



## Variasi Teknik *Synthetic Aperture Radar* (SAR) Untuk Rekonstruksi Geologi Di Kabupaten Pidie Jaya, Aceh

Muhammad Budi<sup>a,\*</sup>, Hartono Hartono<sup>a</sup>, Djati Mardiatno<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Magister Penginderaan Jauh, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

<sup>b</sup>Magister Geografi, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

\*Corresponding author, email address: [muhammad.budi@mail.ugm.ac.id](mailto:muhammad.budi@mail.ugm.ac.id)

| ARTICLE INFO                                                                                                                                                                                                                                                   | ABSTRACT                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Article History:</b><br/>Received 15 February 2019<br/>Revised 8 April 2019<br/>Accepted 15 April 2019</p> <p><b>Keywords:</b><br/>Synthetic aperture radar<br/>Geology reconstruction<br/>VH polarization<br/>Landsat 8 OLI<br/>Pidie Jaya<br/>Aceh</p> | <p>Geologic information has an important role in development planning in Indonesia especially in physical development so that it needs to be well laid out in order to give the complete information. The objectives of the study are: First, to integrate result of the SAR technique processing to image fusion technique to identify geological structure, landform and litology in Pidie Jaya region, Aceh province and Second, to test ability of SAR technique and image fusion technique in geology reconstruction in Pidie Jaya region. This study was done in most parts of Pidie Jaya and Pidie region using the main data that are Sentine-1A with VH polarization and Landsat 8 OLI with 567 composite. The methods used are digital image processing and field observations. Digital image processing uses some techniques including: SAR technique (calibration, multilook, deburst, median speckle filtering, geometric correction), InSAR technique to create DEM, HSV image fusion and directional spatial filter technique (3x3 and 5x5 windows) to identify landform, geological structure and litology through visual interpretation. Field observation was done through strike and dip measurement with purposive sampling method. Results of HSV fusion technique visual interpretation can map structural landform, volcanic landform, fluvial landform, drainage patterns and litology. Results of directional filter visual interpretation can map lineament, fault and fold. Geological structure in study region has dominant direction South West-North East or 42.4o-223.63o. The study region is dominated by structural landform with an area of 555.39 km<sup>2</sup> or 59.56% of study area total with accuration 86.04%. Litology which dominates in study area is sandstone with an area of 571.78 km<sup>2</sup> or 61.31% of study area total with accuration 82.93%. Result of reconstruction by geology identification using variation of radar and optic imagery processing can tell and describe about the current geologic setting in a region so it can be a new data in seeking the geologic information renewal using technology state-of-the-art.</p> |

©2019 Magister Teknik Sipil Unsyiah. All rights reserved

### 1. PENDAHULUAN

Geologi di Indonesia merupakan sesuatu yang perlu diungkapkan dengan baik karena memiliki peran penting dalam penataan ruang mulai dari perencanaan, pembangunan dan evaluasi. Dalam perolehan informasi geologi diperlukan data dengan tingkat kedetilan yang tinggi dan cara pengolahan yang baik untuk menghasilkan informasi geologi yang lengkap. Mengikuti perkembangan teknologi dalam mengatasi permasalahan tersebut, maka teknologi penginderaan jauh aktif atau radar merupakan salah satu solusi yang baik untuk diterapkan dalam bidang geologi. Terdapat metode pengamatan geologi yang menggunakan instrumen pengukuran yang terletak di wahana satelit yang disebut *Synthetic Aperture Radar* (SAR). SAR merupakan bagian dari radar yang dapat menghasilkan citra dengan kenampakan fenomena geologi yang jelas berupa struktur geologi dan bentuklahan. Dalam rangka menghasilkan kenampakan objek dengan kualitas yang tinggi maka hasil teknik SAR dapat divariasikan dengan teknik

fusi citra yang menggabungkan dua buah citra dengan membawa kelebihan masing-masing menjadi satu buah citra. Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. integrasi hasil pengolahan teknik SAR dengan teknik fusi dalam mengidentifikasi struktur geologi, bentuklahan dan litologi di daerah Pidie Jaya, Aceh.
2. menguji kemampuan teknik SAR dan teknik fusi dalam merekonstruksi geologi di Pidie Jaya.

Manfaat yang dihasilkan dari penelitian ini yaitu dapat mengetahui karakteristik teknik SAR dan fusi dalam mengidentifikasi fenomena geologi di suatu wilayah dan hasil yang diperoleh diharapkan dapat menjadi data acuan dalam pembaharuan informasi peta geologi nantinya.

## 2. KAJIAN PUSTAKA

### Penginderaan Jauh Aktif dan SAR

Radar (*radio detection and ranging*) bekerja dengan menggunakan gelombang mikro untuk mendeteksi objek permukaan. Dikatakan “aktif” karena radar menghasilkan sumber energi sendiri dalam menyinari permukaan bumi dan menerima pantulan berbagai objek (*backscattering*) melalui sensor yang berisikan informasi amplitudo dan fase. Proses pemancaran dan penerimaan gelombang oleh sensor disebut polarisasi yang dapat berbentuk vertikal (V) dan horizontal (H). SAR banyak digunakan dalam penelitian geologi karena resolusi yang tinggi yang berasal dari antena berukuran pendek dan sintetis yang menghasilkan kombinasi overlap pada piksel yang berukuran sempit. Sistem SAR mewakili karakteristik geometri dan elektrik dari permukaan hampir dalam berbagai kondisi cuaca (Rosen et al, 2000).

### InSAR

InSAR merupakan teknik dalam radar yang menggunakan dua atau lebih fase yang diperoleh pada waktu yang berbeda untuk mendeteksi perubahan sifat spasial dan elektrik permukaan. Pembentukan data DEM menjadi aplikasi awal dari teknik InSAR yang terbentuk melalui interaksi gelombang mikro dengan permukaan bumi yang menghasilkan fase berisikan informasi *time delay* dan amplitudo sehingga memperoleh informasi jarak dari sensor ke permukaan (Massonet & Feigl, 1998). Informasi pada data DEM memberikan nilai elevasi pada setiap koordinat di permukaan (x, y, z) yang dapat dilihat berdasarkan nilai piksel yang merepresentasikan nilai ketinggian sesuai dengan resolusi vertikal dan horizontalnya.

### Fusi Hue, Saturation and Value (HSV) dan Filter Spasial Directional

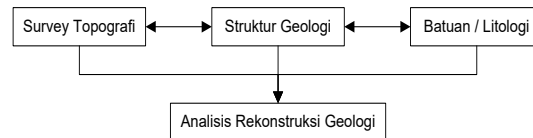
Fusi citra merupakan teknik menggabungkan beberapa citra untuk memperoleh tambahan informasi yang lebih baik terhadap sebuah objek yang mana informasi tersebut tidak dapat diperoleh hanya dari satu sensor citra saja (Gupta, 2018). Fusi HSV bekerja dengan cara mentransformasikan data multispektral dari ruang RGB ke ruang HSV dan ruang citra radar disubstitusikan menjadi saluran intensitas sebelum proses transformasi dikembalikan ke ruang RGB guna memperoleh citra multispektral beresolusi tinggi (Lillesand, 2004). Teknik fusi HSV dapat diaplikasikan dengan tujuan untuk menajamkan citra, meningkatkan koreksi geometrik, meningkatkan fitur-fitur yang tidak terlihat pada data *single*, data pelengkap untuk peningkatan klasifikasi, mendeteksi perubahan, mengganti informasi yang hilang dan data yang rusak (Pohl dkk, 2017).

Filter spasial adalah teknik pengolahan citra untuk mengubah intensitas dari piksel berdasarkan intensitas piksel tetangga (*neighbouring*). Filter spasial mengubah nilai variasi dari citra awal menjadi nilai variasi yang baru sehingga akan meninggalkan nilai yang berbeda dan jelas pada citra (Danoedoro, 1996). Filter *directional* menjadi dasar dalam pendeteksian batas tepi (*edge detection*). Eppes dan Rouse (1974) meningkatkan kualitas informasi struktur geologi melalui filter *directional* dalam satu arah. Batas tepi pada citra terlihat ketika mengalami perubahan besar (kemiringan curam) antara nilai piksel yang berdekatan.

### Analisis Rekonstruksi Geologi

Rekonstruksi geologi dilakukan setelah melalui tahap pengolahan SAR dan fusi citra. Kualitas informasi yang dihasilkan sangat mempengaruhi proses rekonstruksi karena harus menghubungkan parameter yang saling berhubungan dalam proses pembentukan permukaan geologi. Prinsip dasar rekonstruksi geologi yaitu memiliki data topografi, struktur geologi dan litologi.

Wegner dkk (2009) mengungkapkan salah satu fungsi dari fusi citra yaitu untuk mengekstrak informasi ketinggian melalui topografi dan relief yang jelas. Batas topografi yang dibentuk melalui teknik fusi dapat menguatkan sifat-sifat dasar dari citra radar melalui bayangan dan kenampakan tiga dimensi yang akan mempertegas aspek-aspek topografi dan relief. Identifikasi struktur geologi termasuk dalam aspek yang sangat penting untuk rekonstruksi geologi dalam menggambarkan fenomena geologi yang terjadi pada masa lampau. Dalam melakukan interpretasi geologi pada citra radar, terdapat beberapa elemen yang digunakan untuk penafsiran geologi yaitu kecerahan, tekstur, bentuk, pola, ukuran, dan bayangan.



**Gambar 1.** Tahap rekonstruksi geologi

Aspek yang memiliki keterkaitan dengan struktur geologi yaitu kenampakan bentuklahan. Bentuklahan adalah susunan permukaan bumi dan segala kenampakan fisik yang dihasilkan dari proses alami yang memiliki bentuk khas dan dapat dikenali melalui sifat dan karakternya (Strahler, 1989). Citra hasil pengolahan SAR dan fusi diklasifikasi untuk menentukan bentuklahan agar dapat digunakan untuk interpretasi litologi. Interpretasi litologi memerlukan hasil dari klasifikasi geomorfologi yang terdiri dari bentuklahan, fitur lineasi yang termasuk sesar dan lipatan, anomali vegetasi serta pola aliran dengan melibatkan jenis batuan dan formasi geologi. Klasifikasi bentuklahan menggunakan prinsip utama tentang pembentukan morfologi yang mengacu pada proses geologis. Interpretasi dan penamaannya mengikuti hasil klasifikasi bentuk lahan dari Suharsono (1999) dan Brahmantyo & Bandono (2005). Pembagian didasarkan kriteria genetika, bentuk, struktur, rona, tekstur, asosiasi dan proses geomorfologi dominan.

### 3. METODE PENELITIAN

#### Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di sebagian kabupaten Pidie Jaya dan Pidie yang berada pada koordinat geografis 95°54'1,824" BT 5°16'35,595" LU – 96°18'14,93" BT 5°4'50,741" LU.



**Gambar 2.** Lokasi penelitian

#### Tahap Pengumpulan Data

1. Data utama yang digunakan yaitu citra Sentinel-1A mode IW jenis SLC level 1, dan citra Landsat 8 OLI.
2. Data sekunder yang digunakan yaitu citra SRTM, peta geologi skala 1:50.000 lembar peta Keumala (0421-32), Glumpang Minyeuk (0521-11), Samalanga (0521-12) dan Panteraja (0521-13) serta peta rupabumi Indonesia skala 1:50.000 lembar 0521-13 Panteraja dan 0521-11 Glumpang Minyeuk.

#### Teknik Pengolahan Data

Pada tahap ini akan dilakukan pengolahan awal dari data utama yang saling berhubungan untuk menghasilkan citra yang akan dianalisis. Berikut tahap pengolahan penelitian:

### 1. *Interferometric SAR (InSAR)*

Dalam tahap pembentukan DEM melalui teknik InSAR, maka dibutuhkan dua buah citra dengan tanggal perekaman yang berbeda untuk menghasilkan citra dengan kenampakan tiga dimensi yang baik. Dalam kasus ini citra dengan perekaman lebih awal berperan menjadi *slave* dan citra kedua sebagai *master*. Kedua citra akan melalui tahapan estimasi *baseline*, *coregistration*, *interferogram formation*, *phase unwrapping*, *geocoding*, dan tahap akhir yaitu *phase to elevation*.

**Tabel 1.** Karakteristik citra Sentinel-1A yang digunakan pada tahap InSAR

| Data   | Acquisition | Polarisasi | Direction  |
|--------|-------------|------------|------------|
| Master | 14 Des 2016 | VH + VV    | Descending |
| Slave  | 20 Nov 2016 | VH + VV    | Descending |

2. Teknik SAR Sentinel-1A, terdiri dari proses kalibrasi, *multilook* dan *speckle filtering*, koreksi geometrik
3. Pengolahan Multispektral Landsat 8
4. Fusi *Hue, Saturation and Value* (HSV)
5. Filter spasial *directional*

### **Teknik Analisis Data**

Adapun tahapan analisis data dari kedua citra utama meliputi:

#### 1. Interpretasi Struktur Geologi

Citra radar dengan prinsip polarisasinya digunakan untuk meningkatkan potensial dalam menginterpretasi pola struktur geologi melalui pendekatan salah satunya dari *lineament*/kelurusan. Karakteristik pola kelurusan diinterpretasi secara manual hasil observasi dari topografi. Interpretasi struktur geologi dilakukan berdasarkan kunci interpretasi citra yaitu rona/warna, bentuk/pola, tekstur dan bayangan. Rona pada citra menggambarkan intensitas yang diterima suatu objek sehingga menunjukkan perbedaan gelap terang yang menjadi pembeda topografi. Bentuk atau pola menghasilkan kenampakan yang jelas berupa sesar, kekar dan lipatan yang masing-masing memiliki ciri khas tersendiri. Tekstur ditunjukkan dalam tingkat kekasaran permukaan untuk diketahui kondisi permukaan sedangkan bayangan dalam interpretasi sebagai pendukung dalam memberikan informasi mengenai perbedaan ketinggian tiap-tiap objek di permukaan.

#### 2. Interpretasi Bentuklahan

Interpretasi bentuklahan dapat dikelaskan menjadi sub satuan bentuklahan yang tersusun dari struktur geologi. Sub satuan bentuklahan tersebut menciptakan parameter yang dapat diinterpretasi melalui kunci-kunci interpretasi berupa relief dan pola aliran yang sangat berhubungan dengan struktur geologi. Dalam identifikasi bentuklahan, dapat dilihat melalui kunci interpretasi citra yang paling dasar yaitu bentuk, lalu yang sedikit kompleks yaitu pola yang dapat menunjukkan bentuk-bentuk spesifik seperti pola perulangan. Pola aliran dapat diidentifikasi berdasarkan kenampakan tekstur dan mampu memberikan informasi bentuklahan di suatu daerah tersebut.

#### 3. Interpretasi Litologi

Sebaran litologi di permukaan dipengaruhi oleh kejadian dari struktur geologi dan menghasilkan beragam bentuklahan. Tiap bentuklahan memiliki kandungan litologi yang berbeda. Litologi yang umumnya dapat dihubungkan terhadap fenomena geologi yaitu litologi dari jenis bentuklahan struktural yang tersusun dari batuan sedimen dan dapat juga tertutupi oleh formasi dari vulkanik. Analisis litologi dilakukan pada unit yang kecil agar mendapatkan informasi yang detail.

### **Uji Akurasi Interpretasi Visual (*Confusion Matrix*)**

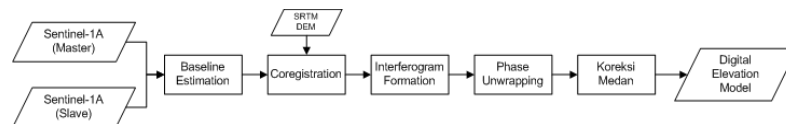
Uji akurasi yang dilakukan pada penelitian ini untuk mendapatkan presentase tingkat keakuratan hasil interpretasi visual bentuklahan dan litologi dari teknik SAR dan fusi terhadap sampel yang diperoleh dari lapangan dengan data acuan dari peta geologi yang memiliki informasi berupa formasi geologi yang di

dalamnya terdapat susunan litologi secara umum. Presentase tingkat akurasi tiap-tiap objek diperoleh melalui uji akurasi omisi (*producer accuracy*) dan komisi (*user accuracy*).

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

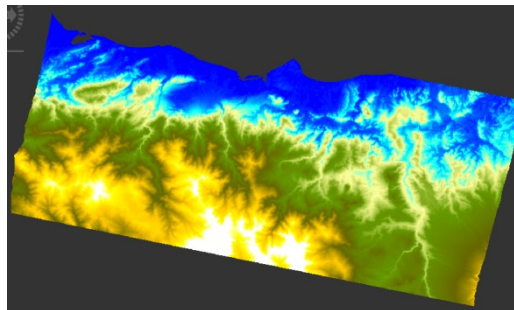
##### Konstruksi DEM

Hasil yang diperoleh melalui informasi *baseline* antara dua sensor perekaman berupa *normal baseline* sebesar 44,49 dan *temporal baseline* sebesar 24 hari. Hal ini dikondisikan dengan perekaman di beberapa bagian Indonesia terutama Sumatera yang memiliki temporal paling dekat 24 hari. Hasil estimasi *baseline* ini digunakan untuk menilai kelayakan data yang digunakan untuk tahap *coregistration*.



Gambar 3. Tahap pembentukan DEM pada InSAR

Proses *coregistration* didukung oleh data sekunder DEM SRTM dengan me-*resample* nilai piksel yang sama dan dilakukan interpolasi untuk membentuk interferogram. Pembentukan interferogram menghasilkan pola *fringe* yang berisikan informasi geometri. Hasil interferogram berupa nilai koherensi yang diukur melalui korelasi interferometrik. Interferogram yang dihasilkan mengalami *filtering* sehingga fase yang dihasilkan dapat lebih merepresentasikan piksel pada permukaan dan menunjukkan pola *fringe* dalam nilai 1 siklus fase. *Geocoding* atau koreksi geometrik yang dilakukan menggunakan *terrain geocoding* dengan menggunakan DEM sebagai dasar referensi yang ditransformasikan ke dalam posisi yang lebih merepresentasikan permukaan bumi. Ketika data fase telah menyesuaikan posisi geografis permukaan bumi maka nilai fase tersebut yang masih dalam fase absolut diubah menjadi nilai elevasi dalam bentuk DEM yang tetap menggunakan data SRTM untuk menghitung ketinggian referensi. Berikut DEM yang dihasilkan dari proses InSAR:



Gambar 4. Citra DEM hasil pengolahan InSAR

Hasil dari pengolahan InSAR yaitu sebuah data DEM InSAR (gambar 40) yang memiliki resolusi 25 meter. Resolusi ini telah mengubah resolusi DEM SRTM sebelumnya yaitu 90 meter. Nilai elevasi yang dihasilkan dari pengolahan InSAR terhadap area penelitian yaitu antara 0 sampai 1738 meter. Nilai ini berbeda dengan nilai elevasi yang dimiliki DEM SRTM yaitu antara 0 sampai 1646 meter.

##### Integrasi Teknik SAR terhadap Fusi Citra

Tahap integrasi dilakukan dengan melakukan pengolahan tersendiri terlebih dahulu antara teknik SAR citra Sentinel-1A dan citra Landsat 8. Berikut pengolahan teknik SAR dan multispektral:

##### 1. SAR Sentinel-1A

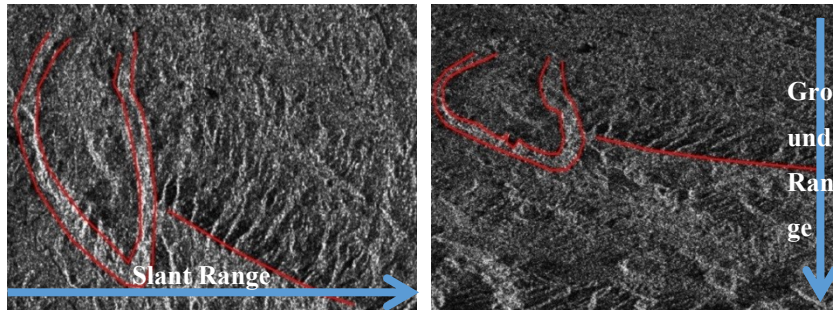
###### - Kalibrasi

Proses kalibrasi yang telah dilakukan menghasilkan nilai berupa angka dengan satuan fokal yang telah terkalibrasi. Citra awal tidak memiliki *range* nilai yang jelas tanpa satuan fokal berupa *digital number* sedangkan citra yang telah terkalibrasi memperoleh nilai pantulan *backscatter*

mengikuti jenis polarisasi yang diterapkan. Tampilan yang dihasilkan tidak memiliki perbedaan antara citra awal dengan citra yang telah terkalibrasi.

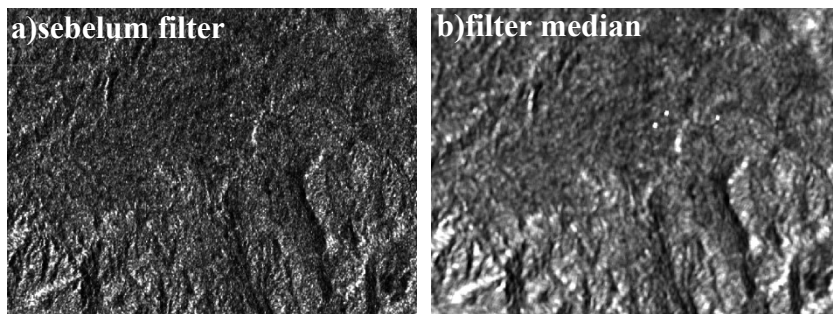
- *Multilook dan Speckle Filtering*

*Multilook* bekerja dengan merata-ratakan nilai piksel awal untuk mengubah resolusi citra dari resolusi *slant range* menjadi *ground range*.



**Gambar 5.** Perbandingan citra hasil *multilook*

Tahap *multilook* dan *speckle filtering* berada dalam satu tahapan karena tahap *multilook* bekerja dengan melibatkan *speckle* sehingga mengalami sedikit pengurangan *speckle*, berbeda dengan tahap *speckle filtering* yang mengurangi khusus efek *speckle* di citra yang menutupi informasi objek permukaan yang menyulitkan proses interpretasi visual. Metode filter yang digunakan yaitu filter *median* 5x5 yang menghasilkan kenampakan yang cukup stabil berupa tingkat kehalusan gambar, ketajaman objek dan batas tepi dari topografi.

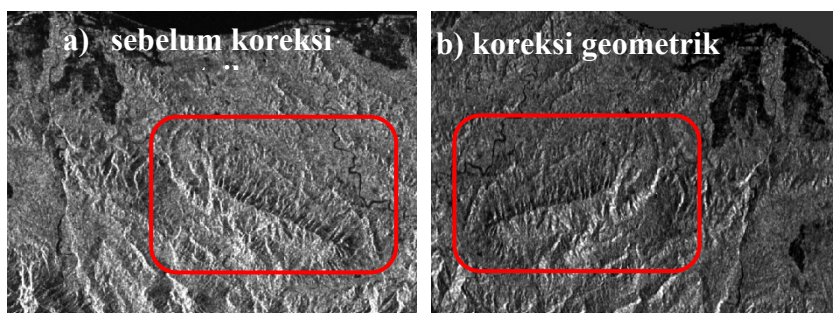


**Gambar 6.** Hasil filter median 5x5

Dari hasil antara *multilook* dan *speckle filtering*, dapat disimpulkan bahwa tahap *multilook* bersifat merubah resolusi spasial sedangkan *speckle filtering* tetap mempertahankan resolusi spasial citra.

- Koreksi Geometrik

Pada gambar terlihat jelas letak objek pada citra yang belum mengalami koreksi geometrik. Objek sinklinal pada citra terlihat terbalik yang melintang dari arah Barat laut-Tenggara dan puncak sinklinal berada di bawah melainkan yang seharusnya berada di atas.



**Gambar 7.** Hasil koreksi geometrik

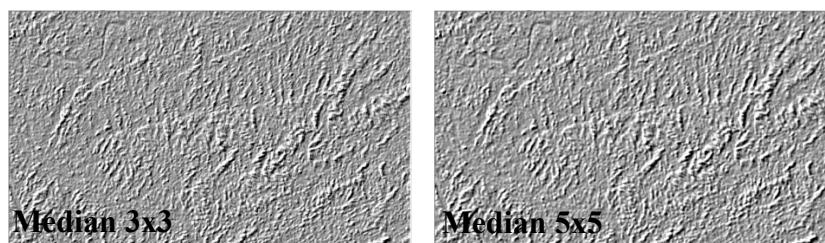
Koreksi geometrik yang dilakukan yaitu dengan memasukkan informasi kordinat kartografis dengan metode *back-geocoding* yaitu mengembalikan kenampakan asli citra dengan membalikkan secara 180° dari arah kanan ke kiri sehingga dihasilkan perubahan pada gambar 7 b). Posisi acuan yang digunakan yaitu dari citra SRTM yang secara otomatis diperoleh melalui *software* SNAP.

## 2. Multispektral Landsat 8

Pada penelitian ini citra Landsat 8 berada pada level “L1TP” (*precision terrain-corrected products*) yang artinya telah terkoreksi secara geometrik dan posisi citra telah berada dalam koordinat geografis. Koreksi radiometrik tetap dilakukan untuk menyesuaikan dengan citra SAR yang menggunakan nilai pantulan objek. Koreksi radiometrik melibatkan parameter seperti *band radiance*, *band reflectance*, *sun elevation angle* dan *solar zenith angle* yang semuanya dapat diperoleh melalui metadata citra. Setelah citra dilakukan koreksi radiometrik, maka dipilih saluran 5,6,7 untuk dikompositkan menjadi satu citra sehingga memberikan tampilan yang kontras.

## 3. Filter Spasial *Directional* 3x3 dan 5x5

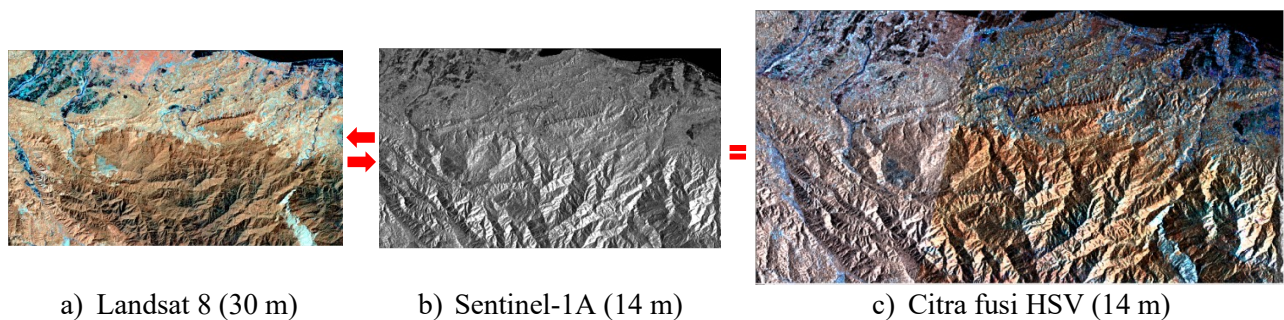
Informasi struktur berupa kelurusan terlihat sangat jelas dan rapi karena filter ini fokus kepada arah sudut tertentu. Selain pemberian jumlah kernel 3x3 dan 5x5, proses filter mengalami penambahan nilai kecerahan 5 % dan sudut pemfilteran 50 % dengan mempertimbangkan secara visual sebagian besar kelurusan yang berarah demikian. Kernel 3x3 dan 5x5 telah diuji dan menunjukkan sedikit perbedaan karena masing-masing filter menghasilkan objek yang dapat dikenali di lokasi yang berbeda sehingga kedua filter digunakan untuk menentukan struktur geologi dan arah dominan. Berikut hasil filter *directional*:



**Gambar 8.** Perbandingan filter *directional* 3x3 dan 5x5

## 4. Fusi *Hue, Saturation and Value* Citra SAR Sentinel-1A dan Landsat 8

Perbedaan resolusi antara kedua citra menjadi ciri khas teknik fusi. Resolusi yang lebih rendah pada citra Landsat 8 yaitu 30 meter mengikuti resolusi citra Sentinel-1A yaitu 14 meter sehingga citra hasil fusi sekarang memiliki resolusi 14 meter. Kenampakan 3 dimensi pada citra Sentinel-1A yang baik secara visual untuk daerah topografi dengan relief bergelombang dan pegunungan sesuai untuk digunakan dalam interpretasi citra seperti bentuklahan, morfologi, pola aliran, dan litologi.



**Gambar 9.** Proses fusi HSV citra Sentinel-1A dan Landsat 8

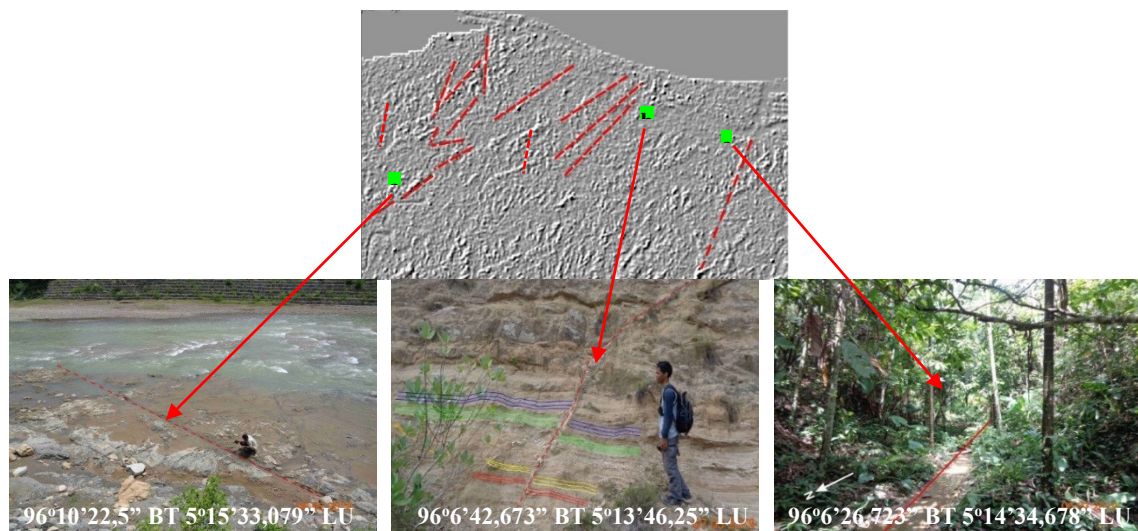
Hasil fusi HSV menunjukkan tingkat kejelasan objek pada keseragaman topografi antara dataran dengan topografi relief berbukit dan bergelombang. Salah satu pendekatan untuk identifikasi bentuklahan yaitu menggunakan keberadaan tutupan vegetasi yang diperoleh dari aspek spektral citra Landsat 8 seperti rona atau warna. Parameter vegetasi yang muncul pada citra Landsat 8 berperan besar dalam mempengaruhi tingkat kejelasan dan kedetilan informasi topografi karena hubungan antar keduanya yang sangat kuat dengan melihat kerapatan dari vegetasi yang menutupi objek permukaan. Keseragaman topografi maupun relief sangat terlihat jelas melalui gradasi warna yang diwakilkan oleh tutupan vegetasi.

### Identifikasi Struktur Geologi, Bentuklahan dan Litologi

Identifikasi elemen geologi seperti struktur geologi, bentuklahan dan litologi dilakukan melalui interpretasi visual pada citra dan pengamatan lapangan.

#### 1. Identifikasi Struktur Geologi

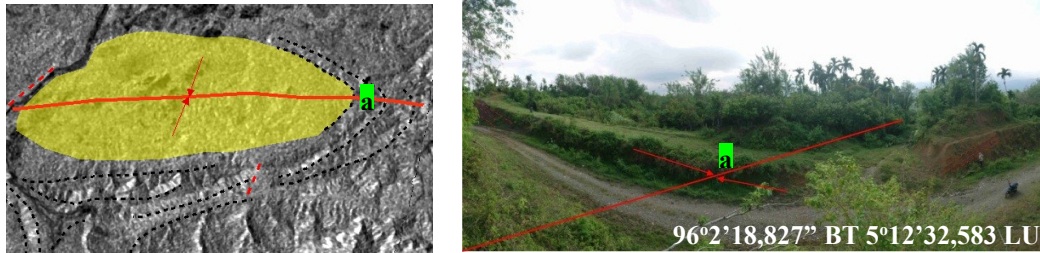
Pola kelurusan yang teridentifikasi melalui filter *directional* memperoleh dugaan kuat sebagai sesar dalam bentuk *linear* dan *curvilinear*. Kenampakan pola kelurusan pada gambar 10 menunjukkan bahwa hasil citra yang diperoleh tanpa mengalami filter spasial sulit mengungkapkan objek yang tertutupi vegetasi. Terdapat tiga titik pengamatan hasil interpretasi visual dengan hasil pengamatan lapangan.



**Gambar 10.** Identifikasi kelurusan dari citra dan pengamatan lapangan

Objek a merupakan kelurusan sungai yang diindikasikan sebagai sesar geser dan objek b merupakan sesar naik dan objek c menunjukkan kelurusan di lembah perbukitan. Sesar geser pada citra dapat dikenali melalui adanya perubahan pada susunan objek yang secara tiba-tiba seperti objek a. Pada sesar naik dapat dikenali melalui kenampakan batas yang tegas antara dua bidang yang memiliki beda ketinggian, warna/rona, tekstur dan bayangan yang menghasilkan nilai piksel berbeda seperti objek b. Kelurusan pada objek c diidentifikasi melalui pola lurus memanjang dan tekstur permukaan yang halus yang menandakan adanya penurunan dengan menyertai batas tegas dengan sisi lainnya di permukaan.

Pola lipatan ditandai dengan struktur geologi yang membentuk satuan bentuklahan yang memiliki arah perlapisan. Penentuan arah lipatan melalui citra berdasarkan arah kemiringan beberapa lapisan, seperti hasil identifikasi sinklinal pada gambar 11.

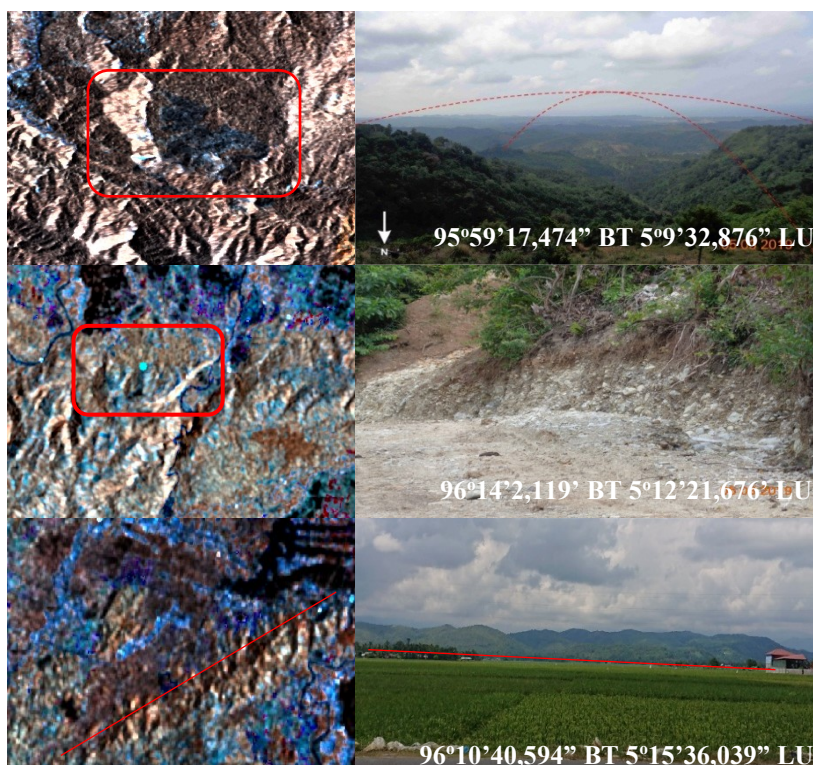


**Gambar 11.** Perlapisan struktur sinklinal

Hasil identifikasi struktur geologi menunjukkan informasi pola lipatan, perlapisan serta indikasi umur lapisan. Garis panah yang saling mendekati merupakan sinklinal. Area yang berwarna kuning menunjukkan lapisan batuan yang paling muda karena lapisan tersebut terbentuk paling terakhir dan mengalami pengikisan sehingga berada pada strata paling atas. Garis merah memanjang yang melintang di lembah sinklinal menunjukkan keberadaan *plunge* yang dapat diidentifikasi melalui citra dengan menganalisis pola lapisan pada kedua sisi yang melengkung di ujung lipatan.

## 2. Identifikasi Bentuk lahan

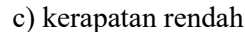
Hasil pengamatan secara visual mengenai penentuan satuan bentuklahan menggunakan citra fusi HSV menunjukkan bahwa daerah penelitian terdiri dari bentuklahan struktural, vulkanik dan fluvial. Bentuklahan struktural dan vulkanik menjadi yang paling dominan di daerah ini. Hal ini dapat dilihat pada daerah pegunungan di sisi selatan Pidie Jaya memiliki komposisi bentuklahan vulkanik mulai dari yang masih resisten sampai dengan yang sudah terdenudasi. Dari dataran tinggi ke sedang, sangat jelas bahwa bentuklahan yang terdapat di wilayah tersebut tergolong dalam bentuklahan struktural. Berikut beberapa hasil identifikasi bentuklahan struktural (a), vulkanik (b) dan fluvial (c).



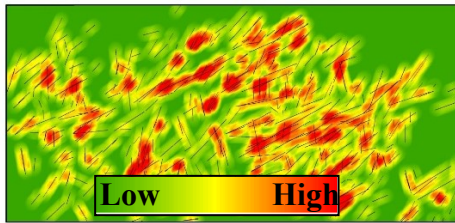
**Gambar 12.** Hasil identifikasi bentuklahan dari citra dan pengamatan lapangan

Dari hasil interpretasi visual HSV terhadap bentuklahan, diperoleh luasan bentuklahan struktural yaitu 555,39 km<sup>2</sup>, bentuklahan vulkanik 123,27 km<sup>2</sup> dan bentuklahan fluvial 253,8 km<sup>2</sup>.

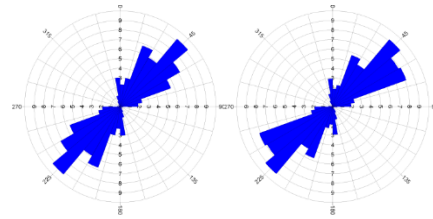
Penentuan jenis litologi melalui penginderaan jauh didasari dari beberapa parameter seperti bentuklahan, pola aliran dan kerapatan aliran yang merepresentasikan jenis litologi. Maka dari itu telah dilakukan identifikasi pola aliran yang juga diperoleh tingkat kerapatan aliran sehingga dapat ditentukan jenis litologi berdasarkan formasi geologi dari peta geologi.



buah kelurusan. Kernel 3x3 lebih baik dalam menghasilkan kelurusan yang sulit dikenali melalui citra biasa namun kedua kernel dikombinasikan untuk menghasilkan peta densitas dan diagram *rose* seluruh kelurusan daerah penelitian.



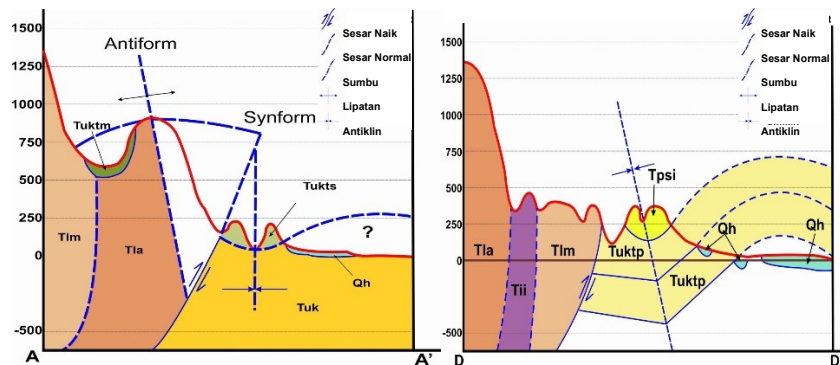
**Gambar 15.** Peta densitas seluruh kelurusan di daerah penelitian



**Gambar 16.** Diagram *rose* filter *directional* kombinasi 3x3 dan 5x5

Gambar 15 dan 16 menunjukkan sebuah bukti bahwa arah dominan dari kelurusan dan dugaan sesar di daerah penelitian berkisar antara  $42,4^\circ$  atau  $223,42^\circ$ . Hasil tersebut sesuai dengan sumber gaya utama daerah penelitian yang berarah *oblique* dari arah Barat Daya dan struktur kelurusan yang diindikasikan sebagai sesar menghasilkan arah dominan yang berarah BD-TL.

Hasil pemodelan rekonstruksi penampang dua dimensi telah diuji di beberapa lokasi penelitian dengan menggabungkan data topografi dari DEM, hasil identifikasi litologi dan struktur geologi. Berikut contoh model rekonstruksi penampang dua dimensi lokasi penelitian:



**Gambar 17.** Model rekonstruksi penampang dua dimensi (dipadukan dengan formasi batuan)

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat dihasilkan beberapa kesimpulan yaitu:

1. Teknik SAR polarisasi VH memperlihatkan kemampuan yang baik dalam menghasilkan kenampakan objek yang jelas pada daerah dengan relief bergelombang dan pegunungan namun kurang baik untuk daerah datar dan topografi rendah. Teknik fusi HSV dengan citra SAR Sentinel-1A dengan Landsat 8 sangat membantu dalam meningkatkan kualitas citra pada berbagai topografi.
2. Filter *directional* sangat baik dalam mengidentifikasi sesar di Pidie Jaya dan sesar yang dapat diidentifikasi yaitu sesar geser, sesar naik dan sesar normal.
3. Berdasarkan hasil analisis struktur geologi dapat diketahui bahwa pada daerah penelitian memiliki arah dominan dugaan sesar  $42,4^\circ$ - $223,63^\circ$  atau berarah Barat Daya-Timur Laut.
4. Untuk membuat pemodelan rekonstruksi geologi dua dimensi, dapat dilakukan tanpa pengukuran lapangan melainkan dengan menggunakan data yang dihasilkan dari penginderaan jauh yaitu topografi, litologi dan struktur geologi.
5. Kabupaten Pidie Jaya sebagian besar ditutupi oleh bentuklahan struktural dengan luas  $555,39 \text{ km}^2$  atau  $59,56 \%$  dari total luas daerah penelitian dengan akurasi  $86,04 \%$ .

6. Kabupaten Pidie Jaya sebagian besar ditutupi oleh litologi batuan sedimen dengan luas 571,78 km<sup>2</sup> atau 61,31 % dari total luas daerah penelitian dengan akurasi 82,93 % dan litologi batupasir yang paling mendominasi di daerah penelitian.

Dari semua proses pengolahan, terdapat beberapa saran yaitu sebagai berikut:

1. Untuk mendapatkan hasil lebih detil dalam klasifikasi bentuklahan dan litologi, lebih baik menggunakan unit pemetaan yang lebih detil agar menghasilkan sub satuan bentuklahan dan jenis litologi dengan skala tinggi.
2. Untuk meningkatkan kedetilan informasi struktur geologi dapat dilakukan dengan menggunakan banyak sudut filter *directional* agar dapat mengungkapkan keberadaan struktur geologi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Brahmantyo, B., Bandonu. (2006). Klasifikasi Bentuk Muka Bumi (*Landform*) untuk Pemetaan Geomorfologi pada Skala 1:25.000 dan Aplikasinya untuk Penataan Ruang. Jurnal Geoaplika, 1(2), pp. 71-78.
- Danoedoro, P. (1996). Pengolahan Citra Digital: Teori dan Aplikasinya dalam Bidang Penginderaan Jauh. Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.
- Gupta, R.P. (2018). Remote Sensing Geology: Third Edition. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Lillesand, T.M., Kiefer, R.W., Chipman, J.W. (2004). Remote Sensing and Image Interpretation: Fifth Edition. John Wiley & Sons, Inc.
- Massonnet, D., Feigl, K.L. (1998). Radar Interferometry and Its Application to Changes in the Earth's Surface. Reviews of Geophysics, 36(4), pp. 441.
- Pohl, C., Genderen, J.L.V. (1998). Multisensor Image Fusion in Remote Sensing: concepts, methods and application. Proceedings of IJRS, 19(5), pp. 823-824.
- Rosen, P.A., Hensley, S., Joughin, I.R., Li, F.K., Madsen, S.N., Rodriguez, E., Goldstein, R.M. (2000). Synthetic Aperture Radar Interferometry. Proceedings of the IEEE, 88(3), pp. 333.
- Strahler, A.N., Strahler, A.H. (1989). Elements of Physical Geography: Fourth Edition. John Wiley
- Suharsono, P. (1999). Identifikasi Bentuklahan dan Interpretasi Citra untuk Geomorfologi. PUSPICS Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.
- Wegner, J.D., Thiele, A., Soergel, U. (2009). Fusion of Optical and InSAR Feature for Building Recognition in Urban Areas. IAPRS, 38(3), pp. 169-174.