



Analisis Perubahan Topografi Gunung Sinabung dan Gunung Sibayak Menggunakan Citra Satelit ALOS PALSAR

Mila Olivia Trianaputri¹, Asep Saepuloh², Ketut Wikantika³

^{1,3}Kelompok Keahlian Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung

²Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung

Abstrak. Pulau *Ring of fire* merupakan julukan yang diberikan kepada Indonesia, atas keberadaan deretan gunung api di wilayahnya. Posisi tersebut membuat Indonesia wajib memiliki informasi dan pengetahuan yang luas mengenai hal-hal yang berkaitan dengan gunung api, termasuk mengenai kebencanaan yang mungkin terjadi sebagai akibat dari kondisi wilayah tersebut. Gunung api Sinabung yang terdapat di Kabupaten Karo, Sumatera Utara, merupakan salah satu contoh gunung api di Indonesia yang terus mengalami peningkatan aktivitas vulkanik semenjak tahun 2010. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan grafik perubahan topografi yang terjadi di puncak Gunung Sinabung dan Sibayak, serta mengetahui waktu mulai terjadinya perubahan topografi yang akan mengindikasikan adanya *precursor behavior* sebelum letusan terjadi. Teknologi penginderaan jauh membuat keseluruhan proses pengamatan topografi tersebut menjadi lebih cepat dan dapat menghemat biaya survei geologi. Metode yang dilakukan adalah dengan mengekstraksi nilai intensitas hamburan balik yang direkam dalam setiap piksel citra SAR Gunung Sinabung dan Gunung Sibayak, kemudian menghitung nilai radar *cross section* yang sudah dinormalisasikan dari hasil ekstraksi tersebut. Selanjutnya untuk validasi data, dibuat citra rasio yang merupakan perbandingan antara citra sebelum terjadinya letusan dan citra sesudah terjadinya letusan untuk identifikasi arah penyebaran *volcanic product* Gunung Sinabung. Dengan metode tersebut maka akan dihasilkan informasi mengenai perubahan topografi dan *precursor behavior* yang ditunjukkan oleh Gunung Sinabung.

Kata kunci: *penginderaan jauh, perubahan permukaan topografi, normalised radar cross-section, palsar, alos, intensitas hamburan balik.*

1 Pendahuluan

Gunung Sinabung merupakan gunung api yang terletak di Kabupaten Karo, Sumatera Utara. Pasca letusan 27 Agustus 2010, Gunung Sinabung terus mengalami peningkatan aktivitas vulkanik. Salah satu aktivitas vulkanik yang

terjadi berupa erupsi. Erupsi dapat mengakibatkan adanya perubahan topografi pada permukaan kerak bumi. Perubahan topografi dalam penelitian ini dilihat dengan menggunakan Sensor PALSAR (*Phased Array Type L-band Synthetic Aperture Radar*) pada Satelit ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*). Dengan kemampuan gelombang *microwave* yang dapat memiliki kemampuan penetrasi vegetasi, maka satelit ini dapat digunakan dengan baik dalam pemantauan perubahan topografi di Indonesia (Mara, 2012).

Perubahan kekasaran permukaan terkadang akan berguna dalam mengamati perubahan topografi di permukaan bumi (*Japan Space System*, 2012). Kadar kekasaran tanah di permukaan akan mempengaruhi terjadinya perubahan topografi. Kekasaran berperan dalam menentukan bagaimana sebuah obyek berinteraksi dengan lingkungannya. Dengan menganalisis kekasaran tanah melalui perhitungan sinyal balik yang dipantulkan kembali ke sensor, diharapkan perubahan topografi yang terjadi di Gunung Sinabung sebelum, selama, dan sesudah erupsi dapat diketahui bentuk perubahan serta waktu mulai terjadinya perubahan topografi tersebut. Analisis dari sudut pandang geologi seperti kaitan perubahan topografi dengan mulai berkembangnya kawah Gunung Sinabung juga diharapkan dapat diketahui lebih jelas.

Selain penggunaan sensor aktif seperti pada ALOS PALSAR, pemantauan perubahan gunung api juga dapat dilakukan dengan menggunakan sensor pasif seperti AVHRR, dan sensor pasif seperti Landsat TM (LAPAN, 2002). SAR *C-band* dengan resolusi spasial 5,6 meter mampu dipergunakan untuk memetakan sebaran endapan piroklastik di Gunung api Merapi (Saepuloh dkk., 2010). Pada gunung api yang sama, juga telah diaplikasikan citra ALOS PALSAR dan ASTER TIR untuk mengamati perubahan permukaan tanah akibat erupsi besar tahun 2010 (Saepuloh dkk., 2010).

Data resolusi spasial tinggi dan DEM lebih banyak digunakan untuk aplikasi di gunung api seperti dalam penentuan zona bahaya analisis resiko gunung api, dan daerah yang terdampak letusan gunung api. Data resolusi spasial rendah kurang efektif dalam pemantauan gunung api (Khomarudin dkk., 2014). Data NOAA-AVHRR dengan perekaman dua kali sehari dan resolusi temporal yang tinggi dimanfaatkan untuk memantau perubahan temperatur kawah yang merupakan satu dari tujuh parameter prediksi letusan, sementara data SAR dapat memberikan informasi secara visual dan spasial tentang parameter bentuk muka gunung (Lapan, 2002).

Data resolusi spasial menengah dari satelit Landsat, SPOT dan ALOS banyak dimanfaatkan di Indonesia untuk inventarisasi sumberdaya alam dan pemantauan lingkungan untuk mitigasi bencana (Kushardono dkk., 2014).

Ultraviolet remote sensing juga dapat digunakan untuk mengestimasi imbas erupsi vulkanik dengan cara menghasilkan pengukuran dan data emisi seperti *sulfur dioxide* dan asap vulkanik yang dikeluarkan gunung api saat erupsi terjadi (Haas, 2007).

Penelitian ini secara umum akan memenuhi dua tujuan sebagai berikut:

1. Pembuatan grafik perubahan topografi yang terjadi di puncak Gunung Sinabung.
2. Mengetahui waktu mulai terjadinya perubahan topografi pada puncak Gunung Sinabung.

2 Lokasi Penelitian dan Data

Daerah studi dalam penelitian ini berada di Provinsi Sumatera Utara, Indonesia. Penelitian dikhususkan pada dua buah gunung berapi aktif, yaitu Gunung Sinabung dan Gunung Sibayak. Gunung Sinabung dan Gunung Sibayak terletak di Dataran Tinggi Karo, Kabupaten Karo, Provinsi Sumatera Utara. Wilayah penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Daerah Studi (BIG (kiri)), (earth.google.com (kanan))

Gunung api Sinabung merupakan tipe gunung api *stratovolcano*. Secara geografis, puncak gunung api ini terletak pada ketinggian 2460 mdpl, pada zona 47 N dengan posisi 3°10' LU dan 98°23,5' BT. Morfologi dan topografi pada daerah lereng dan kaki barat, baratlaut, dan utara relatif terjal. Ditinjau dari produk erupsinya, yang didominasi batuan lava menunjukkan bahwa corak erupsi Gunung api Sinabung lebih didominasi oleh erupsi bersifat *efusif* namun kadang-kadang diselingi oleh erupsi bersifat *eksplosif*.

Gunung api Sibayak memiliki ketinggian puncak 2094 mdpl, berada pada zona yang sama dengan Gunung api Sinabung dengan posisi $4^{\circ}15'$ LU dan $97^{\circ}30'$ BT. Gunung api ini berada di bagian barat Gunung api Sinabung. Gunung api ini memiliki puncak yang telah hancur, dan termasuk kedalam gunung api kembar dengan Gunung api Pintau. Gunung api ini tidak mengalami aktivitas vulkanik semenjak tahun 1600.

Gunung api Sinabung dan Sibayak memiliki satu garis kelurusan yang sama dengan Danau Toba, diduga seluruh aktivitas vulkanik dan kemunculan kedua gunung api ini memiliki kaitan yang erat dengan terjadinya Danau Toba (Dalimin, 2010).

Data primer yang digunakan dalam penelitian ini adalah 19 frame citra satelit ALOS PALSAR Level 1.5 yang direkam pada tanggal 5 Januari 2007 hingga 16 Januari 2011, pada area Sumatera Utara, Indonesia. Selain data primer, juga digunakan data sekunder yaitu DEM SRTM versi 4 untuk wilayah Sumatera Utara yang mengacu pada datum geodetik WGS 1984 dengan sistem proyeksi UTM (*Universal Transverse Mercator*) zona 47 bumi bagian Utara. Resolusi pada peta DEM ini adalah 90 meter, citra Landsat 8 *path* 129 *row* 058 dengan tutupan awan 24%, tanggal akuisisi 10 Juni 2014 dan data grafik *tiltmeter* bulan September 2010 hasil laporan perkembangan Gunung Sinabung yang diunduh dari www.vsi.esdm.go.id.

3 Metode Penelitian

3.1 Pra Pengolahan Data Alos Palsar

Tahapan pra-pengolahan meliputi *importing and multilooking*, *co-registration*, *conventional despeckeling*, dan *geocoding and radiometric calibration*.

Tahap awal dari proses pengolahan data citra ALOS PALSAR adalah mengubah citra ALOS PALSAR level 1.0 menjadi level 1.1 SLC (*Single Look Complex*). *Noise* yang terdapat dalam SLC dapat dihilangkan dengan cara melakukan proses *multilooking* (Mitchell dkk., 2012). Proses *multilooking* dilakukan dengan cara merata-ratakan resolusi *range* atau azimuth untuk mendapatkan piksel berbentuk persegi. Faktor *multilooking* yang dimasukkan bergantung pada kondisi data yang tersedia. Produk akhir dari proses *multilooking* berupa citra intensitas yang terbentuk dari piksel berbentuk persegi dimana resolusi *range* tanah dan jarak antar piksel dalam resolusi azimuth diperhatikan.

Co-registration dapat dilakukan terhadap data yang telah melalui proses *multilooking*, apabila tersedia beberapa data dengan cakupan wilayah yang sama

namun diakuisisi pada tanggal yang berbeda (Mitchell dkk. 2012). Tahap ini merupakan pengkoreksian pergeseran translasi, rotasi dan skala perbedaan (Marcella, 2013).

Speckle atau *noise* yang muncul sebagai akibat dari banyaknya hamburan pantulan balik yang mampu mempengaruhi setiap piksel dalam satu *scene* tersebut, dapat membuat proses interpretasi terhambat sehingga kualitas citra yang dihasilkan menjadi berkurang. Proses filtering spasial dilakukan untuk mengurangi secara signifikan kesalahan-kesalahan yang terjadi akibat gangguan pada saat pengambilan citra, gangguan-gangguan ini dapat mempengaruhi kenampakan pada citra sebagai piksel-piksel yang terang atau gelap (Ragajaya, 2012).

Proses *geocoding* atau ortorektifikasi memerlukan data sekunder berupa DEM. Ortorektifikasi adalah proses pengkonversian data SAR dari jarak miring (*slant range*) pada citra menjadi geometri tanah yang sudah terdefinisi sistem koordinatnya (Mitchell dkk., 2012). DEM atau tinggi elipsoid menyediakan titik awal yang digunakan untuk menghitung posisi setiap elemen hamburan balik sehubungan dengan posisi sensor, kecepatan vektor, dan frekuensi doppler menjadi jarak miring pada koordinat gambar (Mitchell dkk., 2012).

3.2 Analisis Topografi

Perubahan topografi dilihat dari kekuatan intensitas hamburan balik dari tanah ke sensor. Keseluruhannya dihitung menggunakan rumus NRCS, yang memperhitungkan nilai faktor koreksi (-83dB) dan memakai *digital number* dari piksel-piksel yang sudah disatukan melalui proses *layer stacking*. *Digital number* dalam citra radar berisi nilai intensitas hamburan balik sensor PALSAR. Nilai intensitas tersebut biasanya dikonversikan kedalam bentuk kuantitas fisik yang diberi nama koefisien hamburan balik atau *normalized radar cross-section*. Terukur dalam satuan dB dengan kisaran nilai +5dB untuk objek yang sangat terang, dan -40dB untuk permukaan yang sangat gelap. Proses ini dilakukan dengan rumus sebagai berikut (Saepuloh dkk., 2010) :

$$\beta^{\circ} = 10 \times \log_{10}(DN)^2 + (cf) \dots \dots \dots (1)$$

Hasil perhitungan tersebut kemudian dibuat *time series plot*.

Setelah grafik NCRS dibuat, terdapat beberapa kecenderungan dalam grafik yang penyebab pastinya tidak dapat dipastikan hanya melalui grafik saja. *Overlay* dengan data pendukung lain, dibutuhkan untuk menganalisis penyebab terjadinya perubahan maupun kecenderungan yang terlihat pada hasil grafik yang dibuat.

Overlay juga berfungsi sebagai validasi data hasil yang telah didapatkan melalui perhitungan dan pembuatan grafik NCRS.

3.3 Strategi Validasi Data

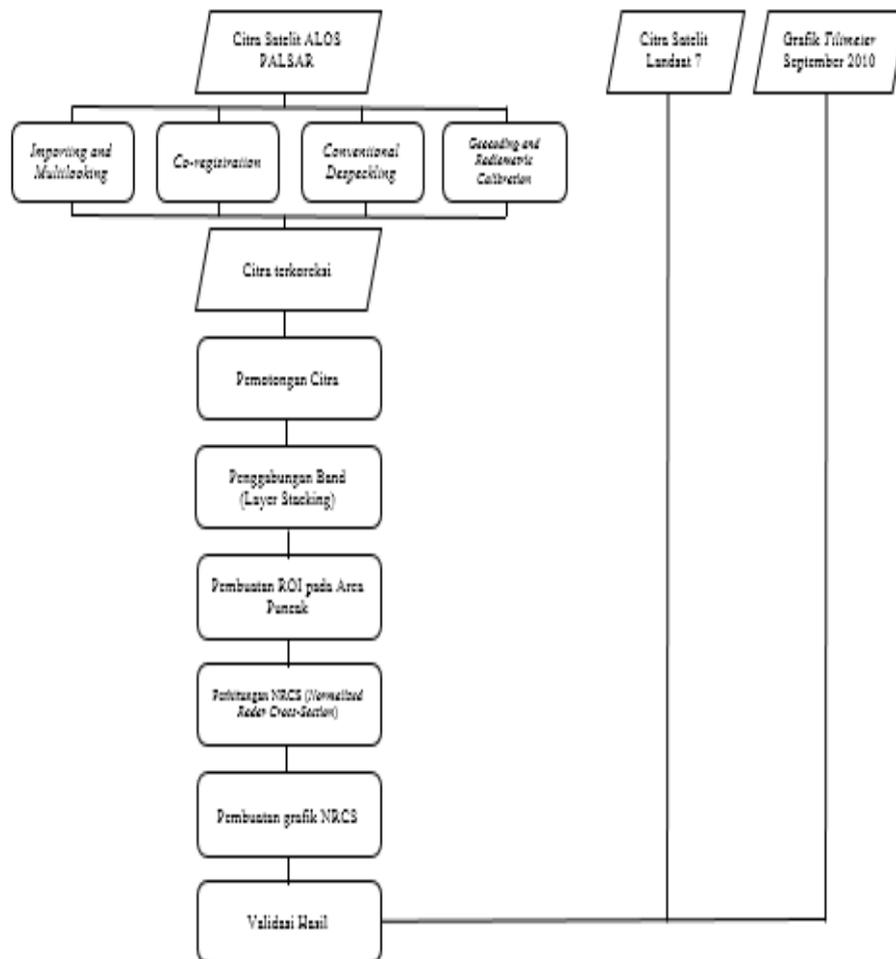
Validasi hasil di dalam penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan. Tahapan pertama adalah dengan membuat citra rasio. Citra rasio merupakan citra yang dibuat dari hasil pembagian citra sesudah letusan dengan citra sebelum letusan. Dari citra rasio ini, dapat diidentifikasi arah penyebaran *volcanic product*-nya. Identifikasi tersebut akan memudahkan analisis mengenai hubungan antara piksel dengan nilai perubahan yang tinggi dengan tempat dan arah mengalirnya *volcano product* Gunung Sinabung.

Overlay citra SAR dengan citra Landsat 8 dilakukan untuk menjawab beberapa kecenderungan perbedaan yang muncul dalam grafik NRCS yang telah dibuat. Nilai NDVI akan dihitung dari citra Landsat 8 ini untuk menganalisis penyebab adanya perubahan topografi yang cukup tinggi pada area Gunung Sibayak.

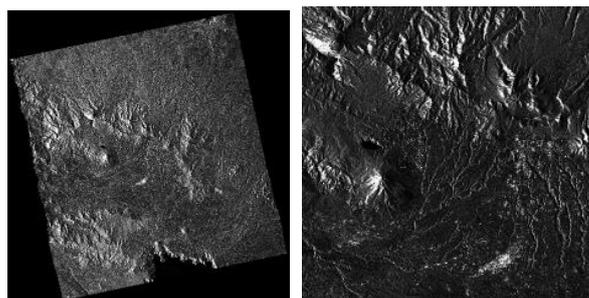
Tahapan validasi akhir dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan data grafik *tiltmeter*. Grafik *tiltmeter* ini didapatkan dari www.vsi.esdm.go.id. Salah satu komponen yang diukur dalam *tiltmeter*, yaitu komponen radial akan membantu identifikasi apakah hasil yang ditunjukkan oleh *tiltmeter* memiliki *trend* yang sama dengan *trend* perubahan topografi pada Gunung Sinabung.

4 Metode Pengolahan

Pemotongan citra (*masking*) bertujuan untuk mempersempit area citra agar wilayah penelitian dapat teramati dengan lebih jelas. Pemotongan citra (*masking*) dilakukan dengan menampilkan (*overlay*) citra dengan batas area yang diinginkan, dalam penelitian ini mencakup Gunung Sinabung dan Gunung Sibayak. Gambar 3 menunjukkan citra sebelum dan sesudah dipotong.

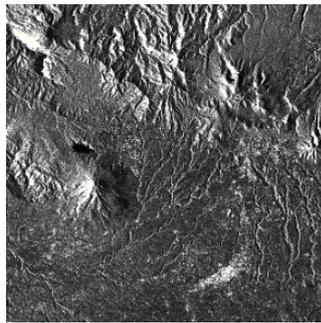


Gambar 2. Metodologi Penelitian



Gambar 3. Citra sebelum dipotong (kanan), sesudah dipotong (kiri)

Penggabungan band (*layer stacking*) dilakukan dengan cara meng-*overlay*-kan 19 *frame* citra ALOS PALSAR yang telah dipotong (*masking*) menjadi satu buah data saja. Setiap 1 *frame* citra ALOS PALSAR mewakili tahun pengamatan yang berbeda-beda. Sehingga perubahan topografi dari tahun ke tahun dapat terlihat. Perubahan yang terjadi di dalam setiap piksel dari tahun ke tahun dapat ditinjau dari nilai intensitas yang terdapat didalamnya. Proses *layer stacking* akan menghasilkan satu buah citra yang memiliki area yang sama seperti sebelum dilakukan proses *layer stacking*, namun secara visual terlihat lebih terang. Hasil dari proses *layer stacking* ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil *Layer Stacking*

Pembuatan ROI (*region of interest*) di sekitar puncak Gunung Sinabung dan Gunung Sibayak, tujuannya untuk menganalisis terjadinya perubahan topografi di atas puncak kedua gunung tersebut. *Precursor behavior* biasa ditunjukkan di daerah sekitar puncak gunung, atau di sekitar mulut kawah. Perubahan-perubahan yang terjadi di puncak dapat diakibatkan oleh letusan, hal tersebut mampu menyebabkan pembentukan kawah baru, penanda kenaikan magma atau juga ada pergerakan disekitarnya.

5 Hasil dan Diskusi

Hasil akhir dari penelitian ini berupa grafik perubahan topografi di Gunung Sinabung dan Gunung Sibayak yang selanjutnya akan dikombinasikan dengan data referensi lainnya yang berkaitan dengan keilmuan geologi, agar analisis secara geologi mengenai penyebab dan implikasi dari perubahan topografi ini dapat dilakukan. Grafik yang didapatkan dari hasil perhitungan radar *cross section* yang sudah dinormalisasikan pada Gunung Sinabung, menunjukkan nilai koefisien hamburan balik dari sembilan piksel yang telah di pilih di area sekitar puncak, menunjukkan perubahan kearah yang sama, meskipun ada beberapa piksel yang berlainan dari piksel yang lainnya. Sementara itu, perubahan di Gunung Sibayak ini hampir tidak terjadi. Garis pada grafik tidak menunjukkan ada gejala perubahan yang signifikan.

Angka perubahan yang terjadi di Gunung Sibayak relatif kecil dibandingkan perubahan yang terjadi di Gunung Sinabung. Pada gunung sinabung, semakin mendekati letusan pada 27 Agustus 2010, garis *trend line* semakin naik. Hal ini menunjukkan bahwa memang terjadi perubahan topografi pada Gunung Sinabung yang diakibatkan oleh letusan, ataupun pergerakan lainnya yang mengindikasikan adanya letusan (*precursor behavior*). Data *tiltmeter* menunjukkan trend yang sama dengan trend yang terdapat di hasil penelitian ini, yaitu trend naik lalu menurun pada bulan September 2010. Identifikasi arah penyebaran *volcano product* dengan citra rasio mendukung pernyataan mengenai tingginya perubahan topografi di Gunung Sinabung pada beberapa piksel tertentu. Dari citra Landsat 8 tidak menunjukkan adanya vegetasi pada piksel-piksel yang mengalami perubahan yang cukup besar di daerah Gunung Sibayak.

6 Analisis

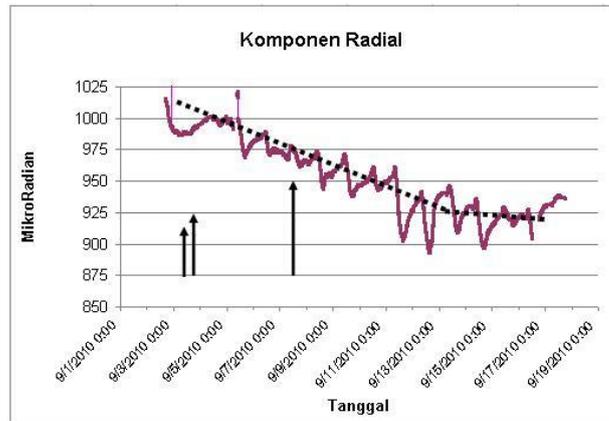
Analisis dilakukan dengan cara mengumpulkan data kegempaan yang akan digunakan untuk mengidentifikasi arah penyebaran *volcanic product* sebagai bantuan analisis penyebab terjadinya perubahan yang tinggi pada piksel tertentu di Gunung Sinabung. Namun pada akhirnya analisis hasil dapat dilakukan dengan tiga tahapan. Hasil yang ditunjukkan oleh grafik NRCS menunjukkan terjadinya perubahan topografi pada puncak Gunung Sinabung. Hal ini divalidasi oleh beberapa data validasi yang dilakukan. Analisis akan dilakukan terhadap tahapan-tahapan yang dilakukan untuk mendukung keterangan yang tertera pada grafik hasil penelitian ini.

Berdasarkan data dasar gunung api dari website vsi.esdm.go.id, untuk Gunung Sinabung, data pendukung informasi perubahan topografi puncak (deformasi) yang relevan digunakan adalah data *tiltmeter* elektrik, yang ditanam di bagian tenggara kubah lava Gunung Sinabung. Data lain yang tersedia adalah data seismik dan EDM (pengukuran GPS di puncak). Tetapi data yang lengkap disajikan adalah data *tiltmeter*. Data *tiltmeter* pengirimannya dilakukan secara telemetri ke pos PGA di desa Surbakti.

Tiltmeter menunjukkan tubuh batuan tempat kedudukan sensor yang mulai lepas terhadap batuan induknya, dalam kata lain mengalami perubahan akibat dilewati lava (Voight dkk., 2000). Data *tiltmeter* ini berupa grafik yang memberikan informasi deformasi paling dominan dalam satuan mikroradian/hari. Gambar 8 menunjukkan komponen radial yang dihasilkan dari pengukuran *tiltmeter*.

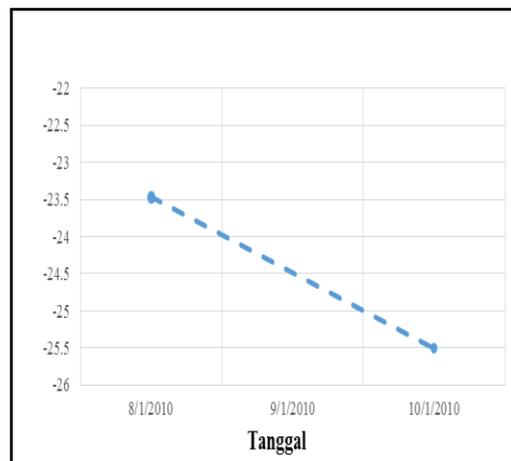
Tiltmeter menghitung kemiringan kubah lava, dan ukuran lebar kubah lava. *Tiltmeter* yang ditunjukkan pada data yang terdapat pada vsi.esdm.go.id merupakan tempat yang paling menunjukkan banyak perubahan. *Tiltmeter* memiliki dua buah komponen pengukuran yaitu radial dan tangensial. Komponen

yang dipergunakan merupakan komponen radial, yang mampu menghitung resolusi radial pada kubah. Komponen radial ditunjukkan pada Gambar 5.



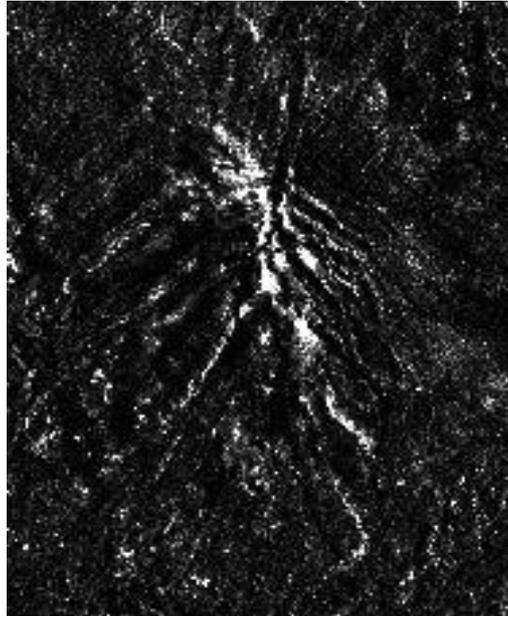
Gambar 5. Komponen Radial Pada tiltmeter (sumber: esdm)

Trend dari kurva *tiltmeter* berkaitan dengan perubahan dari bentuk kubah lava tersebut. Apabila pada trend terjadi inflasi, maka kubah lava mengalami pertumbuhan dalam segi bentuk. Data *tiltmeter* menunjukkan trend yang sama dengan trend yang terdapat di hasil penelitian ini, yaitu trend naik lalu menurun pada bulan September 2010. Gambar 6 menunjukkan trend naik lalu menurun yang terjadi pada bulan September 2010 di grafik NRCS dari citra SAR. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi runtuhnya material kubah lava pada area puncak Gunung api Sinabung.



Gambar 6. Grafik NRCS pada bulan September 2010

Hasil dari citra rasio menunjukkan arah penyebaran *volcano product* dari Gunung Sinabung. Identifikasi arah penyebaran *volcano product* dengan citra rasio mendukung pernyataan mengenai tingginya perubahan topografi di Gunung Sinabung pada beberapa piksel tertentu. Berikut hasil citra rasio ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Citra rasio

Hasil overlay citra SAR dengan citra Landsat 8 telah menjawab kecenderungan perbedaan yang muncul dalam grafik NRCS yang telah dibuat. Nilai NDVI akan dihitung dari citra Landsat 8 ini untuk menganalisis penyebab adanya perubahan topografi yang cukup tinggi pada area Gunung Sibayak. Citra Landsat 8 tidak menunjukkan adanya vegetasi pada piksel-piksel yang mengalami perubahan yang cukup besar di daerah Gunung Sibayak.

7 Kesimpulan dan Saran

Hasil penelitian ini memberikan grafik perubahan topografi pada puncak Gunung Sinabung dan Gunung Sibayak. Secara konstan, perubahan topografi terjadi semenjak pengamatan pada Januari 2007, dan terus meningkat ketika mendekati letusan pada Agustus 2010. Waktu mulai terjadinya perubahan topografi tersebut dianggap sebagai *precursor behavior* yang biasa ditunjukkan oleh gunung api sebelum letusan terjadi.

Beberapa saran perbaikan pada penelitian ini, yaitu:

1. Sebaiknya data Landsat 8 dan data validasi lain yang akan digunakan memiliki tanggal akuisisi yang sama dengan data SAR, agar analisis yang dilakukan lebih akurat dan tepat.
2. Sebaiknya perlu mempelajari karakteristik geologi gunung api terlebih dahulu secara mendalam sehingga dapat memberikan informasi dan analisis geologi yang lebih baik dan rinci.

8 Daftar Referensi

- [1] Dalimin, Rudy. (2010). *Gunung Api Indonesia*. diambil kembali dari website volcanoesindonesia.com (tanggal akses:11 Agustus 2014)
- [2] Haas, Cara. (2007). *Remote Sensing Used in Monitoring Active Volcanoes*. ES 771 Remote Sensing Fall 2007.
- [3] Khomarudin, M.R., Irawadi, D., Suwarsono, Parwati. (2014). *Pengkajian Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh Multi Skala/Resolusi Untuk Kegiatan Mitigasi Bencana*. Jakarta: Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, LAPAN.
- [4] Lapan. (2002). *Pemantauan Aktivitas Gunung Berapi Periode Mei 2002 Guna Mendukung Program Mitigasi Bencana Alam*. Jakarta: Pusat Pengembangan Pemanfaatan Dan Teknologi Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan Dan Antariksa Nasional.
- [5] Marcella, Manda. (2013). *Identifikasi Tutupan Lahan Wilayah Karst Kecamatan Cipatat dengan Data ALOS PALSAR dan AVNIR: Kajian Perspektif Sosial, Kependudukan, dan Ekonomi*. Skripsi. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- [6] Mitchell, A.L., Tapley, I., Milne, A.K.M Williams, M., Lowell, K. (2012). *Radar Processing Methodologies for the Generation of Wall-to-wall Mosaics*. CRC for Spatial Information.
- [7] Ragajaya, R. (2012). *Perhitungan Biomassa dengan Metode Polarimetrik SAR Menggunakan Citra ALOS PALSAR*. Skripsi. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- [8] Saepuloh, A., Koike, K. (2010). *Discriminating Alteration of Pyroclastic Flow Deposits in an Active Volcano by SAR Image Analysis for Assessing the Geothermal System*. Proceeding of the World Geothermal Congress, in PDF format No. 1336, pp. 1-5, Denpasar-Bali, Indonesia.
- [9] Voight, B., K. D. Young, D. Hidayat, Subandrio, M. A. Purbawinata, A. Ratdomopurbo, Suharna, Panut, D. S. Sayudi, R. LaHusen, J. Marso, T. L. Murray, M. Dejean, M. Iguchi, and K. Ishiharta. (2000). *Deformation and seismic precursors to dome-collapse and fountain-collapse nuees ardentes*

- at Merapi Volcano, Java, Indonesia 1994–1998*. J. Volcanol.Geotherm. Res., 100, 261–287, 2000.
- [10] Kushardono, D., Budhiman, S., Trisakti, B., Suwarsono, Maryanto, A., Widipaminto, A., Khomarudin, M.R., Winanto. (2014). *Menentukan Spesifikasi Sensor Satelit Penginderaan Jauh Nasional Berdasarkan Informasi Kebutuhan Pengguna*. Buku prosiding bukan 301-308. Jakarta: Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, LAPAN.