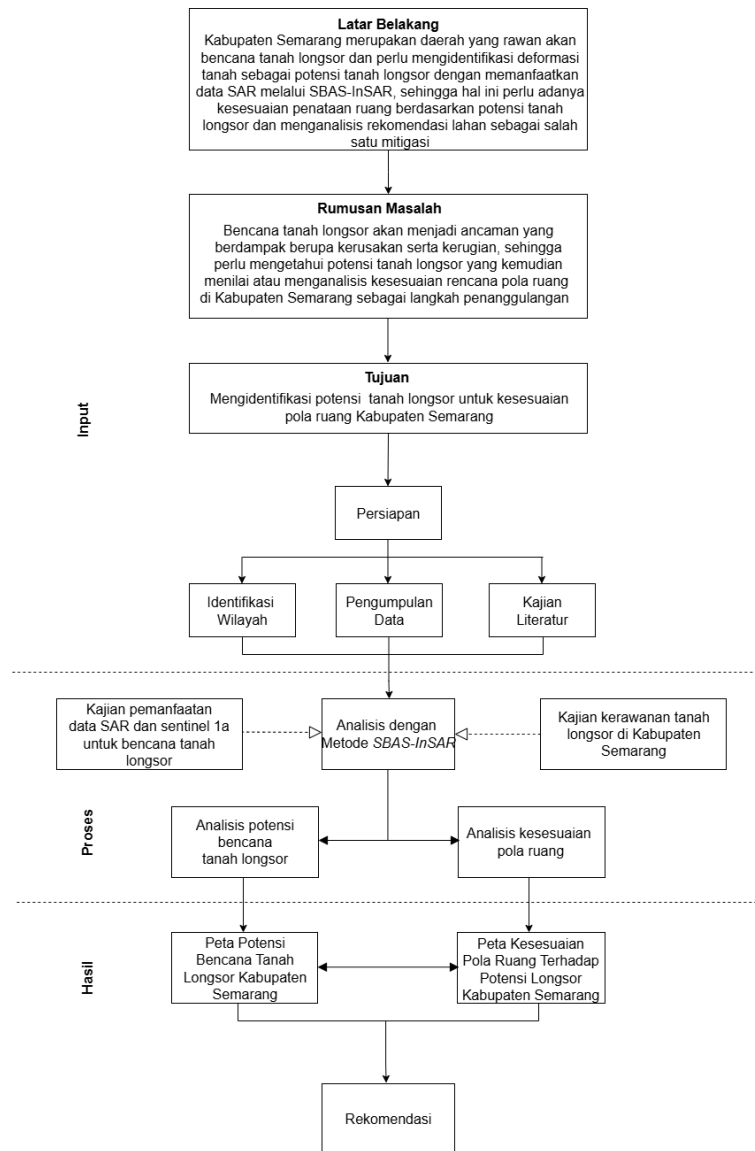


BAB II

KONSEP PERENCANAAN

2.1 Diagram Alir Perencanaan

Diagram alir perencanaan ini akan memberikan gambaran terkait tahapan secara keseluruhan dalam pelaksanaan tugas akhir ini. Berikut merupakan diagram alir perencanaan dari tugas akhir ini:



Sumber: Hasil Analisis, 2025

Gambar 2. 1 Bagan Konsep SBAS-InSAR Dalam Mengidentifikasi Potensi Longsor Dalam Menilai Kesesuaian Pola Ruang

Berdasarkan diagram alir perencanaan di atas adalah penjelasan mengenai beberapa tahapan proses dalam pelaksanaan tugas akhir ini, berikut merupakan rincian penjelasan mengenai diagram alir perencanaan:

a. Tahap Awal/Input

Tahapan awal atau input merupakan tahapan yang dilakukan untuk melakukan identifikasi awal dari wilayah studi yang akan diambil. Dari identifikasi awal ini akan dirumuskannya permasalahan yang terjadi, sehingga muncul suatu dasar yang akan melatar belakangi dari kegiatan, perumusan masalah, serta tujuan dari pelaksanaan tugas akhir ini. Hasil identifikasi permasalahan yang telah dilakukan bahwa Kabupaten Semarang menjadi salah satu kabupaten di Provinsi Jawa Tengah yang rawan terhadap bencana tanah longsor. Berdasarkan data BPBD Kabupaten Semarang kejadian bencana tanah longsor meningkat dalam 4 tahun terakhir ini, dan dengan adanya permasalahan ini perlu adanya monitoring serta penanggulangan bencana agar tidak mengalami kerugian maupun kerusakan yang lebih besar. Kajian literatur dilakukan sebagai referensi teori yang tepat dalam mendukung analisis yang hendak digunakan pada metode SBAS. Kajian literatur didapat berupa referensi melalui jurnal, karya ilmiah, buku, serta pendapat para ahli di bidang tertentu. Pengumpulan data dilakukan secara sekunder melalui data dinas yang mendukung dalam tugas akhir ini, serta observasi lapangan.

b. Tahapan Proses

Tahapan proses merupakan tahapan yang menjadi kunci utama dalam proses melakukan analisis hasil yang akan digunakan, pada tugas akhir ini akan menggunakan proses pengolahan data SAR dengan menggunakan metode SBAS dalam mengidentifikasi tingkat kerawanan tanah longsor di Kabupaten Semarang, dari hasil tingkat kerawanan tersebut akan melakukan proses penentuan rencana pola ruang berdasarkan dari hasil beberapa analisis.

c. Hasil/Output

Hasil akhir pada tugas akhir ini berupa peta tingkat kerawanan tanah longsor dan peta penentuan rencana pola ruang pada Kabupaten Semarang.

2.2 Bencana Tanah Longsor

Tanah longsor atau gerakan tanah merupakan proses perpindahan masa batuan yang diakibatkan oleh gaya berat (gravitasi) dan dapat terjadi secara tiba-tiba atau perlahan-lahan tergantung faktor lingkungan dan pemicunya (Haribulan et al., 2019). Kejadian bencana tanah longsor juga dapat diprediksi melalui beberapa prediksi melalui kondisi fisik yang bisa terlihat antara lain sebagai berikut:

- Retakan yang terjadi pada tanah atau jalan

- Tanah yang terlihat bergerak/bergeser pada posisi sebelumnya
- Pohon/tiang listrik/lainnya terlihat miring diatas tanah
- Bagian rumah seperti pintu/jendela yang sulit dibuka karena terjadi peregeseran struktur bangunan

2.2.1 Kerawanan Tanah Longsor

Kerentanan dapat diartikan sebagai suatu keadaan yang menggambarkan penurunan ketahanan yang diakibatkan oleh kondisi secara eksternal yang dapat mengancam kehidupan, mata pencaharian, infrastruktur, serta seluruh keselamatan dan kesejahteraan. Kondisi inilah yang akan menjadi resiko/kerawanan bencana pada bahaya yang ditimbulkan, sehingga perlunya tindakan penanggulangan dengan baik (Haribulan et al., 2019).

Kerawanan tanah longsor dapat dijelaskan sebagai suatu gambaran dengan keadaan fisik lereng alami dengan terjadinya gerakan massa hingga terjadinya ketidakseimbangan yang dibentuk oleh lingkungan setempat baik itu fisik maupun non fisik. Berikut merupakan faktor penentu terhadap kerentanan tanah longsor:

- Curah hujan yang tinggi
- Kemiringan lereng/lahan
- Fisik geologi/batuan
- Keberadaan patahan/sesar
- Jenis tanah
- Penggunaan lahannya
- Kepadatan Permukiman/Bangunan

2.2.2 Penyebab Tanah Longsor

Bencana tanah longsor dapat terjadi melalui beberapa faktor baik itu faktor alam maupun faktor dari manusia sendiri, berikut merupakan penjelasan mengenai penyebab-penyebab tanah longsor dari kedua faktor tersebut:

Tabel 2. 1 Faktor Penyebab Tanah Longsor

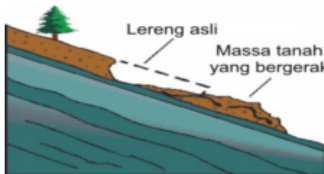
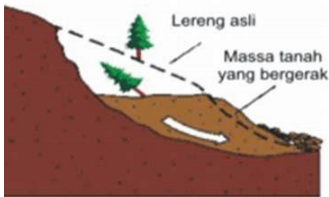
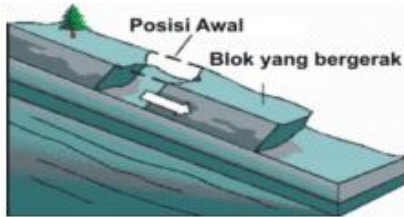
Faktor Alam	Faktor Manusia
Struktur tanah yang kurang padat	Pemotongan tebing pada batuan lereng terjal
Struktur Batuan yang kurang kuat	Penimbunan tanah urug pada kawasan lereng
Erosi tanah	Penggundulan hutan
Terdapat beban tambahan seperti pohon	Sistem pertanian yang tidak memperhatikan irigasi yang baik
Air danau atau bendungan yang menyusut	Pengembangan wilayah yang tidak diimbangi oleh kesadaran masyarakat
Terdapat metri timbunan pada tebing	Sistem drainase pada kawasan lereng yang tidak berfungsi dengan baik

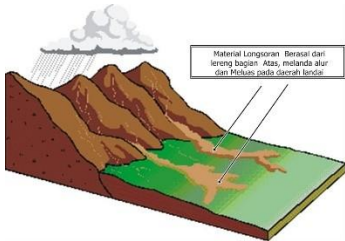
Sumber : Penulis, 2024

2.2.3 Jenis Tanah Longsor

Di Indonesia terdapat beberapa jenis tanah longsor yang sering terjadi yang mengakibatkan beberapa korban jiwa, kerusakan, serta kerugian yang besar, berikut merupakan tabel dari pendetailan jenis tanah longsor:

Tabel 2. 2 Jenis Tanah Longsor

No	Jenis Tanah Longsor	Gambaran	Keterangan
1	Tanah Longsor Translasi		Tanah longsor ini bergerak massa tanahnya dan batuan pada bidang gelincir berbentuk rata/menggelombang.
2.	Tanah Longsor Rotasi		Tanah longsor yang diakibatkan bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk cekung.
3.	Pergerakan Blok		Pergerakan blok merupakan gerakan massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk rata, dan jenis ini disebut dengan longsor translasi blok batu.

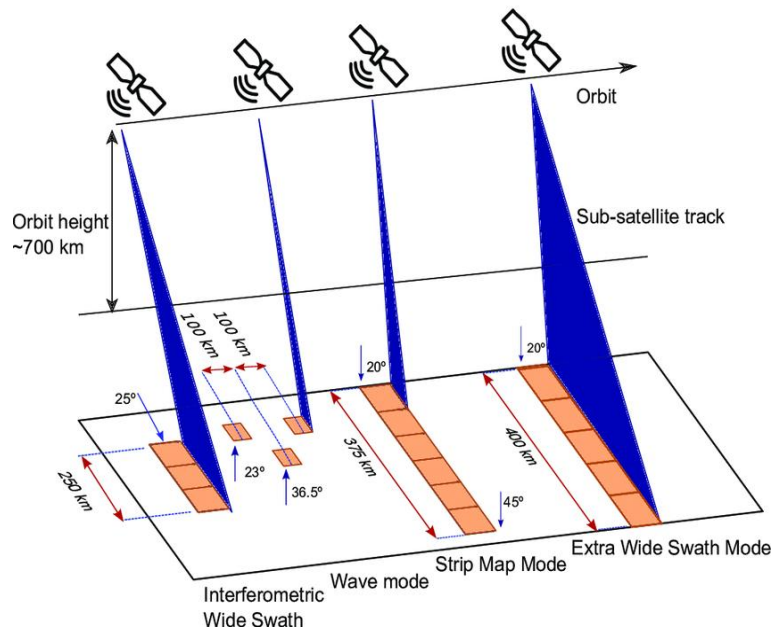
No	Jenis Tanah Longsor	Gambaran	Keterangan
4.	Runtuhan Batu		Tanah longsor ini biasanya terjadi karena jatuhnya runtuh batuan/material lain yang terjun bebas, dan sering terjadi pada kawasan lereng terjal.
5.	Rayapan Tanah		Jenis tanah longsor ini terjadi karena jenis pergerakan tanah yang bergerak lambat, jenis ini sering menyebabkan miring seperti tiang listrik, rumah, pohon.
6.	Aliran Bahan Rombakan		Tanah longsor ini terjadi disebabkan oleh massa tanah bergerak dan faktor dorongan air, dan kecepatan aliran airnya tergantung dengan kemiringan lereng, volume, tekanan air, serta jenis materialnya, gerakannya terjadi di sepanjang lembah.

Sumber : Penulis, 2025

2.3 Sentinel 1

Sentinel 1 merupakan bagian seri satelit yang mengobservasi bumi yang memiliki sensor SAR C-band dengan dua buah satelit yakni Sentinel 1-a dan Sentinel 1-b yang mengorbit berjauhan 180°. Satelit tersebut masing-masing dapat melakukan *repeat cycle* setiap 12 hari dengan konstelasi kedua satelit sehingga membuat Sentinel-1 memiliki *repeat cycle* setiap 6 hari. Sentinel 1 juga memiliki sebuah laser yang berfungsi untuk mentransmisikan data ke *European Data Relay System* geostationari dalam melakukan pengiriman data yang berkelanjutan.

Sentinel 1 juga memiliki 4 mode pengamatan dalam pengoperasiannya. Mode utama merupakan mode *Interferometric Wide-swath* (IW), dan mode *Wave* (WV). Pada kontinuitas dan kebutuhan pengguna menggunakan mode *Strip Map* (SM), *Extra Wide-swath* (EW). Perbedaan keempat mode tersebut dapat diilustrasikan pada gambar berikut ini.



Sumber: Esa, 2013

Gambar 2. 2 Mode Operasi Sintinel I

2.3.1 Spesifikasi dan Karakteristik Sentinel 1

Sentinel 1 memiliki misi menyediakan kemampuan operasional indepen dalam pemetaan radar dari numi dengan menggunakan frekuensi, ketepatan waktu, cakupan, dan keandalan yang ditingkatkan untuk layanan operasional dan aplikasi yang sangat diperlukan pada seri lama. Berikut rincian dari spesifikasi serta karakteristik dari Sentinel 1.

Tabel 2. 3 Spesifikasi Sentinel I

Spesifikasi Sentinel 1	
Lifetime	7 years (consumables for 12 years)
Orbit	Near-polar-sun-synchronous orbit at 693 km altitude; 12-day repeat cycle; 175 orbits per cycle
Mean Local Solar Time	18.00 at ascending node
Orbital Periode	98.6 min
Maximum Eclipse Duration	19 min
Attitude Stabilisation	3-axis stabilised
Attitude Accuracy	0.01° (each axis)
Instrument	Right looking with respect to the flight direction
Steering	Zero Doppler yaw steering and roll steering (-0.8° to +0.8°)
Attitude Profile	Geocentric and Geodetic
Orbit Knowledge	10 m (each axis, 3 σ) using GPS

Spesifikasi Sentinel 1	
Operative Autonomy	96 h
Launch Mass	2.300 kg (Including 130 kg mono- propellant fuel)
Dimensions (stowed)	3900 x 2600 x 2500 mm
Solar Array Average Power	5900 W (end-of-life)
Battery Capacity	324 Ah
Satellite Availability	0.998
S-Band TT&C data rates	64 kbit/s telecommand 128 kbit/s – 2 Mbit/s telemetry (programmable)
K-Band Downlink Data Rate	2 x 260 Mbit/s
Launcher	Soyuz From Kourou

Sumber: Esa, 2014

Tabel 2. 4 Karakteristik Mode Pengamatan Sentinel I

Parameter	Interferometric Wide-swath mode (IW)	Wave Mode (WV)	Strip Map Mode (SM)	Extra Wide
Polarisation	Dual (HH+HV, VV+VH)	Single (HH, VV)	Dual (HH+HV, VV+VH)	Dual (HH+HV, VV+VH)
Access (Incidence Angles)	31° – 46°	23° + 37° (mid-incidence angle)	20° – 47°	20° – 47°
Azimuth resolution	20 m	5 m	5 m	40 m
Ground Range Resolution	5 m	5 m	5 m	5 m
Azimuth and Range Looks	Single	Single	Single	Single
Swath	250 km	Vigintte 20 x 20 km	80 km	410 km
Maximum noise-equivalent sigma zero (NESZ)	-22 dB	-22 dB	-22 dB	-22 dB
Radiometric Stability	0.5 dB (3 σ)	0.5 dB (3 σ)	0.5 dB (3 σ)	0.5 dB (3 σ)
Radiometric Accuracy	1 dB (3 σ)	1 dB (3 σ)	1 dB (3 σ)	1 dB (3 σ)
Phase Error	5°	5°	5°	5°

Sumber: Esa, 2014

Adapun misi yang dilakukan Sentinel-1, contohnya sebagai layanan yang berhubungan dengan pemantauan perubahan luas di Antartika, pengawasan lingkungan laut, pemantauan tumpahan minyak, mendeteksi kapal dalam keamanan kemaritiman, pemantauan gerakan tanah, pemetaan hutan, serta pengelolaan tanah & pemetaan dalam mendukung bantuan

kemanusiaan dari situasi yang krisis. Berikut merupakan tabel mode pengamatan Sentinel-1 dalam beberapa misi di atas:

Tabel 2. 5 Mode Pengamatan Sentinel I

Mision	Mode			
	SM	IW	EW	WV
Artic and sea-ice		X	X	
Open Ocean Ship Surveillance		X	X	
Oil Pollution Monitoring		X	X	
Marine Winds				X
Forestry		X		
Agriculture		X		
Urban Deformation Mapping		X		
Flood Monitoring	X	X		
Earthquake Analysist	X	X		
Landslide and Volcano Monitoring	X	X		

Sumber: Esa, 2014

2.3.2 Ketelitian Hasil Pengolahan Citra Sentinel 1

Resolusi citra pada Sentinel-1 bergantung pada jenis mode pengamatan data yang akan dilakukan. Sebagai contoh pada mode IW, resolusi yang akan didapat kurang lebih 5x20 m dengan pixel spacing maksimal sekitar 17, 4 m. Dengan ini skala peta yang akan didapat atau diperoleh dengan menggunakan formula dari Waldo Tobler (1987) sebesar 1:50.000. Berikut merupakan ketelitian untuk akurasi dari Citra Sentinel-1 dengan tingkat resolusi mode pengamatan lainnya pada produk SLC.

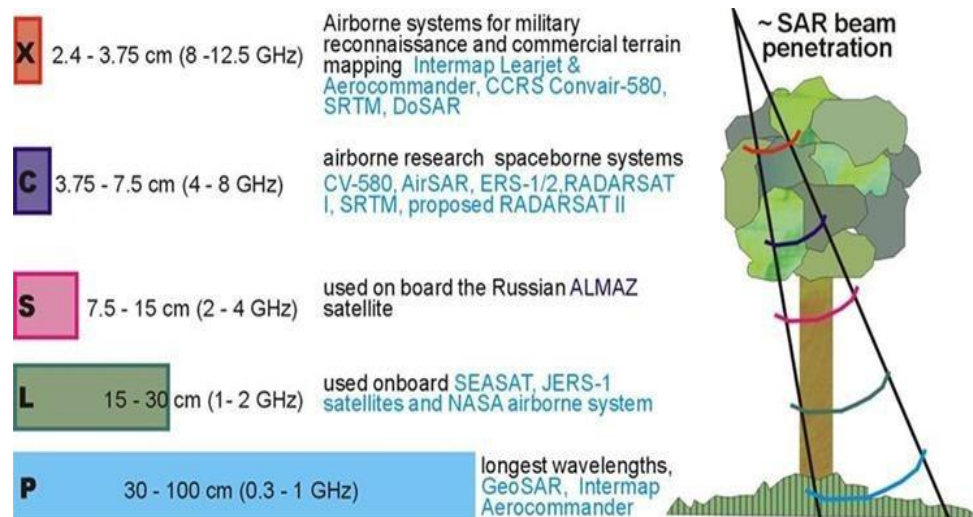
Tabel 2. 6 Resolusi pada Akuisisi SLC

Mode	Incidence Angle	Resolution	Swath Width	Polarization (H=Horizontal, V=Vertikal)
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

Mode	Incidence Angle	Resolution	Swath Width	Polarization (H=Horizontal, V=Vertikal)
Wave	22-35 35-38	5 x 5 m	20 x 20 km	HH, VV

Sumber: Esa, 2014

Karakteristik sensor juga sangat perlu diperhatikan pada sensor gelombang Sentinel-1 terhadap penggunaan datanya karena terakut penetrasi gelombang terhadap objek di permukaan bumi. Karakteristik ini akan dilakukan amatan pada sifat gelombang yang digunakan yang akan dipengaruhi pada hasil ketelitiannya. Dengan menggunakan sensor *c-band*, Citra Sentinel-1 akan mempunyai batasan dalam menembus vegetasi dibandingkan pada *p-band* dan *l-band*, akan tetapi lebih baik dibandingkan *x-band*.



Sumber: ESA

Gambar 2. 3 Ilustrasi Penetrasi Kanopi pada Gelombang Radar

2.4 Synthetic Aperture Radar (SAR)

SAR merupakan suatu instrumen yang efisien dalam memudahkan terkait pemahaman yang mendalam tentang lingkungan di bumi, sehingga data SAR dapat mewakili sumber informasi yang penting, sehingga SAR berbeda dengan radar konvensional karena SAR menggunakan suatu teknik pemrosesan sinyal yang kompleks dalam mensimulasikan efek aperture radar yang lebih besar daripada fisik sebenarnya, dengan hal ini citra yang dihasilkan lebih rinci (Ariyantoni & Rokhmana, 2020).

Pada dasarnya SAR terlahir untuk menggantikan sistem *Real Aperture Radar* (RAR) yang mana sistem ini menggunakan antena yang panjang untuk mendapatkan resolusi spasial tinggi, dengan adanya SAR mampu memberikan kemudahan yakni berupa antena kecil dengan memanfaatkan prinsip *Doppler* pada suatu rambatan sinyal radio dan frekuensi tertentu. Jumlah hamburan kembali pada target yang diterima tergantung pada intensitas SAR, sehingga citra

SAR ini sangat diperlukannya suatu interpretasi pengetahuan sinyal dalam berinteraksi dengan target (Darlina et al., 2018).

2.4.1 Keunggulan Data *Synthetic Aperture Radar* (SAR)

Data SAR dapat memberikan alat yang sangat kuat dalam melakukan pemantauan dan analisis dari berbagai fenomena alam dan lingkungan, dengan kemampuannya data SAR dapat memberikan data citra dengan hasil yang akurat. Berikut merupakan keunggulan dari data SAR yang dapat digunakan di dunia perencanaan:

- Sistem SAR yang dimiliki pada Sentinel-1 dengan memanfaatkan perekaman c-band mampu menembus vegetasi hingga 6 cm, sehingga keunggulan ini dapat dimanfaatkan di area vegetasi tertentu.
- Memiliki kemampuan penetrasi andal dalam berbagai kondisi cuaca seperti dapat menembus awan tebal, kabut, dan hujan.
- Data SAR memiliki kemampuan gelombang mikro yang tidak tergantung pada cahaya matahari, sehingga perekamannya sangat memungkinkan pada siang maupun malam hari
- Hasil dari teknik pemrosesan sinyal yang digunakan SAR memungkinkan pengambilan gambar dengan resolusi spasial yang tinggi dan luas area yang besar
- Ketersediaan data yang lengkap di hampir setiap waktu dan *free access*

2.5 *Small Baseline Subset* (SBAS) Processing

SBAS merupakan suatu metode yang berfungsi untuk menghindari suatu kesalahan fase yang menyebar pada interferogram, sehingga SBAS dapat melakukan pembalikan tumpukan pada interferogram *baseline* kecil melalui pendekatan dekomposisi. Metode SBAS dapat menghasilkan pengurangan masalah dekorelasi *baseline* yang diakibatkan membesarnya *perpendicular baseline* antar dua pengamatan serta untuk menghindari dekorelasi temporal yang mengakibatkan adanya perubahan sinyal balik yang diakibatkan oleh perubahan vegetasi antara dua pengamatan (A. R. Sari, 2014).

Analisis *Permanent Scatter* merupakan suatu pemrosesan yang secara khusus masuk pada kategori yang serupa dengan metode SBAS karena menggunakan *single look data* yang mana tergantung pada pengukuran deformasi pada grid titik stabil amplitudo guna tercapainya pertumbuhan pada grid spasial dengan melakukan analisis stabilitas pada fase multi temporal dari tumpukan interferogram (Suparyanto dan Rosad, 2020).

2.5.1 Nilai Koherensi

Nilai koherensi merupakan suatu korelasi antar kedua citra yang berasal dari bagian kecil citra SAR. Koherensi akan memrepresentasikan fase interferogram yang akan membentuk suatu *noise* jika memiliki nilai 0 dan digambarkan dalam pengolahan InSAR memiliki warna hitam, Sedangkan jika nilai koherensi 1 akan menunjukkan warna putih pada hasil pengolahannya dan dapat diidentifikasi tidak memiliki *noise*. Dalam pengolahan aplikasi InSAR dapat menjelaskan jika koherensi memiliki nilai 0 maka hasil tersebut menunjukkan *foreshorting* atau layover yang mana tidak dapat mendeteksi pada area tertutup vegetasi lebat, sehingga dalam pengolahan InSAR dianjurkan nilai koherensi harus lebih besar dari 0,2 (A. R. Sari, 2014).

Pembuatan *Digital Elevation Model* (DEM) yang dihasilkan dari citra *master* dan citra *slave* dapat menunjukkan tingkat kesamaan dalam nilai koherensi sehingga baik dalam pembentukan DEM. Nilai koherensi juga memiliki kelemahan terkait selisih waktu dalam dua pengamatan, vegetasi, serta prosesnya karena piksel yang dihasilkan memiliki dekorelasi temporal yang diakibatkan oleh perubahan vegetasi (Sindy Ayu, 2018). Rumus dibawah merupakan untuk mengetahui nilai kualitas koherensi citra agar mengetahui seberapa mirip sinyal kompleks (fase + amplitude) antar beberapa citra SAR. Berikut merupakan keterangan dari rumus dibawah in :

$$\gamma = \frac{|\sum_{i=1}^N s_1(i) \cdot s_2^*(i)|}{\sqrt{\sum_{i=1}^N |s_1(i)|^2 \cdot \sum_{i=1}^N |s_2(i)|^2}}$$

Keterangan :

$s_1(i)$: Nilai piksel kompleks pada citra master

$s_2(i)$: Nilai piksel kompleks pada citra slave

N : Jumlah piksel dalam jendela perhitungan

2.5.2 Mean Los Velocity

Mean Los Velocity merupakan nilai yang akan menunjukkan besaran hasil deformasi tanah secara vertikal satu dimensi sepanjang nilai tersebut. Arti dari satu dimensi ini adalah besaran energi yang dipancarkan oleh objek tertentu yang akan dikembalikan dengan satu *scatter* dalam satu *pixel* yang berhubungan secara langsung dengan objek tangkapannya baik objek alam maupun objek buatan manusia (Ade Wirawan, 2019).

Pada nilai koherensi sebesar lebih dari 0,2 yang kemudian hasil pengolahan yang memiliki nilai koherensi kurang dari 0,2 akan dihapus sedangkan jika melebihi nilai 0,2 maka

nilai tersebut akan dipertahankan untuk menghindari rendahnya angka koherensi. Rata-rata kecepatan deformasi ini akan menghasilkan suatu identifikasi dengan hasil kecepatan deformasi per tahunnya (mm/year) (Toifatul, 2021). Berikut merupakan rumus dasar dari analisis *LOS Velocity* :

$$\phi_i = \frac{4\pi}{\lambda} \cdot v \cdot \Delta t_i$$

Keterangan :

ϕ_i : Perubahan fase (radian) pada pengamatan ke-I relative ke waktu refrensi

λ : Panjang gelombang radar (Sentinel 1 = 0,05)

v : Kecepatan deformasi LOS (mm/tahun)

Δt_i : Selisih waktu antara citra I dan citra refrensi

2.5.3 Displacement Time Series

Hasil dari analisis *Time Series* ini berasal dari tumpukan interferogram yang akan membentuk suatu algoritma dalam membentuk hasil data deformasi tanah dengan tingkat presisi yang tinggi pada skala regional. Interferogram tersebut akan menjadi sistem dan algoritma yang dapat dikoneksikan ke *database* penyimpanan data *InSAR* dalam menyimpan produk olahan yang menghasilkan *time series* deformasi, serta dapat menghasilkan olahan data dengan visualisasi data yang telah dilakukan proses pengolahan terkait nilai besaran *subsidence* (Toifatul, 2021). Berikut merupakan rumus displacement time series untuk mengetahui tingkat deformasi tanah disatu titik tertentu :

$$\phi_i = \frac{4\pi}{\lambda} \cdot (u_j - u_k)$$

Keterangan :

ϕ_i : Fase interferogram (radian) untuk pasangan citra j dan k

λ : Panjang gelombang radar

u_j : Displacement LOS pada tanggal i

u_k : Displacement LOS pada tanggal k

$u_j - u_k$: Perubahan displacement LOS antar dua tanggal pengamatan