

ANALISIS KORELASI DEFORMASI DAN TUTUPAN LAHAN KAWASAN GUNUNG MERAPI PRA DAN PASCA ERUPSI

Riska Pratiwi, Yudo Prasetyo, Bambang Darmo Yuwono ^{*)}

Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email : na.riskapратиwi@gmail.com

ABSTRAK

Pertemuan tiga lempeng tektonik yaitu Lempeng Eurasia, Indo-Australia dan Pasifik menyebabkan Indonesia memiliki banyak gunung api aktif. Salah satu gunung api aktif di Indonesia adalah Gunung Merapi yang terletak di Pulau Jawa dan pernah mengalami erupsi pada tanggal 26 Oktober 2010. Aliran lava dari erupsi yang mengalir akan mempengaruhi tutupan lahan di sekitar kawasan, sehingga akan ada perubahan tutupan lahan pra dan pasca erupsi Gunung Merapi. Perubahan permukaan tanah (deformasi) yang signifikan juga merupakan salah satu akibat dari pergerakan magma di bawah permukaan bumi yang tidak stabil pada saat terjadinya erupsi.

Pada penelitian ini digunakan dua metode yaitu DInSAR dan klasifikasi *Supervised*. Kedua metode tersebut digunakan untuk mengetahui perubahan deformasi dan tutupan lahan pra dan pasca erupsi dengan menggunakan data ALOS PALSAR, Sentinel-1, Landsat 5 dan Landsat 8. Hasil korelasi perubahan deformasi dan tutupan lahan dikombinasikan dengan data Kawasan Rawan Bencana, sehingga didapatkan korelasi terhadap penetapan Kawasan Rawan Bencana.

Penelitian ini menghasikan perubahan deformasi pra dan pasca erupsi sebesar 1,87 cm/th hingga 30,56 cm/th dan perubahan volumetrik sebesar 122.980.109,9 ton. Perubahan tutupan lahan sebesar 53,46% dari luas keseluruhan wilayah penelitian seluas 97.958,155 Ha. Korelasi perubahan deformasi dan tutupan lahan didasarkan pada perubahan perkecamatan dengan 3 tingkatan yaitu : rendah, sedang dan tinggi, sehingga didapatkan korelasi sebesar 95% yang merupakan gabungan dari tingkat sedang dan tinggi. Kesimpulan yang didapatkan adalah perubahan deformasi berkorelasi terhadap perubahan tutupan lahan.

Korelasi perubahan deformasi dan tutupan lahan terhadap penetapan KRB terbagi menjadi 3 yaitu : rendah, sedang dan tinggi. Pada KRB I korelasi sebesar 98,97 %, KRB II sebesar 98,87% dan KRB III sebesar 99,28% yang merupakan gabungan dari tingkat sedang dan tinggi. Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah perubahan deformasi dan tutupan lahan berpengaruh terhadap penetapan Kawasan Rawan Bencana.

Penelitian ini diharapkan bisa memberikan informasi tentang perubahan deformasi dan tutupan lahan pra dan pasca erupsi Gunung Merapi, serta memberikan informasi dalam penentuan Kawasan Rawan Bencana Gunung Merapi berdasarkan perubahan deformasi dan perubahan tutupan lahan

Kata Kunci : DInSAR, Kawasan Rawan Bencana, Supervised dan Tutupan Lahan,

ABSTRACT

The encounter of three tectonic plates of Eurasian, Indo-Australian and Pacific Plate cause Indonesia has many active volcanoes. One of the active volcanoes in Indonesia is Mount Merapi located in Java Island and has erupted on October 26, 2010. Lava flow from eruption that flows will affect the land cover around the area, so there will be changes in land cover pre and post eruption of Mount Merapi. Significant ground level changes (deformations) are also one of the effects of unstable magma movements under the earth's surface during eruptions.

In this study used two methods namely DInSAR and Supervised classification. Both methods are used to determine the changes of deformation and land cover pre and post eruption using ALOS PALSAR, Sentinel-1, Landsat 5 and Landsat 8. The correlation result of deformation change and land cover is combined with the data of Disaster Prone Areas, so that the correlation to the determination Disaster-prone areas.

This study resulted in the change of pre and post-eruption deformation by 1.87 cm / th to 30.56 cm / year and volumetric changes of 122,980,109.9 tons. Land cover change of 53.46% of the total area of research area of 97,958.155 Ha. The correlation of deformation change and land cover is based on the change of crater with 3 levels ie: low, medium and high, so that the correlation is obtained by 95% which is a combination of medium and high level. Thus, it can be concluded that the deformation changes correlate to changes in land cover.

The correlation of deformation change and land cover to the determination of KRB is divided into 3 namely: low, medium and high. In KRB I the correlation of 98.97%, KRB II of 98.87% and KRB III of 99.28% which is a combination of medium and high level. The conclusions obtained from this study are changes in deformation and land cover affect the determination of Disaster Prone Areas.

This research is expected to provide information about the change of deformation and land cover pre and post eruption of Mount Merapi, and provide information in determination of Mount Merapi Disaster Prone Area based on deformation change and land cover change.

Keywords : DInSAR, Disaster Prone Areas, Land Cover and Supervised

**)Penulis Utama, Penanggung Jawab*

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang terletak Indonesia merupakan negara yang terletak dipertemuan tiga lempeng tektonik besar yaitu Lempeng Indo-Australia, Eurasia dan Pasifik. Pergerakan lempeng yang saling mendekati akan menghunjam ke bawah yang lain. Di belakang jalur penunjaman akan terbentuk rangkaian kegiatan magmatik dan gunung api. Hal tersebut menyebabkan Indonesia memiliki banyak gunung api yang tersebar dari Pulau Sumatera, Jawa, Nusa Tenggara hingga Papua.

Pulau Jawa memiliki beberapa gunung api yang masih aktif, salah satunya adalah Gunung Merapi. Gunung Merapi terletak diantara beberapa kabupaten dan provinsi. Lereng sisi selatan berada dalam administrasi Kabupaten Sleman dan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Kabupaten Magelang berada di sisi barat, Kabupaten Boyolali di sisi utara dan timur, serta Kabupaten Klaten di sisi tenggara yang merupakan wilayah Provinsi Jawa Tengah. Gunung Merapi memiliki ketinggian 2930 meter di atas permukaan air laut (Wikipedia, 2016).

Puncak erupsi gunung merapi terjadi pada tanggal 26 Oktober 2010. Erupsi gunung merapi ini berjenis erupsi epusif. Erupsi epusif yaitu peristiwa keluarnya magma dalam bentuk lelehan lava, tetapi tekanan gas magmatiknya tidak begitu kuat sehingga magma dari lubang kepundan hanya tumpah mengalir ke lereng – lereng puncak gunung tersebut (KBBI, 2016). Walau hanya berjenis Erupsi Epusif, erupsi ini menyebabkan banyak kerugian, baik alami maupun buatan. Aliran lava yang mengalir akan mempengaruhi tutupan lahan disekitar kawasan tersebut, sehingga akan ada perubahan tutupan lahan sebelum dan sesudah terjadinya erupsi Gunung Merapi. Pergerakan permukaan tanah yang tidak stabil, juga terjadi sebelum aliran lava keluar. Hal tersebut menyebabkan perubahan permukaan tanah (deformasi) yang signifikan sebelum terjadinya erupsi.

Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu benda (Kuang,S.L., 1996). Deformasi pada permukaan tanah ini terjadi karena adanya tekanan magma atau intrusi magma. Deformasi gunung api terjadi karena aktivitas vulkanik berupa pergerakan magma di bawah permukaan yang berpengaruh pada perubahan tekanan pada kantong magma. Adanya pergerakan di bawah permukaan merupakan indikasi awal terjadinya erupsi dan kenaikan tekanan yang akan menghasilkan deformasi di permukaan (*ground deformation*).

Penelitian ini menggunakan teknologi penginderaan jauh dengan menggunakan data sensor aktif dan sensor pasif. Data sensor aktif yang digunakan adalah ALOS PALSAR dan Sentinel-1 yang digunakan untuk menganalisis pra dan pasca erupsi menggunakan metode DInSAR (*Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar*). Data sensor pasif yang digunakan adalah Landsat 5 dan Landsat 8

untuk mendeteksi perubahan tutupan lahan menggunakan metode Klasifikasi Terbimbing (*Supervised Classification*).

Penelitian ini akan menghasilkan peta deformasi serta peta tutupan lahan pra dan pasca erupsi. Peta tersebut akan dilakukan analisis perubahan deformasi dan perubahan tutupan lahan. Perubahan deformasi dan tutupan lahan akan dikombinasikan dengan data kawasan rawan bencana. Hasil akhir penelitian ini adalah analisis korelasi perubahan deformasi dan tutupan lahan terhadap penentuan zonasi kawasan rawan bencana.

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana analisis perubahan deformasi dan volumetrik pra dan pasca erupsi Gunung Merapi ?
2. Bagaimana analisis korelasi perubahan deformasi dan tutupan lahan pra dan pasca erupsi Gunung Merapi?
3. Bagaimana analisis korelasi perubahan deformasi dan perubahan tutupan lahan terhadap penetapan zonasi kawasan rawan bencana?

I.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1 Tujuan Penelitian

Adapun maksud dan tujuan penelitian ini adalah :

- a. Mengetahui perubahan deformasi dan volumetrik pra dan pasca erupsi Gunung Merapi
- b. Mengetahui korelasi perubahan deformasi dan tutupan lahan Kawasan Gunung Merapi pra dan pasca erupsi.
- c. Mengetahui korelasi perubahan deformasi dan tutupan lahan terhadap penetapan Kawasan Rawan Bencana Gunung Merapi

1.3.2 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian dibagi menjadi 2 yaitu :

- a. Segi Keilmuan
Manfaat penelitian ini dalam segi keilmuan adalah memberikan kontribusi bagi ilmu penginderaan jauh baik pada sensor aktif maupun sensor pasif, khususnya mengenai metode DInSAR dan Klasifikasi Terbimbing.
- b. Segi Kerekayasaan
Manfaat penelitian ini dalam segi kerekayasaan adalah mendapatkan peta deformasi dan peta tutupan lahan yang bisa digunakan untuk menganalisis dampak erupsi Gunung Merapi.

I.4 Batasan Masalah

Batasan dalam penelitian ini adalah :

1. Wilayah penelitian didasarkan pada Peta Kawasan Rawan Bencana dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana Kawasan Gunung Merapi.
2. Metode yang digunakan untuk memperoleh deformasi pra dan pasca erupsi pada pasangan

Citra ALOS PALSAR dan pasangan Sentinel-1 adalah dengan menggunakan metode DiNSAR dengan ketentuan koherensi lebih dari 0,2.

3. Ketelitian hasil deformasi pra dan pasca erupsi berdasarkan *Root Mean Square error* internal dan tidak dilakukan validasi lapangan baik pengukuran maupun secara visualisasi.
4. Perhitungan hasil volumetrik pra dan pasca erupsi tidak didasarkan pada perhitungan nilai *per-pixel* pergeseran melainkan nilai tengah pergeseran perkelas yang sudah terklasifikasi.
5. Metode yang digunakan untuk memperoleh tutupan lahan pada citra Landsat 5 dan Landsat 8 adalah menggunakan Klasifikasi Terbimbing (*Supervised*) dengan Algoritma *Maximum likelihood*.
6. Proses pengolahan data ALOS dan Sentinel-1 menggunakan Sentinel 1 *Tool Box*.
7. Proses pengolahan data Landsat menggunakan ENVI 5.1.
8. Keluaran dari penelitian Tugas Akhir ini adalah Peta Deformasi Pra dan Pasca Erupsi, Peta Tutupan Lahan Pra dan Pasca Erupsi, Peta Korelasi Deformasi dan Tutupan Lahan Pra dan Pasca Erupsi, dan Peta Peta Korelasi Deformasi dan Tutupan Lahan Pra dan Pasca Erupsi terdapat penetapan KRB dengan skala 1 : 100.000

I.5 Ruang Lingkup Penelitian

1.5.1 Lokasi Penelitian

Area studi penelitian ini adalah Kawasan Gunung Merapi dengan acuan Peta Kawasan Rawan Bencana dari BNPB. Dibatasi oleh koordinat 110°14'60" BT - 110°32'30" dan 7°29'47" LS - 7°47'53" LS.

1.3.3 Alat dan Data Penelitian

Alat dan data penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Peralatan keras yang dibutuhkan pada penelitian adalah:
Laptop ASUS A456U Intel® Core™ i5 –7200U, up to 3.1 GHz RAM 4 Gb, OS Windows 10 dan Ubuntu Linux 16.04.
2. Perangkat Lunak yang dibutuhkan pada penelitian adalah : SNAP 5.0, SNAPHU 1.4.2, ArcGIS 10.4
3. Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini :
 - a. Citra ALOS PALSAR Level 1.1 wilayah Kawasan Gunung Merapi tahun 2009-2010
 - b. Citra Sentinel-1a IW level 1 wilayah Kawasan Gunung Merapi tahun 2015
 - c. Citra Landsat 5 tahun 2009
 - d. Citra Landsat 8 tahun 2015
 - e. DEM SRTM 1sec dengan resolusi spasial 30 m.
 - f. DEM TerraSAR dengan resolusi 10 m
 - g. Peta Administrasi Provinsi D.I Yogyakarta dan Provinsi Jawa Tengah
 - h. Peta Kawasan Rawan Bencana

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Deformasi

Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu benda (Kuang,1996 dalam Vidyan, Y., dkk. 2013). Deformasi merupakan perubahan yang dikaji dari beberapa dimensi baik dari arah X, Y, maupun Z. Perubahan deformasi ini dapat dibedakan menjadi dua yaitu perubahan absolut dan perubahan relatif. Perubahan itu dapat di jelaskan sebagai berikut, perubahan absolut adalah perubahan yang terjadi X,Y dan Z dan tidak di referensikan dengan titik lain, yang kedua adalah perubahan relatif, untuk perubahan relatif ini adalah perubahan yang terjadi pada sumbu X, Y, ataupun Z dan dikaitkan atau dihubungkan dengan titik lain.

II.2 Deformasi Gunung Merapi

Deformasi permukaan tanah terjadi karena adanya perubahan tekanan magma atau intrusi magma. Biasanya deformasi dinyatakan dengan pergeseran (*displacement*) arah *horizontal*, *vertical*, dan *tilting* (ungkitan). Di daerah gunung api sering kali terjadi perubahan topografi yang diakibatkan adanya aliran lava atau erupsi. Perubahan ini dapat berupa tambahan material. Lain halnya dengan adanya aktivitas magma di dalam kantong magma yang tidak menghasilkan tambahan material di permukaan. Akibat dari aktivitas magma ini adalah deformasi.

Pada prinsipnya deformasi dari tubuh gunung-api dapat berupa penaikan permukaan tanah (inflasi) ataupun penurunan permukaan tanah (deflasi). Deformasi yang berupa inflasi umumnya terjadi karena proses gerakan magma ke permukaan yang menekan permukaan tanah di atasnya. Deformasi maksimal biasanya teramati tidak lama sebelum letusan gunung api berlangsung. Deformasi berupa deflasi umumnya terjadi selama atau sesudah masa letusan. Pada saat itu tekanan magma di dalam tubuh gunung api telah melemah, sehingga menyebabkan permukaan tanah cenderung kembali ke posisinya semula.

Gejala deformasi gunung api akan menyebabkan pergeseran posisi suatu titik di tubuh gunung api. Pergeseran posisi tersebut dapat terjadi baik dalam arah horisontal maupun vertikal. Menurut Van der Laat, R. (1997), nilai pergeseran ini bisa mencapai puluhan meter pada gunung api silisik yang membentuk kubah lava.

II.3 DInSAR

Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR) adalah teknik akuisisi dua citra SAR berpasangan kombinasi data citra kompleks pada posisi spasial yang sama (*differential SAR*) atau posisinya sedikit berbeda (*terrain height InSAR*) pada area sama dengan melakukan perkalian konjugasi berganda. Hasil akhir berupa model elevasi digital (*DEM*) atau pergeseran suatu permukaan bumi (Cumming, I.G., dkk. 2005).

DInSAR sering digunakan untuk pemantauan perubahan (deformasi) suatu area sampai ketelitian

orde cm. Orde ketelitian seperti itu, didapatkan dari metode pengolahan data InSAR dengan cara didiferensialkan. Pada metode ini digunakan beberapa pasang interferogram sekaligus untuk mendeteksi perubahan permukaan topografi dengan ketelitian yang sangat tinggi (Haniah dan Prasetyo, Y., 2011).

Pada interferogram, beda fase di gambarkan sebagai perbedaan jarak yang diukur dengan *line of sight* (LOS) radar dan meliputi topografi, pergeseran orbit, deformasi permukaan dan efek atmosfer (Castaneda, dkk., 2011). Beda fase tersebut dapat dituliskan dengan persamaan II.1 berikut :

$$\Delta\varphi = \Delta\varphi_{topo} + \Delta\varphi_{defo} + \Delta\varphi_{atm} + \Delta\varphi_{orb} \dots \dots \dots (2.1)$$

Masing-masing besaran dalam persamaan 2.1, sebagai berikut:

- $\Delta\varphi$ =Beda Fase
- $\Delta\varphi_{topo}$ = Fase Topografi
- $\Delta\varphi_{defo}$ = Fase Deformasi
- $\Delta\varphi_{atm}$ = Fase Atmosferis
- $\Delta\varphi_{orb}$ = Fase Orbit

Ada dua cara mengimplementasikan DInSAR. Salah satunya adalah dengan *elevation model* (DEM) eksternal dan dengan menggunakan ekstra citra radar untuk membentuk topografi. Metode dengan menggunakan DEM eksternal hanya membutuhkan dua citra radar, dengan asumsi deformasi yang terjadi saat akuisisi tersebut dan dikenal dengan metode *two-pass*. Metode yang kedua tidak membutuhkan data lain selain data radar. Referensi topografi di sini dibuat dengan tambahan data radar yang diperoleh, tiga atau empat citra (yang digunakan) dan secara berurutan disebut dengan metode *three-pass* dan *four-pass*

II.3 Klasifikasi Terbimbing(Supervised)

Menurut Projo Danoedoro (1996) klasifikasi *supervised* ini melibatkan interaksi analis secara intensif, dimana analis menuntun proses klasifikasi dengan identifikasi objek pada citra (*training area*). Sehingga pengambilan sampel perlu dilakukan dengan mempertimbangkan pola spektral pada setiap panjang gelombang tertentu, sehingga diperoleh daerah acuan yang baik untuk mewakili suatu objek tertentu.

Salah satu algoritma yang biasa digunakan dalam klasifikasi *supervised* adalah *maximum likelihood*. Klasifikasi *maximum likelihood* pada dasarnya merupakan pengelompokan piksel berdasarkan nilai pantulannya sesuai dengan daerah contoh yang dipilih (Purwadhi, F.S.H., 2001). Metode klasifikasi ini pada dasarnya merupakan pengelompokan piksel berdasarkan nilai pantulannya sesuai dengan daerah contoh yang dipilih.

II.4 Kawasan Rawan Bencana

Peta rawan bencana gunung api (Peta Daerah Bahaya Gunung Api) dinyatakan dalam urutan-urutan angka dari tingkat kerawanan rendah ke tingkat kerawanan tinggi, yaitu: Wilayah Rawan Bencana I, Wilayah Rawan Bencana II dan Wilayah Rawan

Bencana III. (PVMBG dalam Peta KRB Gunung Merapi)

Wilayah Rawan Bencana I adalah wilayah yang berpotensi terlanda lahar atau banjir dan tidak menutup kemungkinan dapat terkena perluasan awan panas dan aliran lava. Selama letusan membesar, wilayah ini berpotensi tertimpa material jatuhnya berupa hujan abu lebat dan lontaran batu (pijar).

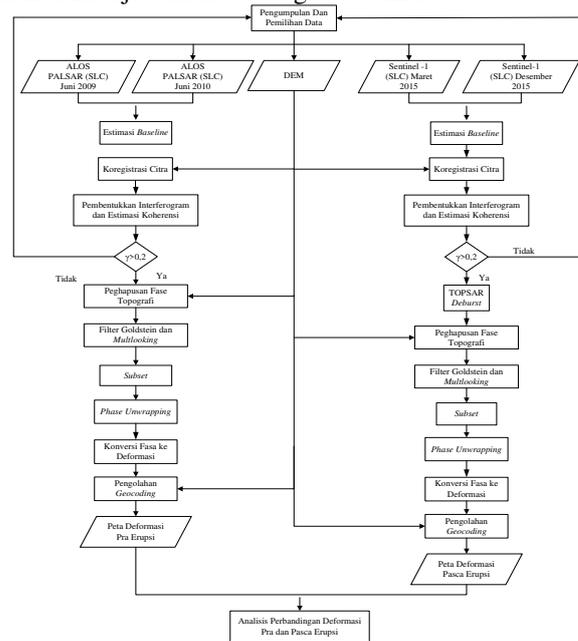
Wilayah Rawan Bencana II adalah wilayah yang berpotensi terhadap awan panas, aliran lava, lontaran atau guguran batu (pijar), hujan abu lebat, hujan lumpur (panas), aliran lahar dan gas beracun, umumnya menempati lereng dan kaki gunung api.

Wilayah Rawan Bencana III adalah wilayah yang sering terlanda awan panas, aliran lava, lontaran batu (pijar) dan gas beracun. Wilayah ini hanya diperuntukkan bagi gunung api yang sangat giat atau sering meletus. Pada wilayah ini tidak diperkenankan untuk hunian atau aktifitas apapun.

III. Tahapan Pelaksanaan

III.1 Tahapan Pelaksanaan DInSAR

Pada penelitian ini ada beberapa tahapan yang dilakukan, secara garis besar tahapan pengolahan DInSAR dijabarkan dalam gambar III.1



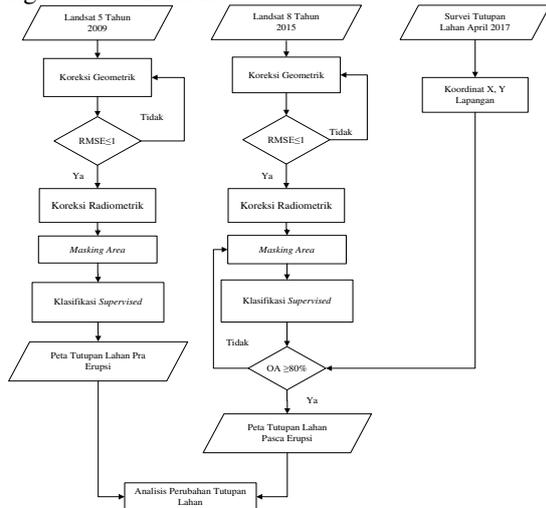
Gambar III.1 Diagram Alir Pengolahan DInSAR

Hasil akhir dari pengolahan DInSAR adalah peta perubahan deformasi pra dan pasca erupsi per kecamatan. Perubahan deformasi ini kemudian diklasifikasikan berdasarkan 3 tingkatan yaitu rendah, sedang dan tinggi. Klasifikasi ini didasarkan pada nilai terendah dan tertinggi perubahan deformasi, yang kemudian dibagi secara merata berdasarkan 3 kelas yang telah ditentukan.

III.2 Tahapan Pelaksanaan Klasifikasi Tutupan Lahan

Pada penelitian ini ada beberapa tahapan yang dilakukan, secara garis besar tahapan pengolahan Tutupan Lahan dijabarkan dalam gambar III.2

Hasil akhir dari pengolahan tutupan lahan adalah peta perubahan tutupan lahan pra dan pasca erupsi per kecamatan. Perubahan tutupan lahan ini kemudian diklasifikasikan berdasarkan 3 tingkatan yaitu rendah, sedang dan tinggi. Klasifikasi ini didasarkan pada nilai terendah dan tertinggi perubahan tutupan lahan, yang kemudian dibagi secara merata berdasarkan 3 kelas yang telah ditentukan.



Gambar III.2 Diagram Alir Pengolahan Tutupan Lahan

III.3 Tahapan Pelaksanaan Korelasi Perubahan Deformasi dan Tutupan Lahan terhadap Penetapan KRB

Pada penelitian ini ada beberapa tahapan yang dilakukan, secara garis besar tahapan pengolahan korelasi perubahan deformasi dan tutupan lahan terhadap penetapan KRB dijabarkan dalam gambar III.3



Gambar III.3 Diagram Alir Pengolahan Korelasi Perubahan Deformasi dan Tutupan Lahan terhadap Penetapan KRB

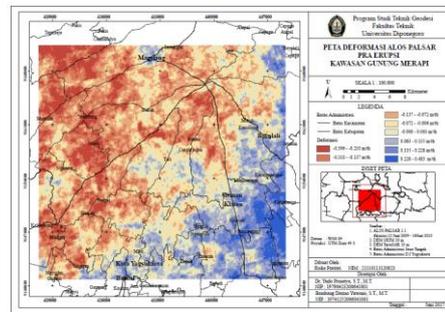
Hasil akhir dari pengolahan ini adalah peta korelasi perubahan deformasi dan tutupan lahan yang didapatkan dari korelasi hasil klasifikasi 3 tingkatan pada perubahan deformasi dan tutupan lahan, kemudian dikorelasikan lagi terhadap penetapan KRB.

IV. Hasil dan Pembahasan

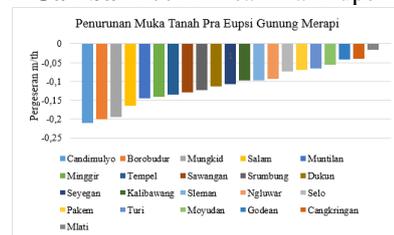
IV.1 Hasil dan Pembahasan Deformasi

IV.1.1 Hasil dan Pembahasan Deformasi Pra Erupsi

Nilai RMSe internal hasil pengolahan deformasi pra erupsi adalah $0,0044 \pm 0,1933$ meter/tahun. Hasil deformasi pra erupsi dapat dilihat pada Gambar IV.1



Gambar IV.1 Dinsar Pra Erupsi



Gambar IV.2 Penuruna Muka Tanah Pra Erupsi

Pada Gambar IV.2 dapat dilihat bahwa penurunan muka tanah tertinggi terjadi pada Kecamatan Candimulyo, Kabupaten Magelang dengan penurunan mencapai $-0,2109 \pm 0,067$ meter/tahun. Penurunan muka tanah ini banyak terjadi pada Kabupaten Magelang dan Sleman. Hal ini disebabkan karena dua kabupaten tersebut berbatasan langsung dengan kawasan Puncak Gunung Merapi, sehingga bisa menyebabkan penurunan muka tanah saat terjadi pergerakan magma yang tidak stabil sebelum terjadinya erupsi. Penurunan muka tanah ini bisa juga terjadi karena aktivitas pembangunan yang padat pada kedua kabupaten tersebut.

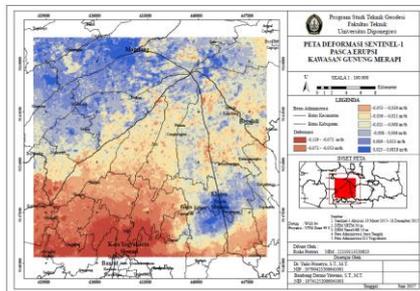


Gambar IV.3 Kenaikan Muka Tanah Pra Erupsi

Kenaikan muka tanah tertinggi pada Gambar IV.3 berada pada Kecamatan Jogonalan, Kabupaten Klaten dengan kenaikan mencapai $0,2788 \pm 0,0803$ meter/tahun. Penyebab kenaikan permukaan tanah ini adalah proses *phase unwrapping* yang kurang sempurna, sehingga masih banyak artefak yang belum hilang dan menyebabkan hasil akhir menjadi kurang sesuai, terutama pada bagian selatan wilayah penelitian yang berada pada Kabupaten Klaten.

IV.1.2 Hasil dan Pembahasan Deformasi Pra Erupsi

Nilai RMSE internal hasil pengolahan deformasi pasca erupsi adalah $-0,0346 \pm 0,0441$ meter/tahun. Hasil deformasi pasca erupsi dapat dilihat pada Gambar IV.4



Gambar IV.4 Dinsar Pasca Erupsi



Gambar IV.5 Penurunan Muka Tanah Pasca Erupsi



Gambar IV.6 Kenaikan Muka Tanah Pasca Erupsi

Pada Gambar IV.5 penurunan muka tanah tertinggi mencapai $-0,0871 \pm 0,0024$ meter/tahun pada Kecamatan Tegalrejo, Kota Jogjakarta. Penurunan muka tanah ini banyak terjadi di Kabupaten Sleman dan Kabupaten Magelang. Hal ini disebabkan karena kedua kabupaten tersebut berbatasan langsung dengan kawasan Puncak Gunung Merapi, sehingga bisa terkena dampak langsung saat terjadinya erupsi. Dampak langsung tersebut adalah aliran lava yang mengalir dan dapat menyebabkan penurunan muka tanah.

Kenaikan muka tanah tertinggi berada pada Kecamatan Sawangan Kabupaten Magelang dengan kenaikan mencapai $0,0148 \pm 0,0184$ meter/tahun. Salah satu penyebab kenaikan muka tanah pasca erupsi adalah proses *phase unwrapping* yang kurang sempurna, sehingga masih banyak artefak yang belum hilang.

IV.1.3 Hasil dan Pembahasan Perubahan Deformasi

Perubahan deformasi didapatkan dari nilai kecepatan pergeseran pra dan pasca erupsi. Perubahan tersebut diklasifikasikan menjadi 3 kelas, yaitu rendah, sedang dan tinggi. Klasifikasi ini berdasarkan nilai tertinggi dan terendah, kemudian dibagi secara merata.

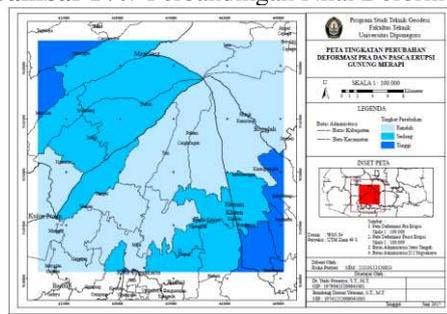
Nilai perubahan deformasi terendah sebesar 0,0187 m/th dan tertinggi sebesar 0,3056 m/th. Kelas terendah memiliki nilai perubahan deformasi sebesar

0,0187 m/th hingga 0,0749 m/th. Kelas sedang memiliki nilai perubahan deformasi sebesar 0,0749 m/th hingga 0,1667 m/th dan kelas tertinggi memiliki nilai perubahan deformasi sebesar 0,1667 m/th hingga 0,3056 m/th. Hasil klasifikasi tersebut mendapatkan hasil berupa 16 kecamatan masuk ke dalam kelas rendah, 12 kecamatan masuk ke dalam kelas sedang dan 11 kecamatan masuk ke dalam kelas tertinggi.

Tingkat perubahan deformasi tertinggi terjadi pada Kecamatan Jogonalan, Kabupaten Klaten dengan nilai perubahan 0,3056 m/th. Tingkat perubahan deformasi terendah terjadi pada Kecamatan Moyudan, Kabupaten Sleman dengan nilai perubahan 0,0187 m/th. Salah satu penyebab tingginya perubahan deformasi pada daerah selatan wilayah penelitian adalah proses pengolahan *unwrapping* yang kurang maksimal, baik pada hasil deformasi pra erupsi. Perbandingan nilai deformasi pra dan pasca erupsi serta peta perubahan deformasi di-overlay seperti pada Gambar IV.7 dan Gambar IV.8



Gambar IV.7 Perbandingan Nilai Deformasi



Gambar IV.8 Peta Perubahan Deformasi Pra dan Pasca Erupsi Gunung Merapi

IV.1.4 Hasil dan Pembahasan Perubahan Volumetrik

Volumetrik pra dan pasca erupsi bisa didapatkan dari perhitungan luas dan jarak pergeseran dari permukaan bumi menuju titik pergeseran. Jarak pergeseran ini didapatkan dari kecepatan penurunan dan kenaikan yang dihitung pertahun.

Pada Tabel IV.1 dan Tabel IV.2 dapat dilihat bahwa volume pra erupsi sebesar 117.803.878,288 m³ atau 164.925.429,6 ton serta volume pasca erupsi sebesar 29.960.942,643 m³ atau 41.945.319,7 ton. Dari hasil volumetrik tersebut dapat dilihat bahwa terjadi penurunan volumetrik dari pra erupsi hingga pasca erupsi sebesar 87842935,645 m³ atau 122.980.109,9 ton.

Tabel IV.1 Hasil Volumetrik Pra Erupsi

No	Luas(m ²)	Kecepatan (m/th)	Waktu (th)	Jarak (m)	Volume (m ³)
1	74430266,6117	-0,3954 -0,2100	1	0,3024	22509886,545
2	16095160,2800	-0,210 - -0,1371	1	0,1733	27884875,365
3	20834611,8200	-0,1371 - -0,0716	1	0,1044	21741857,243
4	17797532,4830	-0,0716 - -0,0062	1	0,0389	6923906,8846
5	137465200,1480	-0,0062 - -0,0627	1	0,0283	3886060,3099
6	123928131,9090	0,0627 - 0,1351	1	0,0989	12254923,997
7	74237052,7870	0,1351 - 0,2280	1	0,1816	13478627,815
8	25662850,5688	0,2280 - 0,4830	1	0,3555	9123740,1283
Jumlah					117803878,288

Tabel IV.2 Hasil Volumetrik Pasca Erupsi

No	Luas(m ²)	Kecepatan (m/th)	Waktu (th)	Jarak (m)	Volume (m ³)
1	70954856,5955	-0,1296 - -0,0716	1	0,1006	7139713,4536
2	98892397,8844	-0,0716 - -0,0525	1	0,0621	6137969,5900
3	119145335,8040	-0,0525 - -0,0359	1	0,0442	5271002,3449
4	172359218,0000	-0,0359 - -0,0210	1	0,0285	4909819,9441
5	178655849,6640	-0,0210 - -0,0078	1	0,0144	2570887,7802
6	180346915,2730	-0,0078 - 0,0063	1	0,0007	127856,4045
7	123503417,0110	0,0063 - 0,0229	1	0,0146	1806929,6487
8	38137024,9132	0,0229 - 0,0818	1	0,0524	1996763,4770
Jumlah					29960942,643

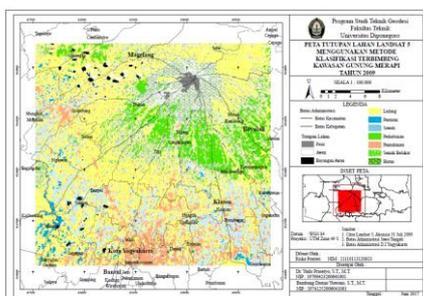
Perubahan ini bisa terjadi karena aktivitas vulkanik berupa pergerakan magma di bawah permukaan yang berpengaruh pada perubahan tekanan pada kantong magma. Pergerakan di bawah permukaan merupakan indikasi awal terjadinya erupsi dan kenaikan tekanan yang akan menghasilkan deformasi di permukaan (*ground deformation*).

Deformasi yang berupa inflasi umumnya terjadi karena proses pergerakan magma ke permukaan yang menekan permukaan tanah di atasnya. Hal ini menyebabkan deformasi yang maksimal biasanya teramati tidak lama sebelum letusan gunung api yaitu pada saat pra erupsi, sedangkan deformasi berupa deflasi umumnya terjadi selama atau sesudah masa letusan. Hal inilah yang menyebabkan deformasi pasca erupsi lebih stabil dibandingkan pra erupsi, sehingga volume akibat deformasi menjadi berkurang.

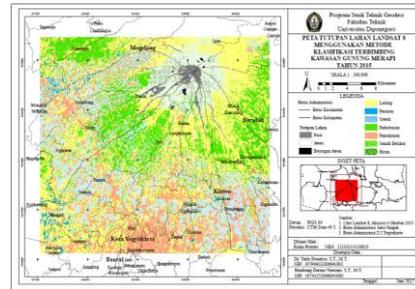
IV.2 Hasil dan Pembahasan Perubahan Tutupan Lahan

IV.2.1 Hasil dan Pembahasan Klasifikasi Tutupan Lahan Pra dan Pasca Erupsi

Hasil klasifikasi tutupan lahan pra dan pasca erupsi dapat dilihat pada Gambar IV.9 dan Gambar IV.10.



Gambar IV.9 Klasifikasi Tutupan Lahan Pra Erupsi



Gambar IV.10 Klasifikasi Tutupan Lahan Pasca Erupsi

Hasil klasifikasi tutupan lahan pasca erupsi dilakukan validasi lapangan dan didapatkan hasil pengolahan matriks konfusi pada Tabel IV.3

Tabel IV.3 Hasil Matriks Konfusi

	Tidak Terklasifikasi	Hutan	Ladang	Pasir	Pemukiman	Perairan	Perkebunan	Sawah	Semak	Total
Tidak Terklasifikasi	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Hutan	0	9	1	0	0	0	0	0	0	10
Ladang	0	4	11	2	0	1	2	1	2	23
Pasir	0	0	0	11	0	0	0	0	0	11
Pemukiman	0	0	1	0	15	0	0	0	0	16
Perairan	0	0	0	0	0	14	0	0	0	14
Perkebunan	0	1	0	1	0	0	13	0	0	15
Sawah	0	0	2	0	0	0	0	14	0	16
Semak	0	0	0	1	0	0	0	0	13	14
Total	0	15	15	15	15	15	15	15	15	120
Rata-rata Akurasi Pengguna										84,70%
Rata-rata Akurasi Pembuat										87,50%
Akurasi Keseluruhan(100/120)										83,33%
Koefisien Nilai Kappa										0,8098

Pada Tabel IV.3, hasil matriks konfusi pada klasifikasi menggunakan Landsat 8 menghasilkan *Overall Accuracy* atau akurasi keseluruhan sebesar 83,33% dengan nilai *Kappa Coefficient* sebesar 0,810. Hasil tersebut menunjukkan terdapat 16,67% kesalahan keseluruhan dalam klasifikasi citra. Selain itu juga menghasilkan rata-rata akurasi pengguna sebesar 84,70 % dan rata-rata akurasi pembuat sebesar 87,30%. Nilai rata-rata akurasi pengguna, pembuat dan keseluruhan lebih dari 80%, sehingga hasil klasifikasi tersebut dapat dilanjutkan untuk proses selanjutnya.

Hasil klasifikasi tutupan lahan pra dan pasca erupsi juga didapatkan luasan dari setiap tutupan lahan seperti pada Tabel IV.4.

Tabel IV.4 Luas Tutupan Lahan Pra dan Pasca Erupsi

No	Keterangan	Pra Erupsi (Ha)	Pasca Erupsi (Ha)
1	Tidak Terklasifikasi	15,15054452	150,0411651
2	Pasir	902,9820984	1.846,72613
3	Semak Belukar	6.258,923115	5.070,847559
4	Hutan	14.880,21281	5.967,532904
5	Awan	528,7649746	225,2387151
6	Ladang	43.111,09672	35.284,76825
7	Bayangan Awan	497,6805397	83,2927818
8	Perairan	1.987,32458	1.253,260131
9	Sawah	12.215,23508	16.186,16399
10	Perkebunan	8.546,549036	15.729,43745
11	Pemukiman	9.014,236005	16.160,84642

Pada Tabel IV.4 dapat dilihat bahwa setiap tutupan lahan yang mengalami perubahan, baik peningkatan maupun penurunan. Peningkatan ini bisa terjadi karena jumlah penduduk yang semakin meningkat setiap tahunnya, sehingga berpengaruh pada peningkatan pemukiman, sawah dan perkebunan.

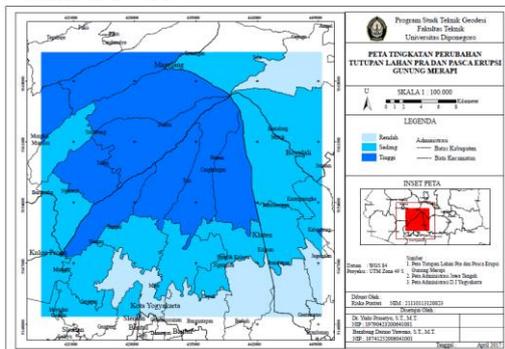
Penurunan tutupan lahan bisa disebabkan karena pertumbuhan penduduk yang semakin meningkat, sehingga hutan, ladang, semak dan perairan semakin menipis. Area tersebut banyak

digunakan untuk pembangunan dan pembentukan lahan yang lebih berguna dan tahan lama seperti perkebunan. Hutan dan semak yang berada di sekitar puncak Gunung Merapi banyak yang mati karena terkena aliran magma yang keluar waktu terjadinya erupsi.

IV.2.2 Hasil dan Pembahasan Perubahan Tutupan Lahan

Perubahan Tutupan lahan didapatkan dari hasil korelasi data hasil klasifikasi tutupan lahan pra erupsi dan pasca erupsi. Tingkat perubahan tutupan lahan ini dibagi menjadi 3 kelas tingkatan yaitu rendah, sedang dan tinggi.

Tingkat perubahan tutupan lahan tertinggi terjadi pada Kecamatan Turi, Kabupaten Sleman dengan nilai perubahan mencapai 70,187%. Dan tingkat perubahan tutupan lahan terendah terjadi pada Kecamatan Prambanan, Kabupaten Sleman dengan nilai perubahan 21,83%. Perubahan tingkat tutupan lahan ini kemudian di-overlay menjadi sebuah peta seperti pada Gambar IV.11.



Gambar IV.11 Peta Perubahan Tutupan Lahan Pra dan Pasca Erupsi Gunung Merapi

Tingkat perubahan tutupan lahan tertinggi banyak terjadi di Kabupaten Magelang dan tingkat perubahan terendah terjadi di Kabupaten Sleman. Salah satu penyebab tingginya perubahan tutupan lahan adalah banyaknya perubahan lahan terbangun atau pemukiman, sehingga menyebabkan beberapa vegetasi menjadi ikut berubah. Selain itu, perairan dan pasir juga berubah. Perubahan ini juga banyak terjadi pada kecamatan yang berada di sekitar puncak Gunung Merapi.

IV.3 Hasil dan Pembahasan Korelasi Perubahan Deformasi dan Perubahan Tutupan Lahan

Korelasi antara perubahan deformasi dan perubahan tutupan lahan didasarkan pada analisis tingkatan perubahan pada deformasi dan tutupan lahan. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Tabel IV.5.

Pada Tabel IV.5 dapat dilihat bahwa, dari 39 kecamatan yang masuk ke dalam wilayah penelitian, 2 kecamatan masuk kedalam tingkat rendah, 26 kecamatan masuk kedalam tingkat sedang dan 11 kecamatan masuk kedalam tingkat dengan perubahan yang tinggi.

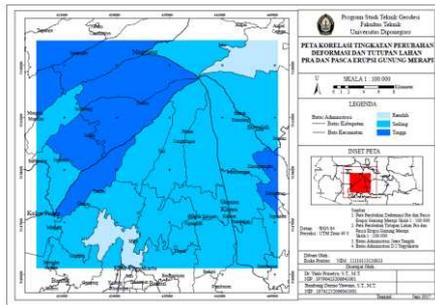
Tabel IV.5 Korelasi Deformasi dan Tutupan Lahan Berdasarkan Tingkat Perubahan

No	Kecamatan	Tingkat Perubahan Deformasi	Tingkat Perubahan Tutupan Lahan	Korelasi Deformasi dan Tutupan Lahan
1	Borobudur	Tinggi	Tinggi	Tinggi
2	Candimulyo	Tinggi	Tinggi	Tinggi
3	Cangkringan	Rendah	Tinggi	Sedang
4	Cepogo	Rendah	Rendah	Rendah
5	Depok	Sedang	Rendah	Sedang
6	Dukun	Sedang	Tinggi	Tinggi
7	Gamping	Sedang	Sedang	Sedang
8	Gantiwarno	Tinggi	Rendah	Sedang
9	Godean	Rendah	Sedang	Sedang
10	Jatinom	Tinggi	Sedang	Tinggi
11	Jogonalan	Tinggi	Rendah	Sedang
12	Kalasan	Sedang	Rendah	Sedang
13	Kalibawang	Rendah	Sedang	Sedang
14	Karangnongko	Tinggi	Sedang	Tinggi
15	Kasih	Tinggi	Rendah	Sedang
16	Kebonarum	Sedang	Tinggi	Tinggi
17	Kemalang	Rendah	Sedang	Sedang
18	Manisrenggo	Sedang	Sedang	Sedang
19	Minggir	Rendah	Sedang	Sedang
20	Mlati	Rendah	Rendah	Rendah
21	Moyudan	Rendah	Sedang	Sedang
23	Muntilan	Tinggi	Tinggi	Tinggi
24	Musuk	Sedang	Sedang	Sedang
25	Ngaglik	Rendah	Sedang	Sedang
26	Ngemplak	Rendah	Sedang	Sedang
27	Ngluwar	Sedang	Sedang	Sedang
28	Pakem	Rendah	Sedang	Sedang
29	Prambanan	Rendah	Tinggi	Sedang
30	Prambanan	Tinggi	Tinggi	Sedang
31	Salam	Sedang	Rendah	Tinggi
32	Sawangan	Sedang	Tinggi	Tinggi
33	Selo	Rendah	Tinggi	Sedang
34	Seyegan	Rendah	Sedang	Sedang
35	Sleman	Rendah	Sedang	Sedang
36	Srumbung	Sedang	Sedang	Tinggi
37	Tegalrejo	Tinggi	Tinggi	Sedang
38	Tempel	Sedang	Rendah	Tinggi
39	Turi	Rendah	Tinggi	Sedang



Gambar IV.12 Korelasi Deformasi dan Tutupan Lahan

Pada Gambar IV.12 dapat dilihat bahwa, dapat dilihat bahwa, sebanyak 5% masuk kedalam tingkat rendah, 67% masuk kedalam tingkat sedang dan 28% masuk kedalam tingkat yang tinggi. Hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa perubahan deformasi memiliki korelasi terhadap perubahan tutupan lahan pada pra dan pasca erupsi Gunung Merapi, karena nilai tingkat korelasi sedang dan tinggi yaitu 95%. Hasil korelasi kemudian di-overlay menjadi sebuah peta seperti Gambar IV.13



Gambar IV.13 Peta Korelasi Deformasi dan Tutupan Lahan

Korelasi dengan tingkat terendah berada pada Kecamatan Cepogo Kabupaten Boyolali yang berada didekat puncak Gunung Merapi dan Kecamatan Mlati Kabupaten Sleman berada di daerah selatan dan jauh dari Puncak Gunung Merapi. Pada saat pra erupsi Kabupaten Boyolali merupakan kabupaten yang tidak terkena dampak langsung erupsi Gunung Merapi, sehingga tidak terjadi perubahan yang signifikan baik deformasi maupun tutupan lahan. Kecamatan Mlati merupakan kecamatan yang berada jauh dari puncak Gunung Merapi, sehingga tidak ada perubahan yang signifikan dari deformasi maupun tutupan lahan.

IV.4 Hasil dan Pembahasan Korelasi Perubahan Deformasi dan Perubahan Tutupan Lahan terhadap Penetapa Kawasan Rawan Bencana

Tabel IV.6 Hasil Korelasi Perubahan Deformasi dan Tutupan berdasarkan Luasan Perubahan

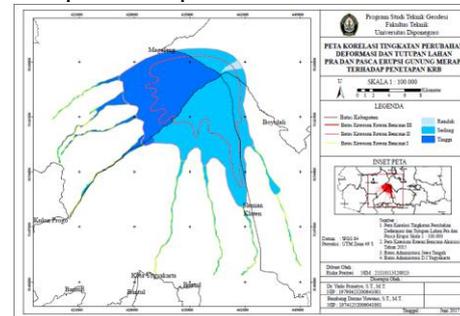
No	Keterangan	Luas Awal (Ha)	Luas KRB (Ha)	Analisis
1	Kawasan Rawan Bencana 1	2.889,088987	29,706786	Rendah
			1657,728697	Sedang
			1201,641797	Tinggi
2	Kawasan Rawan Bencana 2	9.525,606049	107,9428181	Rendah
			6803,192401	Sedang
			3614,470281	Tinggi
3	Kawasan Rawan Bencana 3	9.985,660849	72,34954946	Rendah
			5761,02029	Sedang
			4152,283936	Tinggi



Gambar IV.14 Korelasi Deformasi dan Tutupan Lahan terhadap Penetapan KRB

Pada Tabel IV.6 dan Gambar IV.14 dapat dilihat korelasi deformasi dan tutupan lahan terhadap penetapan KRB berdasarkan luasan perubahan. Luasan perubahan tersebut didasarkan pada tingkatan perubahan korelasi yang sebelumnya telah ditentukan. Pada KRB I tingkat rendah sekitar 1,03%, tingkat sedang 57,38% dan tingkat tinggi 41,59% dari luas keseluruhan. Pada KRB II tingkat rendah sekitar

1,13%, tingkat sedang 60,92% dan tingkat tinggi 37,94%. Pada KRB III tingkat rendah sekitar 0,72%, tingkat sedang 57,69% dan tingkat tinggi 41,58%. Hasil overlay korelasi tingkat perubahan deformasi dan tutupan lahan terhadap penetapan kawasan rawan bencana dapat dilihat pada Gambar IV.15.



Gambar IV.15 Peta Korelasi Perubahan Deformasi dan Tutupan Lahan terhadap Penetapan KRB

Hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa korelasi tingkat perubahan deformasi dan tutupan lahan berpengaruh terhadap penentuan Kawasan Rawan Bencana. Karena dapat dilihat dari korelasi dengan tingkat sedang dan tinggi pada setiap Kawasan Rawan Bencana yang lebih dari 50%. Pada KRB I sekitar 98,97 %, KRB II sekitar 98,87% dan KRB III sekitar 99,28%.

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Perubahan deformasi pra dan pasca erupsi diklasifikasi berdasarkan 3 tingkatan, yaitu rendah, sedang dan tinggi. Tingkat perubahan deformasi tertinggi terjadi pada Kecamatan Jogonalan, Kabupaten Klaten dengan nilai perubahan 30,56 cm/th. Dan tingkat perubahan deformasi terendah terjadi pada Kecamatan Moyudan, Kabupaten Sleman dengan nilai perubahan 1,87 cm/th. Selain perubahan deformasi, volumetrik pra dan pasca erupsi juga mengalami perubahan. Volumetrik pra erupsi sebesar 164.925.429,6 ton serta volumetrik pasca erusi sebesar 41.945.319,7 ton. Hasil dari perhitungan volumetrik dapat dilihat bahwa terjadi penurunan volumetrik dari pra erupsi hingga pasca erupsi sebesar 122.980.109,9 ton. Perubahan deformasi dan volumetrik pra dan pasca erupsi yang signifikan disebabkan oleh deformasi pra erupsi yang cukup tinggi. Deformasi pra erupsi berkisar antara $-21,09 \pm 6,7$ cm/th hingga $27,88 \pm 8,03$ cm/th, sedangkan pasca erupsi berkisar antara $-8,71 \pm 0,24$ cm/th hingga $1,48 \pm 1,84$ cm/th. Hal ini disebabkan karena pergerakan magma yang kurang stabil dan dapat menekan permukaan tanah pada saat pra erupsi Gunung Merapi.
2. Korelasi antara perubahan deformasi dan tutupan lahan didasarkan pada tingkatan perubahan deformasi dan perubahan tutupan lahan dengan 3

tingkatan yaitu rendah, sedang dan tinggi Hasil korelasi dari 39 kecamatan yang masuk ke dalam wilayah penelitian, 2 kecamatan masuk kedalam tingkat rendah atau sebesar 5% ,26 kecamatan masuk kedalam tingkat sedang atau sebesar 67% dan 11 kecamatan masuk kedalam tingkat dengan perubahan yang tinggi atau sebesar 28%.

Hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa perubahan deformasi memiliki korelasi terhadap perubahan tutupan lahan, karena apabila tingkat sedang dan tinggi dijumlahkan maka didapatkan nilai sebesar 95%. Jadi, perubahan deformasi juga berpengaruh terhadap perubahan tutupan lahan pada pra dan pasca erupsi Gunung Merapi.

3. Korelasi perubahan deformasi dan tutupan lahan terhadap penetapan KRB terbagi menjadi 3 yaitu : Pada KRB I tingkat rendah sekitar 8,93%, tingkat sedang 55,38% dan tingkat tinggi 35,69% dari luas keseluruhan. Pada KRB I tingkat rendah sekitar 1,03%, tingkat sedang 57,38% dan tingkat tinggi 41,59% dari luas keseluruhan. Pada KRB II tingkat rendah sekitar 1,13%, tingkat sedang 60,92% dan tingkat tinggi 37,94%. Dan pada KRB III tingkat rendah sekitar 0,72%, tingkat sedang 57,69% dan tingkat tinggi 41,58%.

Hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa korelasi tingkat perubahan deformasi dan tutupan lahan berpengaruh terhadap penentuan Kawasan Rawan Bencana. Karena dapat dilihat dari korelasi dengan tingkat sedang dan tinggi pada setiap Kawasan Rawan Bencana yang lebih dari 50%. Pada KRB I sekitar 98,97 %, KRB II sekitar 98,87% dan KRB III sekitar 99,28%.

V.2 Saran

Berdasarkan analisis penelitian yang masih banyak kekurangan dan kelemahan. Agar penelitian berikutnya mendapatkan hasil yang lebih optimal, disarankan untuk melakukan hal sebagai berikut :

1. Penerapan metode DinSAR masih memiliki banyak keterbatasan seperti masalah dekorelasi, sehingga dihasilkan keluaran yang jauh dari harapan sehingga pada penelitian berikutnya dapat digunakan metode yang lebih terbaru seperti PS InSAR, sehingga dihasilkan keluaran yang lebih baik.
2. Pada penelitian selanjutnya, diharapkan menggunakan lebih banyak data sehingga memiliki variasi hasil pengolahan.
3. Pemilihan pasangan data SAR yang tepat sangat penting untuk mengurangi dekorelasi dari kedua citra tersebut. Pemilihan data *master* dan *slave* harus memiliki karakteristik yang sama seperti arah pengambilan atau perekaman, baik *ascending* maupun *descending*. Selain itu didasarkan pada *estimasi baseline* terutama pada *baseline perpendicular* dengan nilai yang sekecil mungkin.
4. Pemilihan citra untuk tutupan lahan disarankan untuk memilih citra yang memiliki resolusi spasial

dan spektral yang tinggi sehingga pendeteksian bisa lebih spesifik dan akurat.

5. Untuk pengambilan titik sampel di lapangan, sebaiknya menggunakan metode sampling acak sistematis.

DAFTAR PUSTAKA

- Castaneda, dkk. 2011. *Dedicated SAR interferometric analysis to detect subtle deformation in evaporite areas around Zaragoya, NE Spain*. International Journal of remote sensing 32(7):1861-1884(2011).
- Cumming, I.G., dkk. 2005. *Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data*. Artech House Remote Sensing Library.
- Danoedoro, P. 1996. *Pengolahan Citra Digital*. Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada.
- Haniah, H., dan Prasetyo, Y. 2011. *Pengenalan Teknologi Radar untuk Pemetaan Spasial di Kawasan Tropis*. Jurnal Fakultas Teknik UNDIP, 32(2), 156-162.
- Kuang, S. L. 1996. *Geodetic Network Analysis And Optimal Design*. Ann Arbor Press: Michigan.
- Sharav, A. 2003. *Differential SAR Interferometry for Crustal Deformation study*. The Netherlands: International Institute For Geo-Information Science And Earth Observation Enschede : The Netherlands.
- Purwadi F.S.H. 2001. *Interpretasi Citra Digital*. Jakarta : Grasindo.
- PVMBG. "Panduan Pengenalan Karakteristik Bencana Dan Upaya Mitigasinya di Indonesia". Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG).
- Van der Laat, R. 1996. "Ground-Deformation Methods and Results." In *Monitoring and Mitigation of Volcano Hazards* by R. Scarpa and R.I. Tilling (Eds.), Springer Verlag, Berlin, pp. 147 - 168.
- Vidyan, Y., dkk. 2013. *Pemanfaatan Metode TLS untuk Pemantauan Deformasi Gunung Api, Studi Kasus : Kerucut Sinder Gunung Galunggung, Jawa Barat*. Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi, Vol.4 No. 1 April 2013: 49-69.

Pustaka dari Internet

- KBBI. 2016. Erupsi. <http://kbbi.web.id/erupsi>. Diakses tanggal 21 November 2016.
- Wikipedia. 2016. Gunung Merapi, https://id.wikipedia.org/wiki/Gunung_Merapi . Diakses pada tanggal 20 November 2016.