

REFLEKSI 5 TAHUN PASKA ERUPSI GUNUNG MERAPI 2010: MENAKSIR KERUGIAN EKOLOGIS DI KAWASAN TAMAN NASIONAL GUNUNG MERAPI

H. Marhaento^a, A. N. Kurnia^b

^a Universitas Gadjah Mada, Indonesia

^b Balai Taman Nasional Gunung Merapi, Indonesia

Article Info:

Received: 7 July 2015

in revised form: 10 September 2015

Accepted: 22 September 2015

Available Online: 31 October 2015

Keywords:

Mount Merapi National Park, 2010 eruption, ecological loss assessment

Corresponding Author:

Hero Marhaento

Universitas Gadjah Mada,

Yogyakarta, Indonesia

Email: marhaento@ugm.ac.id

Abstract: *Ecological loss assessment at the Mount Merapi National Park (MMNP) after Mount Merapi (MM) eruption in the year 2010 has not been done before. The present study aims to estimate the ecological loss at the MMNP after 2010 eruption based on Rapid Damage Appraisal Assessment. Three steps were executed: (1) identifying and mapping damages in the MMNP using remote sensing data, (2) collecting in-situ information through field assessment, (3) estimating ecological loss assessment using economic valuation approach. Two methods of economic valuation were used, namely the change in productivity (i.e. carbon stock loss) and replacement cost (i.e. land restoration cost). The results showed that approximately of 1,242 ha (19,37%) of MMNP area was heavily damaged, 1,208 ha (18,84%) was moderately damaged, and the rest was slightly damaged. The heavy damage and the moderate damage were occurred in the forest block of resort Pakem-Turi, Cangkringan, Srumbung, Dukun, Sawangan, Selo and Kemalng. The slight damage was occurred in the forest block of resort Musuk-Cepogo, Kemalng and Selo. The ecological loss was estimated in a total of 766 Billion Indonesian rupiah consist of 747.50 Billion Indonesian rupiah from carbon stock loss and 18.5 Billion Indonesian rupiah from land restoration cost. The total ecological loss was estimated approximately 38.3 Trillion Indonesian rupiah, which was a raw estimation and considered undervalued.*

Info Artikel:

Diterima: 7 Juli 2015

Hasil Revisi: 10 September 2015

Disetujui: 22 September 2015

Publikasi On-Line: 31 Oktober 2015

Kata Kunci:

Taman Nasional Gunung Merapi,

Erupsi 2010, Penilaian Kerugian

Ekologis

Kontak Penulis:

Hero Marhaento

Universitas Gadjah Mada,

Yogyakarta, Indonesia

Email: marhaento@ugm.ac.id

Abstrak: *Penilaian dampak kerugian ekologis oleh erupsi Gunung Merapi pada tahun 2010 di kawasan Taman Nasional Gunung Merapi (TNGM) hingga saat ini belum pernah dilakukan. Tulisan ini bertujuan untuk menaksir kerugian ekologis di TNGM paska erupsi Gunung Merapi tahun 2010 dengan metode penaksiran kerusakan secara cepat. Terdapat 3 tahapan yang dilakukan, yaitu : 1) mengidentifikasi dampak kerusakan kawasan di TNGM dengan menggunakan teknik penginderaan jauh, 2) survey lapangan dan 3) menaksir kerugian ekologis yang ditimbulkan dengan pendekatan valuasi ekonomi lingkungan. Terdapat 2 metode valuasi ekonomi lingkungan yang digunakan, yaitu perubahan produktivitas dan biaya pengganti. Pendekatan perubahan produktivitas menggunakan satu komoditas yaitu potensi serapan karbon yang hilang. Pendekatan biaya pengganti menggunakan taksiran biaya yang dibutuhkan untuk restorasi kawasan TNGM. Hasil identifikasi kerusakan di kawasan TNGM menunjukkan bahwa ± 1.242 ha (19,37%) kawasan TNGM mengalami kerusakan berat, ±1.208 ha (18,84%) mengalami kerusakan sedang, dan sisanya relatif utuh dengan hanya mengalami kerusakan ringan. Kerusakan berat dan sedang terutama terjadi pada blok-blok hutan di RPTN Pakem-Turi, RPTN Cangkringan, RPTN Srumbung, RPTN Dukun, RPTN Sawangan, RPTN Selo dan RPTN Kemalng. Kawasan yang relatif utuh dan hanya mengalami kerusakan ringan terjadi di blok-blok hutan di RPTN Musuk-Cepogo dan di sebagian wilayah RPTN Kemalng dan RPTN Selo. Hasil penaksiran kerugian ekologis di kawasan TNGM adalah sebesar ±766 Milyar rupiah yang terdiri dari ±747,50 Milyar rupiah dari biaya penurunan produktivitas serapan karbon dan ±18,5 Milyar rupiah dari biaya restorasi. Diperkirakan taksiran nilai total kerugian ekologis di kawasan TNGM adalah 38,3 Triliun rupiah. Nilai kerugian ekologis tersebut merupakan taksiran kasar dan dianggap dibawah nilai sebenarnya.*

How to cite (APA 6th Style):

Marhaento, H., & Kurnia, A. N. (2015). Refleksi 5 tahun paska erupsi Gunung Merapi 2010: menaksir kerugian ekologis di Kawasan Taman Nasional Gunung Merapi. *Geoplanning: Journal of Geomatics and Planning*, 2(2), 69-81. doi:10.14710/geoplanning.2.2.69-81

1. PENDAHULUAN

Gunung Merapi merupakan salah satu gunung paling aktif di dunia. Erupsi Gunung Merapi terjadi dalam siklus 4 – 6 tahun sekali (Surono dkk., 2012). Menurut Van Boekhold (1972) dan Newhall dkk (2000), erupsi Gunung Merapi yang terdokumentasi pertama kali terjadi pada tahun 1786 – 1791. Van Bemellen (1942) dalam bukunya 'The Geology of Indonesia' menyampaikan bahwa pada tahun 1006 diduga pernah terjadi erupsi besar Gunung Merapi sehingga mengubur candi Borobudur dan menghancurkan kerajaan Mataram Kuno (berpindah ke Jawa Timur). Secara berurutan, sejak terdokumentasi pada tahun 1791 erupsi Gunung Merapi skala besar terjadi pada tahun 1822, 1872, dan 1930 (Voight dkk., 2000). Pada 10 tahun terakhir, tercatat 2 erupsi cukup besar yang terjadi pada tahun 2006, dan puncaknya pada tahun 2010 yang diperkirakan merupakan siklus ulang 100 tahunan Gunung Merapi (Surono dkk., 2012).

Kronologi kejadian erupsi Gunung Merapi tahun 2010 dimulai pada tanggal 20 September 2010 dimana status Gunung Merapi ditingkatkan dari 'normal' menjadi 'waspada' (Surat Badan Geologi No. 46/45/BGL.V/2010). Pada 21 Oktober 2010, status tersebut meningkat menjadi 'siaga' (Surat Badan Geologi No. 393/45/BGL.V/2010). Puncaknya pada tanggal 25 Oktober 2010 saat status Gunung Merapi ditetapkan menjadi 'awas' (Surat Badan Geologi No. 2048/45/BGL.V/2010). Pada tanggal 26 Oktober 2010, Gunung Merapi erupsi pertama kali dengan mengeluarkan awan panas (wedhus gembel) yang kemudian disusul letusan besar pada tanggal 5 November 2010. Menurut data Pusat Informasi Pengembangan Pemukiman dan Bangunan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta (PIP2BDIY), erupsi Gunung Merapi sejak tanggal 26 Oktober 2010 telah menimbulkan korban jiwa sebanyak 346 orang (www.pip2bdiy.org). Kerusakan yang diakibatkan oleh erupsi Gunung Merapi berdampak pada sektor permukiman, infrastruktur, telekomunikasi, listrik dan energi, serta air bersih.

Berdasarkan hasil penilaian kerusakan dan kerugian yang dilakukan oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) melalui metode dari *Economic Commission for Latin America and the Caribbean* (ECLAC) (www.eclac.cl), erupsi Gunung Merapi tahun 2010 telah menimbulkan kerusakan dan kerugian sebesar Rp. 4,23 triliun (www.bnpb.go.id). Lebih rinci dijelaskan bahwa jumlah nilai kerusakan adalah Rp. 1,138 triliun (27%), sedangkan jumlah nilai kerugian adalah Rp. 3,089 triliun (73%). Nilai kerusakan paling besar dialami oleh sektor perumahan yang mencapai 39% dari total nilai kerusakan, disusul oleh kerusakan sektor sumber daya air dan irigasi yang mencapai 13% dari total nilai kerusakan. Kerugian terbesar dialami sektor pertanian dengan nilai kerugian mencapai Rp. 1,326 triliun atau 43% dari total nilai kerugian. Disusul oleh kerugian sektor industri dan UMKM sebesar Rp. 382 milyar atau 12,4% dari nilai kerugian. Secara keseluruhan sektor pertanian budidaya dan tanaman pangan tetap menjadi sektor yang paling terkena dampak dengan nilai total dampak Rp. 1,326 triliun yang merupakan 31,4% dari nilai total kerusakan dan kerugian. Sektor Perumahan senilai Rp. 512,6 milyar yang merupakan 13% dari nilai kerusakan dan kerugian serta sektor industri dan UMKM dengan nilai total dampak sebesar 415,4 Milyar atau 11% dari total.

Perhitungan kerusakan dan kerugian akibat bencana erupsi Gunung Merapi oleh BNPB tersebut adalah hasil perhitungan aset rusak yang dimoneterisasi (nilai langsung), sementara kerugian tidak langsung dari dampak erupsi yaitu kerusakan ekosistem, keanekaragaman hayati dan penurunan fungsi ekologis jangka pendek dari kawasan Gunung Merapi belum dapat diukur nilai kerugiannya. Hancurnya berbagai tipe vegetasi akibat awan panas berdampak pula pada kematian berbagai jenis satwa liar yang berhabitat di kawasan hutan Gunung Merapi (Dove, 2008). Sebagian satwa liar yang masih bertahan hidup pun rentan mengalami kematian karena keterbatasan sumber pakan yang diakibatkan rusaknya habitat. Beberapa satwa liar yang dimungkinkan selamat juga mengalami ancaman kematian karena keterbatasan tempat pelarian (*refugee*) di sekitar kawasan Gunung Merapi. Selain itu, kerusakan daerah tangkapan air akan mempengaruhi pasokan air ke wilayah hilir dan kerusakan hutan akan mengurangi potensi penyedia oksigen dan penyerap karbon (Djuwantoko dkk., 2005).

Menurut UU No.5 tahun 1990 Taman Nasional adalah salah satu bentuk kawasan konservasi yang dicirikan dengan keberadaan ekosistem asli, dikelola dengan sistem zonasi yang dimanfaatkan untuk tujuan

penelitian, ilmu pengetahuan, pendidikan, menunjang budidaya, pariwisata, dan rekreasi. Terdapat 3 fungsi utama dalam pengelolaan taman nasional, yaitu: (1) perlindungan sistem penyangga kehidupan, (2) pengawetan keanekaragaman jenis tumbuhan dan satwa beserta ekosistemnya, (3) pemanfaatan secara lestari sumber daya alam hayati dan ekosistemnya. Indrawan dkk. (2007) menjelaskan bahwa paling tidak terdapat tiga alasan ditetapkan suatu kawasan sebagai area konservasi yaitu adanya aspek keunikan (khas), keterancaman, dan kegunaan.

Taman Nasional Gunung Merapi (TNGM) merupakan kawasan konservasi yang unik. Selain menyangga gunung api paling aktif di Indonesia, ekosistem hutan di TNGM berfungsi sebagai daerah tangkapan air kawasan provinsi Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta, habitat berbagai flora dan fauna yang dilindungi, kantong berbagai plasma nutfah yang potensial, dan fungsi sosial dan religius (Djuwantoko dkk., 2005; Dove, 2008). Keberadaan Gunung Merapi yang dapat meletus sewaktu-waktu menyebabkan ekosistem di TNGM memiliki tingkat kerapuhan yang tinggi (Marhaento dan Faida, 2015). TNGM dikelola oleh Balai Taman Nasional (BTN) Gunung Merapi yang memiliki 2 Seksi Pengelolaan Taman Nasional (SPTN), yaitu SPTN 1 yang mencakup wilayah Kabupaten Magelang dan Kabupaten Sleman, dan SPTN 2 yang mencakup wilayah Kabupaten Klaten dan Kabupaten Boyolali. SPTN 1 mencakup 4 RPTN yaitu RPTN Turi-Pakem, RPTN Cangkringan, RPTN Srumbung dan RPTN Dukun, sedangkan SPTN 2 mencakup 3 RPTN yaitu RPTN Selo, RPTN Musuk-Cepogo dan RPTN Kemalang.

Valuasi ekonomi lingkungan merupakan suatu instrumen ekonomi untuk mengestimasi nilai moneter dari produk barang dan jasa yang dihasilkan oleh sumber daya alam dan lingkungan (Garrod dan Willis, 1999). Instrumen ini penting digunakan untuk mengukur potensi keuntungan/kerugian yang disebabkan oleh adanya perubahan pemanfaatan sumber daya alam (Pramono, 2009). Pada suatu ekosistem yang rapuh seperti halnya di TNGM, valuasi ekonomi lingkungan dapat digunakan sebagai alat untuk menaksir potensi kerugian ekologis yang muncul apabila ekosistem yang ada di kawasan tersebut rusak.

Tanggal 26 bulan Oktober 2015 ini akan menjadi peringatan 5 tahun kejadian erupsi Gunung Merapi yang menimbulkan ratusan korban jiwa dan kerusakan lingkungan yang luar biasa. Tulisan ini bertujuan untuk mengidentifikasi kerusakan yang terjadi di kawasan Taman Nasional Gunung Merapi (TNGM) paska erupsi Gunung Merapi tahun 2010 sekaligus menaksir kerugian ekologis jangka pendek yang ditimbulkan. Kerugian jangka pendek yang dimaksud adalah potensi kerugian yang ditimbulkan akibat rusaknya sumber daya alam sesaat setelah terdampak erupsi.

2. DATA DAN METODE

Penaksiran kerusakan secara cepat (*Rapid Damage Appraisal - RDA*) dipilih sebagai metode untuk mengidentifikasi dampak kerusakan ekologis dan untuk menaksir kerugian ekologis yang ditimbulkan paska erupsi di kawasan TNGM. Metode RDA dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan secara cepat, dapat dipertanggungjawabkan dan dapat segera digunakan sebagai masukan dalam proses pengambilan keputusan. Terdapat 3 tahapan yang dilakukan dalam RDA, yaitu : 1) mengidentifikasi dampak kerusakan kawasan di TNGM dengan menggunakan teknik penginderaan jauh, 2) melakukan survey lapangan untuk melakukan validasi hasil interpretasi penginderaan jauh dan mengumpulkan informasi kondisi kawasan, 3) menaksir kerugian ekologis yang ditimbulkan dengan pendekatan valuasi ekonomi lingkungan.

Terdapat 2 metode valuasi ekonomi lingkungan yang digunakan, yaitu perubahan produktivitas (*change of productivity*) dan biaya pengganti (*replacement cost*). Kedua pendekatan ini mengacu pada Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2012 tentang Panduan Valuasi Ekonomi Ekosistem Gambut. Walaupun peraturan tersebut secara spesifik menyebut ekosistem gambut sebagai obyek valuasi, namun penulis berpendapat bahwa pendekatan yang ada di peraturan tersebut juga sesuai untuk diterapkan di tipe ekosistem yang lain.

2.1 Klasifikasi Kerusakan Kawasan dengan Penginderaan Jauh

Citra LANDSAT 7 path 120 row 65 perekaman tanggal 19 Februari 2011 digunakan sebagai dasar klasifikasi kerusakan hutan akibat erupsi Gunung Merapi di kawasan TNGM. Untuk mengurangi gangguan citra yang diakibatkan oleh *black-stripping* dan tutupan awan, dilakukan rekonstruksi citra dengan

menggunakan software *frame and fill* dari *National Aeronautics and Space Administration (NASA)* (gsfc.nasa.gov). Proses klasifikasi kelas kerusakan kawasan dilakukan secara visual dengan software *ArcGIS 10.1*.

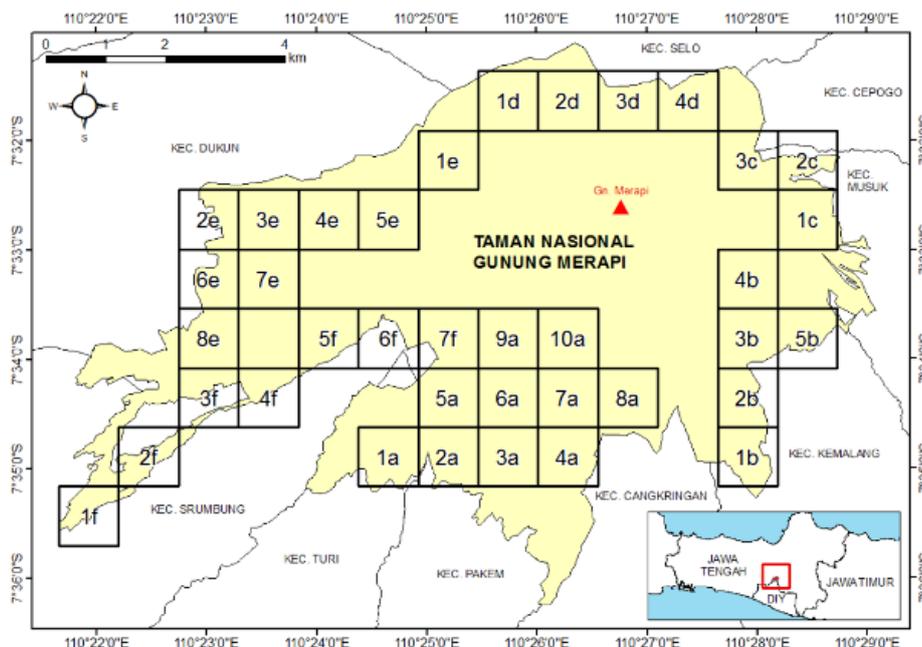
Beberapa kombinasi citra komposit antara lain 321, 453 dan 742 dibuat untuk memudahkan proses klasifikasi. Terdapat 4 klasifikasi kerusakan kawasan yang digunakan, yaitu : 1) kerusakan berat, adalah kondisi kawasan yang terkena dampak langsung dari awan panas sehingga tidak menisakan vegetasi sedikitpun, dan jejak medan lava sangat jelas terlihat; 2) kerusakan sedang, adalah kondisi kawasan yang terkena dampak awan panas namun vegetasi masih tampak walaupun berupa sisa-sisa tonggak, sementara jejak awan panas dan abu vulkanik tampak jelas di permukaan tanah; 3) kerusakan ringan, adalah kondisi kawasan yang masih cukup bagus dengan penampakan vegetasi yang relatif utuh, hanya jejak abu vulkanik yang terlihat di permukaan tanah dan dedaunan; 4) tidak terdampak, adalah kondisi kawasan tidak tampak sedikitpun jejak erupsi Gunung Merapi.

2.2 Pengukuran Lapangan

Pengukuran lapangan bertujuan untuk memvalidasi klasifikasi kelas kerusakan kawasan dan mengumpulkan informasi kondisi fisik lahan pasca erupsi 2010. Pengukuran ini dilaksanakan oleh tim restorasi ekosistem TNGM pada rentang waktu 4 – 13 Mei 2011 dan 23 – 28 Mei 2011 dengan melibatkan kurang lebih 30 orang yang terdiri dari mahasiswa Fakultas Kehutanan UGM dan staf TNGM. Selain memvalidasi klasifikasi *kerusakan* kawasan dan mengukur kondisi fisik lahan, tim restorasi ekosistem TNGM juga melakukan identifikasi flora dan fauna di kawasan TNGM pasca erupsi 2010. Namun demikian, hasil pengukuran potensi flora dan fauna tersebut tidak termasuk dalam skop tulisan ini.

Metode yang digunakan dalam pengukuran lapangan ini adalah sistematis blok dengan pengambilan titik pengamatan secara acak. Sistematis blok dibuat dengan membagi seluruh kawasan TNGM kedalam grid berukuran 1 km x 1 km (**Gambar 1**). Total jumlah grid adalah 37 unit. Wilayah sekitar puncak Gunung Merapi dan beberapa wilayah lain di sekitar lereng selatan dan barat tidak dilakukan pengamatan dengan alasan risiko keamanan yang masih tinggi akan bahaya erupsi. Peralatan yang dipergunakan selama di lapangan adalah: GPS Garmin 75CSX, bor tanah, pita meter, dan alat tulis untuk pencatatan hasil.

Gambar 1. Peta Sebaran Grid Pengukuran Lapangan Di Kawasan TNGM (TNGM, 2011)



2.3 Menaksir Kerugian Ekologis

Metode yang digunakan untuk menaksir kerugian ekologis adalah dengan pendekatan perubahan produktivitas (*change of productivity*) dan pendekatan biaya pengganti (*replacement cost*). Kedua

pendekatan ini saling melengkapi untuk dapat menaksir kerugian ekologis yang ditimbulkan oleh erupsi Gunung Merapi tahun 2010. Kerangka berpikir yang digunakan adalah bahwa paska erupsi Gunung Merapi tahun 2010, kawasan TNGM akan kehilangan produktivitasnya sehingga membutuhkan pemulihan kawasan (restorasi). Sebagai catatan, metode valuasi ekonomi lingkungan yang digunakan dalam penulisan ini banyak menggunakan asumsi yang berlaku pada saat penulisan ini dilakukan.

a.) Pendekatan perubahan produktivitas

Teknik ini mengukur perubahan produktivitas lingkungan yang terjadi akibat erupsi Gunung Merapi tahun 2010. Pendekatan perubahan produktivitas membutuhkan komoditas yang bisa diukur nilai pasarnya. Kayu sebagai produksi utama kawasan hutan tidak bisa ditetapkan sebagai komoditas karena kawasan konservasi tidak memproduksi kayu untuk kepentingan komersial. Dalam tulisan ini, penulis menggunakan pendekatan faktor produksi serapan karbon yang berpotensi hilang akibat vegetasi yang rusak paska erupsi Gunung Merapi tahun 2010. Serapan karbon dipilih sebagai komoditas untuk mengukur penurunan produktivitas kawasan TNGM karena ketersediaan alat ukur dan informasi harga pasar di tingkat global dalam skema perdagangan karbon (Brown, 1997). Sedangkan penurunan produksi pada komoditas lainnya seperti penurunan debit air, kematian biodiversitas dan penurunan kualitas kesuburan tanah tidak diperhitungkan karena keterbatasan data dan informasi.

Stok karbon di TNGM dihitung menggunakan neraca karbon yang direkomendasikan oleh *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2006) berdasarkan konsep SPL (Sistem Penggunaan Lahan) sederhana. SPL disusun berdasarkan peta penggunaan lahan dari peta Rupa Bumi Indonesia skala 1:25.000 sebelum erupsi 2010. Untuk meningkatkan akurasi perhitungan, kelas penggunaan lahan hutan ditetukan berdasarkan kelas kerapatan tegakan dengan transformasi Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) citra ASTER wilayah Gunung Merapi perekaman 23 Agustus 2009 (sebelum erupsi). Terdapat 3 kelas kerapatan tegakan yang digunakan, yaitu kerapatan tegakan rendah ($0 < NDVI \leq +0,3$), kerapatan tegakan sedang ($+0,3 < NDVI \leq +0,7$) dan kerapatan tegakan tinggi ($+0,7 < NDVI \leq +1$).

Penaksiran stok karbon yang hilang dilakukan di tiap SPL yang terdampak erupsi (sedang dan berat) dengan menggunakan acuan pengukuran biomass yang dilakukan oleh Marhaento dkk. (2010) di kawasan Taman Nasional Gunung Merbabu (TNGMb) (lihat Tabel 1). Pada SPL yang mengalami kerusakan berat, stok karbon dianggap hilang seluruhnya. Sedangkan pada SPL yang mengalami kerusakan sedang, stok karbon dianggap tersisa 10%. Penentuan angka 10% berdasarkan pada kenampakan hutan pada kelas kerusakan sedang yang hanya mensisakan tonggak, dimana biomassnya diperkirakan sebesar 10% dari seluruh bagian pohon. Pada SPL yang mengalami kerusakan ringan dan tidak terdampak, tidak dilakukan perhitungan stok karbon yang hilang karena vegetasi masih berfungsi dengan baik sebagai penyerap karbon.

Dalam tulisan ini, dasar pemberian atribut harga pada potensi karbon yang hilang akibat erupsi adalah dengan skema imbalan CER (*Certified Emission Reductions*) pada mekanisme pembangunan bersih (Clean Development Mechanism). CER merupakan satuan penurunan emisi setara 1 ton CO₂ dalam bentuk sertifikat yang dapat diperdagangkan dalam pasar global. Namun demikian, karena tujuan penulisan ini adalah untuk menaksir secara cepat kerugian ekologis di TNGM paska erupsi 2010, maka proses penaksiran harga CER dilakukan secara sederhana tanpa mengikuti mekanisme yang sesungguhnya. Untuk memahami proses mekanisme perdagangan karbon dengan CER, penulis menyarankan untuk mengakses Worldbank (2012).

Tabel 1. Taksiran Potensi Karbon Di Tiap Sistem Penggunaan Lahan (SPL) (Marhaento dkk., 2010)

| SPL | Stok Karbon (Mg/Ha) | | Total Stok Karbon (Mg/Ha) |
|--------------------------|---------------------|-------------------|---------------------------|
| | diatas permukaan | dibawah permukaan | |
| Rumput | 31,9 | 22,3 | 54,2 |
| Semak | 3.218,5 | 504,0 | 3.722,5 |
| Tegakan Kerapatan Rendah | 119,5 | 19,9 | 139,4 |
| Tegakan Kerapatan Sedang | 1.958,4 | 448,4 | 2.406,8 |
| Tegakan Kerapatan Tinggi | 20.550,8 | 3.410,0 | 23.960,8 |

b.) Pendekatan biaya pengganti

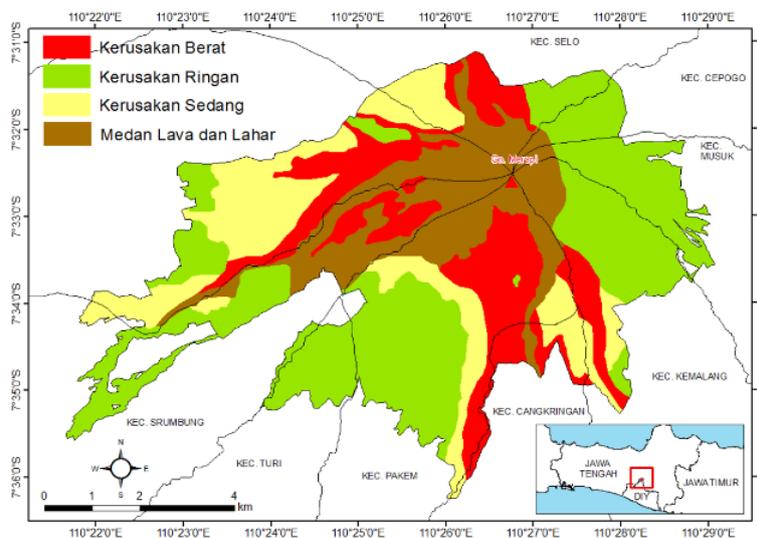
Teknik biaya pengganti mengukur nilai kerugian ekologis berdasarkan biaya yang harus dikeluarkan untuk mengembalikan fungsi ekologis yang hilang menuju keadaan seperti semula (restorasi) (Turner dkk., 2004). Komponen biaya yang ditimbulkan untuk restorasi Gunung Merapi disusun berdasarkan pengalaman kegiatan serupa, yaitu kegiatan rehabilitasi Suaka Margasatwa Paliyan oleh PT.Mitsui Sumitomo. Kegiatan tersebut dipilih sebagai acuan untuk menentukan komponen kegiatan restorasi kawasan TNGM karena adanya kemiripan tujuan yaitu untuk melakukan upaya rehabilitasi di lahan kritis. Perlu dicatat, asumsi penaksiran harga dalam penentuan biaya pengganti ini dilakukan secara umum, tidak merinci per komponen biaya, dan menggunakan standar harga yang disesuaikan dengan lokasi kawasan dan yang berlaku pada saat tulisan ini disusun.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

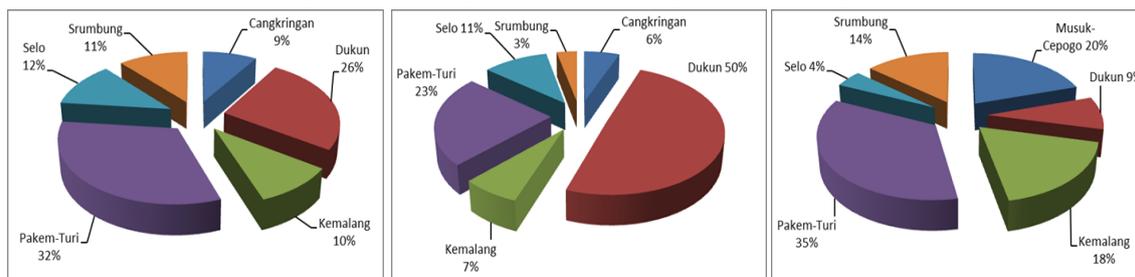
3.1 Identifikasi Kerusakan Ekologis di TNGM

Hasil klasifikasi kelas kerusakan kawasan dari citra LANDSAT dan survey lapangan menunjukkan bahwa kawasan TNGM mengalami 3 kelas tingkat kerusakan. Kerusakan berat terjadi pada kawasan seluas ± 1.242 Ha (19,37%), kerusakan sedang seluas ±1.208 Ha (18,84%), kerusakan ringan seluas 2.544 ha (39,68%) dan sisa kawasan adalah medan lava dan lahar seluas 1.416 Ha (22,11%) yang sudah ada sejak sebelum erupsi 2010 (Gambar 2). Tidak dijumpai kelas tidak terdampak erupsi karena seluruh kawasan TNGM menunjukkan adanya jejak abu vulkanik sehingga kelas terdampak paling rendah adalah kerusakan ringan. Persentase tingkat kerusakan di tiap wilayah kelola TNGM tersaji pada Gambar 3.

Gambar 2. Peta Distribusi Kelas Kerusakan Kawasan Di TNGM (TNGM, 2011)



Gambar 3. Distribusi Kelas Kerusakan Berat (Kiri), Kerusakan Sedang (Tengah), dan Kerusakan Ringan (Kanan) di Tiap RPTN di TNGM (Analisis, 2015)



Kawasan Resort Pengelolaan Taman Nasional (RPTN) Pakem-Turi, RPTN Cangkringan, RPTN Srumbung, RPTN Dukun, RPTN Sawangan, RPTN Selo dan RPTN Kemalang merupakan kawasan yang mengalami kerusakan berat. Pada kawasan yang mengalami rusak berat tersebut, tidak dijumpai lagi tegakan yang tersisa. Salah satu kawasan yang mengalami kerusakan tingkat berat dan sedang adalah di resort Turi-Pakem dan resort Cangkringan yang sebelum terdampak erupsi 2010 memiliki tutupan lahan berupa semak dan rumput di bagian utara yang berdekatan dengan kepundan Gunung Merapi dan hutan campur yang berada di bagian selatan (blok hutan Kinahrejo, blok hutan Alas Gandok) (lihat **Gambar 4**).

Gambar 4. Kondisi Kerusakan di Kawasan TNGM yang Disebabkan Erupsi 2010, Gambar Kiri Adalah Kondisi Kerusakan Berat di Grid 8a (RPTN Cangkringan) Dimana Tidak Dijumpai Lagi Sisa Tegakan. Gambar Kanan Adalah Kondisi Kerusakan Sedang di Grid 7a (RPTN Turi-Pakem) Dimana Sisa-Sisa Tonggak Tegakan Masih Terlihat (TNGM, 2011)



Dampak yang ditimbulkan oleh rusaknya blok hutan tersebut adalah hilangnya potensi hutan sebagai penyedia oksigen, penyerap karbon, dan habitat berbagai flora dan fauna khas yang ada di Gunung Merapi. Menurut TNGM (2011), di kedua lokasi tersebut merupakan habitat dari berbagai jenis burung yang dilindungi, antara lain: Elang Jawa (*Spizaetus bartelsi*), Elang bido (*Spilornis cheela*), Elang hitam (*Ictinaetus malayensis*), Alap-alap Sapi (*Falco moluccensis*), Betet (*Psittacula alexandri*), dan Serindit Jawa (*Loriculus pusillus*) yang masuk dalam lampiran II CITES. Selain itu, di lokasi tersebut juga dijumpai (langsung maupun tidak langsung) berbagai jenis mamalia, antara lain : Lutung Jawa (*Trachypithecus auratus*), Babi Hutan (*Sus scrofa*), Kijang (*Muntiacus muntjak*), Kucing hutan (*Prionailurus bengalensis*), Luwak (*Paradoxurus hermaphroditus*), Landak (*Hystix brachyura*) dan macan tutul/kumbang (*Panthera pardus melas*). Kondisi relatif serupa juga terjadi di kawasan blok hutan Ngasinan, Gumuk dan Petung di RPTN Kemalang, blok hutan Lencoh, Tlogolele di RPTN Selo dan blok hutan Jaimin, Bedengan, Gejugan di RPTN Dukun yang mengalami kerusakan berat dan sedang.

Beberapa kawasan di TNGM hanya mengalami kerusakan ringan yang dicirikan dengan penampakan vegetasi yang relatif utuh dengan jejak abu vulkanik yang terlihat di permukaan tanah dan dedaunan. Kawasan ini terutama di bagian timur Gunung Merapi yang masuk wilayah kelola RPTN Musuk-Cepogo dan sebagian wilayah RPTN Kemalang dan RPTN Selo. Pada lereng selatan di wilayah blok hutan Turgo (RPTN Pakem-Turi) dan pada lereng barat di beberapa bagian blok hutan Desa Ngargosoko di RPTN Srumbung dan blok hutan Gemer, Kroyo (Desa Ngargomulyo) di RPTN Dukun (lihat **Gambar 5**).

Gambar 5. Kerusakan Ringan di Kawasan TNGM yang Disebabkan Erupsi 2010, Gambar Kiri Adalah Kondisi di Grid 4b (RPTN Kemalang) dan Gambar Kanan Adalah Kondisi di Grid 5a (RPTN Turi-Pakem) (TNGM, 2011)



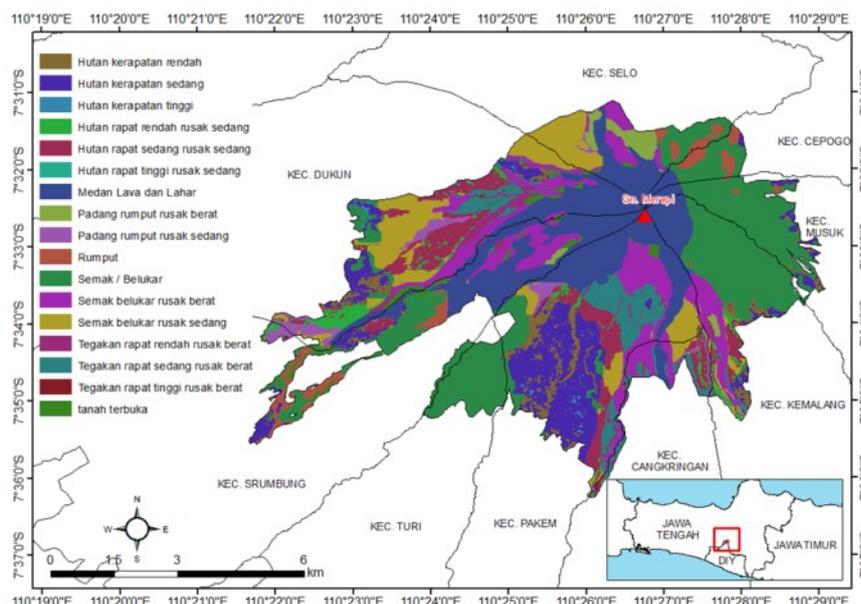
3.2 Identifikasi Kerusakan Ekologis di TNGM

Pendekatan perubahan produktivitas (*change of productivity*) dan pendekatan biaya pengganti (*replacement cost*) digunakan sebagai metode untuk menaksir kerugian ekologis di TNGM yang ditimbulkan oleh erupsi 2010.

a.) Pendekatan perubahan produktivitas

Marhaento dkk. (2010) mengukur potensi stok karbon di kawasan Taman Nasional Gunung Merbabu (TNGMb) yang memiliki kondisi lahan yang relatif mirip dengan TNGM. Penulis menggunakan acuan taksiran potensi karbon di TNGMb (Marhaento dkk., 2010) untuk mengukur potensi karbon di TNGM. Acuan tersebut kemudian digunakan untuk melakukan estimasi stok karbon yang hilang akibat erupsi di tiap Sistem Penggunaan Lahan (SPL). SPL yang diukur sebagai potensi kehilangan stok karbon adalah kelas SPL dengan tingkat kerusakan sedang dan kerusakan berat (**Gambar 6**).

Gambar 6. Peta Kelas Kerusakan Kawasan Pada Sistem Penggunaan Lahan (SPL) Di TNGM (Analisis, 2015)



Dengan asumsi harga CER karbon adalah \$12.8/ton (Worldbank, 2012), dengan kurs Rp. 9.500 per \$1, maka taksiran perubahan produktivitas di TNGM dapat ditaksir sesuai dengan yang disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Taksiran Perubahan Produktifitas Karbon di Kawasan TNGM Paska Erupsi (Analisis, 2015)

| Sistem Penggunaan Lahan (SPL) | Luas (Ha) | Total potensi karbon hilang (Mg) | Potensi kerugian (Milyar Rp) |
|----------------------------------|----------------|----------------------------------|------------------------------|
| Tegakan rapat rendah rusak berat | 103,3 | 14.397,2 | 1,8 |
| Tegakan rapat sedang rusak berat | 320,5 | 771.326,8 | 93,8 |
| Tegakan rapat tinggi rusak berat | 3,0 | 72.926,8 | 8,9 |
| Padang rumput rusak berat | 94,6 | 5.127,4 | 0,6 |
| Semak belukar rusak berat | 659,7 | 2.455.574,5 | 298,6 |
| Hutan rapat rendah rusak sedang | 125,0 | 15.683,9 | 1,9 |
| Hutan rapat sedang rusak sedang | 418,1 | 905.735,9 | 110,1 |
| Hutan rapat tinggi rusak sedang | 4,6 | 99.352,3 | 12,1 |
| Padang rumput rusak sedang | 122,1 | 5.954,8 | 0,7 |
| Semak belukar rusak sedang | 537,5 | 1.800.801,3 | 219,0 |
| Total | 2.388,4 | 6.146.880,8 | 747,5 |

b.) Pendekatan biaya pengganti

Biaya pengganti adalah biaya yang dibutuhkan untuk mengembalikan fungsi ekosistem (restorasi) Gunung Merapi seperti semula. Dalam tulisan ini, upaya restorasi ekosistem dilakukan dengan penghutanan kembali kawasan-kawasan hutan yang rusak. Pada kawasan yang sebelum erupsi Gunung Merapi adalah non hutan (rumput, semak) maka tidak dilakukan perlakuan penghutanan kembali. Pada kawasan non hutan tersebut diasumsikan akan dibiarkan untuk mengalami suksesi secara alami.

Terdapat beberapa komponen biaya umum yang perlu diperhatikan dalam upaya restorasi ekosistem Gunung Merapi, antara lain :

1. Pengadaan bibit

Jenis yang digunakan dalam upaya restorasi ekosistem Gunung Merapi harus jenis asli (native) yang ditentukan berdasarkan inventarisasi jenis-jenis tumbuhan yang ada di kawasan TNGM. Pengadaan bibit harus dipastikan dari pohon induk yang baik. Kriteria bibit yang ditanam adalah tinggi minimal 50 cm, sehat, dan batang sudah berkayu. Asumsi harga yang digunakan adalah Rp7.500/bibit, sudah meliputi biaya transportasi bibit, biaya penampungan bibit sementara dan biaya pemeliharaan sebelum ditanam.

2. Penyiapan dan pembersihan lahan

Kegiatan penyiapan dan pembersihan lahan diperlukan untuk menyiapkan lahan tanam dari bekas pohon yang bertumbangan. Sistem penanaman dilakukan dengan cara membuat jalur tidak terputus dengan jarak antar jalur 5 m tegak lurus kontur. Selanjutnya pada tiap-tiap jalur dibuat lubang-lubang tanam dengan jarak antar lubang tanam 5 m. Pemilihan jarak tanam 5 x 5 m didasarkan pada Petunjuk Teknis Rehabilitasi Hutan Bekas Terbakar di Areal HPH (Purnomo dkk., 1999). Asumsi harga yang digunakan adalah harga per hektar, yaitu: 20 HOK dengan biaya Rp 65.000/HOK.

3. Penanaman

Penanaman dilakukan pada saat hujan mulai stabil dengan tujuan untuk mengurangi risiko kematian bibit. Kegiatan penanaman meliputi pemberian pupuk, pemberian lapisan tanah atas pada tiap lubang tanam, pemberian mulsa, pembuatan acir, dan pembuatan “press block” yang merupakan metode menanam bibit tanaman di lahan kritis yang mampu mengatasi kondisi tapak berpasir yang memiliki daya cekam air yang sangat rendah. Asumsi harga yang digunakan untuk kegiatan penanaman adalah Rp20.000/bibit, sudah meliputi biaya tenaga tanam.

4. Pemeliharaan dan penyulaman

Pemeliharaan tanaman dilakukan secara rutin setiap 2 bulan sekali pada tahun pertama dan 6 bulan sekali pada tahun kedua. Setiap kegiatan pemeliharaan diikuti dengan kegiatan penggemburan

tanah/pendangiran di sekitar tanaman pokok dan pemupukan. Penyulaman adalah kegiatan yang dilakukan dengan cara mengganti tanaman pokok yang mati atau 'hilang' dengan tanaman yang baru. Penyulaman dilakukan dengan bibit yang relatif sama dengan tanaman yang digantikan. Asumsi biaya pemeliharaan dan penyulaman adalah 30% total biaya pada tahun pertama dan 15% total biaya pada tahun kedua.

Lokasi kegiatan restorasi pada kawasan hutan yang mengalami kerusakan sedang dan kerusakan berat adalah seluas 1.036,14 ha. Total prakiraan biaya yang dibutuhkan untuk kegiatan restorasi ekosistem TNGM adalah sesuai yang disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Taksiran Biaya Pengganti di TNGM Paska Erupsi (Analisis, 2015)

| Komponen Biaya | Satuan | Harga | Volume | Luas Kawasan (Ha) | Biaya (Milyar Rp) | |
|---------------------------------|--------------|-----------------------|-----------|-------------------|-------------------|-------------|
| Pengadaan bibit | Ha | 7,500 | per bibit | 400 | 1036.1 | 3.1 |
| Penyiapan dan Pembersihan lahan | Ha | 65,000 | per HOK | 40 | 1036.1 | 1.3 |
| Penanaman | Ha | 20,000 | per bibit | 400 | 1036.1 | 8.3 |
| Pemeliharaan dan penyulaman | Ha | 30% + 15% total biaya | | | | 5.7 |
| Total Biaya | | | | | | 18.5 |
| Biaya per hektar | Rp17,800,000 | | | | | |

Hasil dari *Rapid Damage Assessment (RDA)* dengan menggunakan citra penginderaan jauh dan survei lapangan menunjukkan bahwa 38,21% kawasan TNGM mengalami kerusakan tingkat sedang hingga berat. Kawasan yang mengalami kerusakan tersebut sebagian besar berada di sisi selatan, sisi barat dan sisi utara Gunung Merapi. Pada sisi selatan, kerusakan terjadi di blok-blok hutan yang berada di sekitar Kali Woro (Kec. Kemalang, Klaten), Kali Gendol dan Kali Kuning (Kec. Cangkringan, Sleman). Pada sisi barat, kerusakan terjadi di blok-blok hutan yang berada di sekitar hulu Kali Putih (perbatasan Kec. Dukun dan Kec. Srumbung, Magelang), hulu Kali Senowo, hulu Kali Lamat dan hulu Kali Blongkeng (Kec. Dukun, Magelang). Pada sisi utara, kerusakan terjadi di blok-blok hutan di sekitar Kali Jengglung, hulu Kali Apu (Kec. Selo, Boyolali). Kerusakan blok-blok hutan tingkat sedang dan berat yang berada di sekitar lereng selatan, barat, dan utara Gunung Merapi ini sesuai dengan pergerakan awan panas erupsi Gunung Merapi tahun 2010 yang cenderung kearah tersebut (TNGM, 2011; Surono dkk., 2012).

Bukit Turgo dan Gunung Bibi yang berada di sisi lereng selatan dan lereng timur Gunung Merapi merupakan kawasan hutan yang kondisinya relatif utuh paska erupsi 2010. Menurut Gunawan dkk. (2013), 44% perjumpaan dengan satwa liar yang tergolong mamalia penting antara lain Monyet ekor panjang, Lutung Jawa, Luwak, Babi Hutan, Kucing Hutan dan Kijang di kawasan TNGM paska erupsi tahun 2010 terjadi pada kawasan yang mengalami kerusakan ringan dan yang tidak terdampak sama sekali. Keberadaan kedua kawasan hutan tersebut diduga menjadi tempat pelarian (refugee) bagi satwa liar yang ada di sekitar kawasan TNGM ketika erupsi terjadi (Marhaento dan Faída, 2015). Hal ini memberikan harapan bahwa fungsi ekologis di kedua kawasan hutan tersebut masih berjalan dengan baik.

Pada kawasan yang mengalami kerusakan tingkat sedang dan berat diduga memberikan dampak kerugian ekologis jangka pendek yang cukup tinggi. Kerugian ekologis tersebut antara lain: kematian berbagai jenis vegetasi, rusaknya habitat satwa liar, hilangnya potensi penyedia oksigen dan penyerap karbon, gangguan pada suplai air, penurunan kualitas air dan tanah, dll. Dalam penelitian ini digunakan pendekatan perubahan produktivitas dari komoditas serapan karbon karena ketersediaan alat ukur dan informasi harga pasar yang disepakati. Nilai kerugian akibat kematian satwa liar, potensi penurunan debit air, penurunan kesuburan tanah, penurunan kualitas air dan udara, dll. tidak bisa disajikan dalam tulisan ini karena keterbatasan data dan informasi. Selain itu, pendekatan biaya pengganti dilakukan dengan menggunakan acuan komponen biaya pada kegiatan serupa yaitu kegiatan rehabilitasi lahan kritis di Suaka Margasatwa Paliyan yang dibiayai oleh PT. Mitsui Sumitomo (BKSDA Yogyakarta, 2012). Namun demikian, komposisi biaya dan taksiran harga disesuaikan dengan kondisi yang ada di kawasan TNGM untuk mengurangi bias karena perbedaan lokasi.

Hasil penaksiran kerugian ekologis jangka pendek di kawasan TNGM paska erupsi tahun 2010 adalah total sebesar ± 766 Milyar rupiah yang terdiri dari $\pm 747,5$ Milyar rupiah dari biaya penurunan produktifitas serapan karbon dan $\pm 18,5$ Milyar rupiah dari biaya restorasi. Untuk menaksir total kerugian ekologis yang terjadi akibat erupsi tahun 2010, penulis merujuk pada penelitian Van Beukering dkk. (2003) yang menyebutkan bahwa penyerapan karbon memberikan kontribusi 2% dari total nilai ekonomi lingkungan di kawasan konservasi. Apabila digunakan asumsi yang sama, maka total potensi kerugian ekologis yang ditimbulkan akibat erupsi tahun 2010 di TNGM dapat diperkirakan adalah sebesar 38,3 Triliun rupiah. Nilai kerugian ekologis tersebut merupakan taksiran kasar dan dianggap dibawah nilai sebenarnya (*under estimate*).

Salah satu upaya untuk memitigasi kerusakan dan kerugian lingkungan akibat erupsi Gunung Merapi adalah melalui penataan zonasi TNGM berbasis risiko bencana. Marhaento dan Faida (2015) menyebutkan bahwa zonasi TNGM yang ditetapkan pada tahun 2012 sudah cukup mampu merepresentasikan kebutuhan perlindungan terhadap potensi keanekaragaman hayati yang ada. Namun demikian, zona inti yang ada saat ini lebih difokuskan pada aspek pengamanan dari aktivitas masyarakat dan tidak ada rencana kelola terkait ancaman erupsi gunung Merapi. Untuk itu, diperlukan adanya rencana kontingensi dalam pengelolaan zona inti untuk menghindari kematian dan kepunahan keanekaragaman hayati akibat bencana erupsi gunung Merapi salah satunya dengan membuat kantong-kantong pelarian satwa liar (*refugee*) termasuk jalur (koridor) pelariannya (Dowie, 2011).

4. KESIMPULAN

Hasil dari *Rapid Damage Assessment* (RDA) dengan menggunakan citra penginderaan jauh dan survei lapangan menunjukkan bahwa ± 1.242 Ha (19,37%) kawasan TNGM mengalami kerusakan berat, ± 1.208 Ha (18,84%) mengalami kerusakan sedang dan sisanya relatif utuh dan hanya mengalami kerusakan ringan. Kerusakan berat dan sedang terutama terjadi pada blok-blok hutan di lereng selatan, barat dan utara Gunung Merapi yang masuk wilayah kelola Resort Pengelolaan Taman Nasional (RPTN) Pakem-Turi, RPTN Cangkringan, RPTN Srumbung, RPTN Dukun, RPTN Sawangan, RPTN Selo dan RPTN Kemalang. Sedangkan kawasan yang relatif utuh dan hanya mengalami kerusakan ringan terjadi di blok-blok hutan di lereng timur Gunung Merapi yang masuk wilayah kelola RPTN Musuk-Cepogo dan sebagian wilayah RPTN Kemalang dan RPTN Selo.

Hasil penaksiran kerugian ekologis dengan pendekatan perubahan produktivitas (*change of productivity*) dan pendekatan biaya pengganti (*replacement cost*) di kawasan TNGM paska erupsi Gunung Merapi tahun 2010 menunjukkan bahwa nilai kerugian adalah sebesar ± 766 Milyar rupiah yang terdiri dari $\pm 747,50$ Milyar rupiah dari biaya penurunan produktifitas serapan karbon dan $\pm 18,5$ Milyar rupiah dari biaya restorasi. Dengan menggunakan asumsi bahwa serapan karbon hanya 2% dari total potensi jasa lingkungan di kawasan konservasi, maka taksiran nilai total kerugian ekologis di kawasan TNGM paska erupsi Gunung Merapi tahun 2010 adalah 38,3 Triliun rupiah. Nilai kerugian ekologis tersebut merupakan taksiran kasar dan dianggap dibawah nilai sebenarnya. Salah satu upaya upaya untuk memitigasi kerusakan dan kerugian lingkungan akibat erupsi Gunung Merapi adalah melalui penataan zonasi TNGM berbasis risiko bencana.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini merupakan bagian dari kegiatan "Restorasi Ekosistem Taman Nasional Gunung Merapi Paska Erupsi 2010" kerjasama antara Balai Taman Nasional (BTN) Gunung Merapi dan Fakultas Kehutanan UGM. Penulis mengucapkan terimakasih kepada seluruh anggota tim kerja yang terdiri dari staf kantor BTN Gunung Merapi, dosen dan mahasiswa Fakultas Kehutanan UGM.

6. DAFTAR PUSTAKA

Balai Konservasi Sumber Daya Alam (BKSDA) Yogyakarta. (2012). *Penataan Blok Suaka Margasatwa Paliyan. Tidak dipublikasikan.*

- Brown, S. (1997). Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forest. *Forestry Paper* No. 134. FAO, USA.
- Djuwantoko, Purnomo, D.W., & Laksono, F.Y. (2005). *Taman Nasional Gunung Merapi : Peluang dan Tantangan Realisasi Taman Nasional di Pulau Jawa Bagian Tengah*. Makalah Seminar Nasional : Menuju Taman Nasional Gunung Lawu.
- Dove, M. R. (2008). Perception of volcanic eruption as agent of change on Merapi volcano, Central Java. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 172(3), 329-337.
- Dowie, M. (2011). *Conservation refugees: the hundred-year conflict between global conservation and native peoples*. MIT Press. ISBN: 9780262516006. 376 pp.
- Garrod, G., & Willis, K.G. (1999). *Economic Valuation of the Environment : Methods and Case Studies*. Cheltenham : Elgar. ISBN : 1858986842. 384p.
- Gunawan, H., Sugiarti, M., Wardani, M.H.L., Tata, & Prajadinata, S. (2013). *Restorasi Ekosistem Gunung Merapi Pasca Erupsi*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitasi. Bogor.
- http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook/software/gap_filling_software.html.
- http://mis.bnppb.go.id/website/asp/berita_list.asp?id=247, diakses pada 5 Juni 2014.
- <http://pip2bdiy.org/dkgm/news.php?view=11>, diakses pada 5 Juni 2014.
- <http://www.esdm.go.id/berita/56-artikel/3779-bahaya-itu-bernama-wedhus-gembel.pdf>, diakses pada 5 Juni 2014.
- Indrawan, M., Primack, R.B., & Supriyatna, J. (2007). *Biologi Konservasi*. Yayasan Obor Indonesia. ISBN : 978-979-461-288-X. 625p.
- IPCC.(2006). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Prepared by The National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. and Tanabe, K. (eds.). Published by IGES, Japan.
- Marhaento, H., & Faida, L.R.W. (2015). Analisis Risiko Kepunahan Keanekaragaman Hayati di Taman Nasional Gunung Merapi. *Jurnal Ilmu Kehutanan*. Sedang direview.
- Marhaento, H., Faida, L.R.W., Hermawan, T.T., & Wianti, K.F. (2010). *Model Perhitungan Stok Karbon Tingkat Lansekap Sebagai Pendukung Pembelajaran Pokok Bahasan Potensi Jasa Lingkungan Mata Kuliah Dasar-Dasar Konservasi Sumberdaya Hutan: Studi Kasus Di Taman Nasional Gunung Merbabu*. Laporan Hibah Kompetisi Pembelajaran Berdasarkan Penelitian (Research Based Learning) Program Hibah Kompetisi Institusi UGM. Tidak dipublikasikan.
- Newhall, C. G., Bronto, S., Alloway, B., Banks, N. G., Bahar, I., Del Marmol, M. A., & Wirakusumah, A. D. (2000). 10,000 Years of explosive eruptions of Merapi Volcano, Central Java: archaeological and modern implications. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 100(1), 9-50.
- Peraturan Menteri LH Nomor 14 Tahun 2012. (2012). *Panduan Valuasi Ekonomi Ekosistem Gambut*. Republik Indonesia.
- Pramono, A. A. (2009). Jasa Lingkungan Hutan bagi Masyarakat Lokal di DAS Ciliwung Hulu. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan*, 6(1).
- Purnomo, H., Kaspuraji, Lepe, D., Sutisna, M., Hadriyanto, D., Ruhiyat, D., von Gemmingen, G., & Herryadi. (1999). *Petunjuk Teknis Rehabilitasi Hutan Bekas Terbakar di Areal HPH*. Sustainable Forest Management Systems (SFMP) Document No. 6a. Indonesian - German Technical Cooperation.
- Surono, Jousset, P., Pallister, J., Boichu, M., Buongiorno, M. F., Budisantoso, A., Costa, F., & Lavigne, F. (2012). The 2010 explosive eruption of Java's Merapi volcano—a '100-year' event. *Journal of volcanology and geothermal research*, 241, 121-135.
- Taman Nasional Gunung Merapi (TNGM). (2011). Laporan Restorasi Ekosistem Merapi Paska Erupsi 2010. Laporan kegiatan kerjasama dengan Universitas Gadjah Mada. *Tidak dipublikasikan*.
- Turner, K., Georgiou, S., Clark, R., & Brouwer, R. (2004). *Economic valuation of water resources in agriculture: From the sectoral to a functional perspective of natural resource management*. FAO Water reports 27. FAO: Rome.
- van Bemmelen. (1949). *The Geology of Indonesia*. IA, Govt. printing office, The Hague, Netherlands. pp. 192-207.
- van Beukering, P. J. H., Cesar, H. S. J., & Janssen, M. A. (2003). Economic valuation of the leuser national park on Sumatra, Indonesia. *Ecological Economics*, 44(1), 43-62.
- van Boekhold. (1792). *Relaasvan een tocht naar den Brandenden berg op Java (den Merapi) 17/18 juli 1786 en 9/10 augustus 1786*. Bataav. Genoot. Verh., 6, 8-17.

- Voight, B., Constantine, E. K., Siswoidjyo, S., & Torley, R. (2000). Historical eruptions of Merapi volcano, central Java, Indonesia, 1768–1998. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 100(1), 69-138.
- Worldbank. (2012). *State and trends of the carbon market 2012*. Sumber diakses melalui http://siteresources.worldbank.org/INTCARBONFINANCE/Resources/State_and_Trends_2012_Web_Optimized_19035_Cvr&Txt_LR.pdf