadi *Permanent Scatterer Interferometric* (PSI) dan *Small Baseline Subset* (SBAS). Teknik PSI seperti PS-InSAR, mengidentifikasi penghambur *persistent* pada interferogram yang dihasilkan dengan menggunakan satu gambar master (Duro dkk., 2005), sedangkan metode SBAS menggunakan kombinasi citra SAR multi-master dengan pemisahan *temporal baseline* yang pendek dan tegak lurus untuk mengurangi efek dekorrelasi spasial dan temporal (Carlà dkk., 2016). Prinsip dasar metode PSInSAR adalah menggunakan data pengamatan dari gambar SAR multi-temporal. Keuntungannya adalah dapat diamati dalam jangka waktu yang lama untuk menentukan titik-titik potensial

koherensi. Dalam metode ini, algoritma mencari *pixel* yang menyebarkan berkas radar dengan intensitas yang sama (permanen) di semua gambar karena *pixel* ini memberikan informasi *phase* yang paling stabil. Secara fisik dapat berupa bebatuan, jalan, jembatan, sudut konstruksi, dan lain-lain sehingga tepat jika digunakan terutama di wilayah perkotaan. Teknik PS-InSAR menggunakan beberapa citra SAR untuk meningkatkan kemampuan deteksi untuk deformasi (Ferretti, Prati dan Rocca, 2001). PS-InSAR menganalisis hamburan balik dari objek di permukaan tanah atau dari objek (Sneed, Brdant dan Solt, 2013). Hamburan balik dari objek ini dapat dengan mudah dilihat di area pemukiman karena struktur buatan manusia dapat dijadikan sebagai acuan untuk sistem PS-InSAR karena memiliki fase yang koheren, hal ini dapat dilihat pada Gambar II.6



Gambar II. 6 Hamburan balik pada citra SAR
(Sumber: Yhokha dkk., 2018)

Distribusi *sctterer pixel* pada Gambar II.6 dapat terlihat bahwa hamburan balik yang dipancarkan tidak memiliki hamburan balik yang mendominasi dan hanya menunjukkan hamburan yang terdistribusi. Sedangkan pada gambar *preseistent* menunjukkan adanya hamburan yang memiliki *phase* yang stabil. Singkatnya, *pixel* yang dipilih memiliki nilai fase yang tetap pada sekumpulan gambar. Pada Gambar II.6 menunjukkan objek di permukaan bumi yang memiliki informasi *phase* yang stabil dalam sebuah pixel (Borghero, 2017). PS-InSAR dikembangkan untuk memberikan solusi atas dekorelasi teknik InSAR dan

DinSAR khususnya dekoreslasi yang disebabkan oleh efek temporal dan geometris (Ferretti, Prati dan Rocca, 2001). Keakuratan pengukuran deformasi dengan PS-InSAR dapat dicapai hingga milimeter per tahun sehingga PS-InSAR memiliki keunggulan pengolahan data dibandingkan metode lain seperti DinSAR dan InSAR, yaitu dapat menghilangkan kesalahan dekorelasi akibat dari pengamatan dalam jangka waktu yang lama (Sneed, Brdant dan Solt, 2013).

II.5 Jenis Batuan

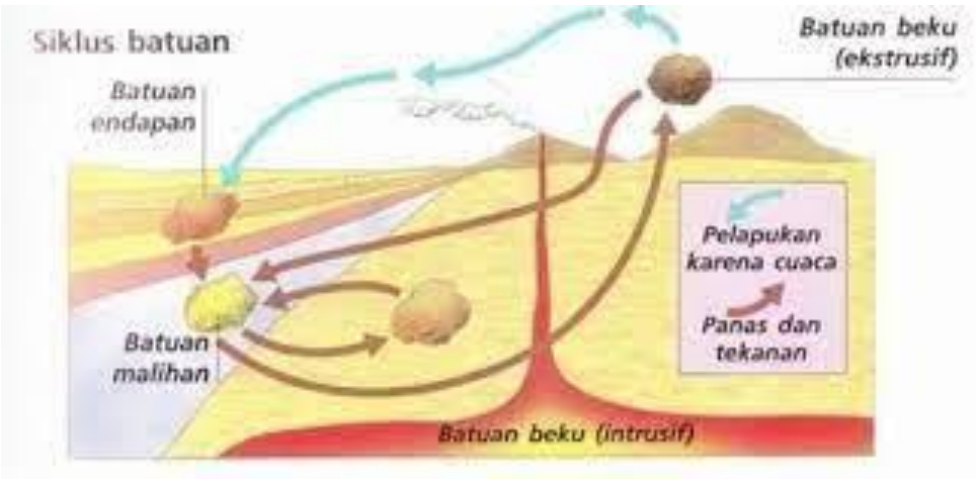
Geologi merupakan riset tentang bumi, baik di bagian dalamnya serta permukaan luarnya, batuan serta bahan lain yang terdapat di lingkungan sekitar, proses yang menciptakan ataupun pembuatan bahan-bahan itu, aliran air di atas serta di dasar permukaan tanah, perubahan-perubahan yang sudah terjalin sepanjang sejauh waktu geologis, serta pergantian yang dapat diprediksi hendak terjalin dalam waktu dekat (Suroyo, 2019). Geologi regional sendiri merupakan gambaran struktur pembentuk geologi dari suatu wilayah. Ilmu geologi memiliki banyak cabang ilmu lainnya salah satunya adalah cabang ilmu litologi. Litologi merupakan karakteristik fisik dari batuan seperti warna, komposisi mineral dan ukuran butir.

Batuan merupakan sesuatu barang tersusun dari mineral-mineral yang sama ataupun tidak sama jenisnya (Kusmiyarti, 2016). Mineral batuan tidak selalu berukuran besar namun dapat juga berbentuk lumpur, liat serta pasir yang juga termasuk ke dalam batuan. Batuan dapat digolongkan menjadi 3 bagian, yaitu sebagai berikut.

1. Batuan beku (*Igneous Rock*) ialah batuan langsung yang terjalin dari pembekuan magma.
2. Batuan sedimen (*Sedimentary Rock*) ialah batuan hasil pengendapan dari bahan rombakan batuan hasil denudasi atau reaksi kimia ataupun organisme, pelarutan ataupun faktor organis. Pada dasarnya batuan sedimen berkaitan dengan proses pelapukan, erosi, denudasi lithifikasi dari bahan asal hingga menjadi batuan sedimen.
3. Batuan metamorfik (*Metamorphic Rock*) ialah ialah batuan hasil ubahan dari batuan terdahulu sebab pengaruh temperatur dan tekanan yang besar

yang mengalami perubahan tekstur dan komposisi mineral akibat dari adanya perubahan fisika.

Pembentukan ketiga jenis batuan dapat (*Rock Cycle)* dapat dilihat pada Gambar II. 8. Gambar II.8 dapat dijelaskan bahwa pada mulanya batuan beku merupakan hasil terbentuknya dari proses pembekuan magma atau yang dikenal dengan istilah *Differnsiasi Magma*.



Gambar II. 7 Siklus batuan

(Sumber: Putri, Amir dan Akmam, 2014)

Batuan beku yang terbuka ke permukaan bumi mengalami proses pelapukan akibat proses alami dari cahaya matahari, hujan dan angin, kemudian mengalami proses erosi dan berpindah ke tempat yang lebih rendah dan berubah menjadi endapan sedimen. Proses berikutnya akibat adanya tekanan dan kompaksi, endapan sedimen mengalami pengerasan atau berubah menjadi batu, atau yang disebut dengan batuan sedimen. Batuan sedimen dan batuan beku akan berubah menjadi batuan metamorf apabila mengalami proses deformasi dan metamorfisme akibat tekanan dan temperatur yang tinggi. Selanjutnya, batuan sedimen dan batuan metamorf yang berada pada kedalaman tertentu akan meleleh kembali menjadi magma, dan mengalami proses pembekuan lagi dan berubah kembali menjadi batuan beku. Proses ini terus berulang sehingga membentuk suatu siklus batuan.