

DAMPAK BENCANA AWAN PANAS ERUPSI MERAPI TAHUN 2006 TERHADAP HUTAN PINUS DI WILAYAH KALIADEM YOGYAKARTA MENGGUNAKAN MODEL NON METRIC MULTIDIMENSIONAL SCALLING SERTA RESPON DAN HARAPAN PEMULIHANNYA

Sutomo * dan S. Hasanbahri **

Sutomo, dan S. Hasanbahri (2008), Dampak Bencana Awan Panas Erupsi Merapi Tahun 2006 Terhadap Hutan Pinus Di Wilayah Kaliadem Yogyakarta Menggunakan Model Non Metric Multidimensional Scalling Serta Respon Dan Harapan Pemulihannya, *Jurnal Sains dan Teknologi Mitigasi Bencana, Vol. 3, No. 1, Tahun 2008*, hal. 1 - 8, 11 gambar, 1 tabel.

ABSTRACT : Every year, approximately 60 volcanoes erupt on earth, and despite almost 80% of them occurring under the oceans, terrestrial volcanic eruptions commonly cause great impacts on vegetation over large areas. Merapi is one of Indonesia's most active volcanoes. In 4 June 2006, the Geger Boyo Flank in Kaliadem was collapsed and since then until 14 of June pyroclastic flows were occurred. The flows moved down the slope through Gendol River (Kaliadem area) with Pinus merkusii dominance-vegetation became the heavily affected. An assessment of the damaged vegetation, especially the dominant ones was conducted in May 2008. Using vegetation analysis and transect method we developed a criteria for the damaged pine trees and illustrated them in a form of 3D NMDS model and distribution map. Recovery trajectory of the Pine forest stand was also assessed.

Keywords : Merapi, pyroclastic flows, Pinus merkusii, non metric multidimensional scalling

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Setiap tahunnya diperkirakan sebanyak 60 gunung berapi di dunia bererupsi dan meskipun 80 persennya terjadi di bawah laut namun erupsi yang terjadi di daratan umumnya akan menyebabkan dampak terhadap vegetasi dalam skala areal yang besar (Dale dkk., 2005a). Lebih dari setengah gunung berapi yang aktif terletak melingkari Samudra Pasifik yang dikenal dengan *ring of fire*. Sekitar 80 persennya terletak di negara-negara berkembang dan sampai saat ini masih belum banyak dipelajari (Marti & Ernst, 2005).

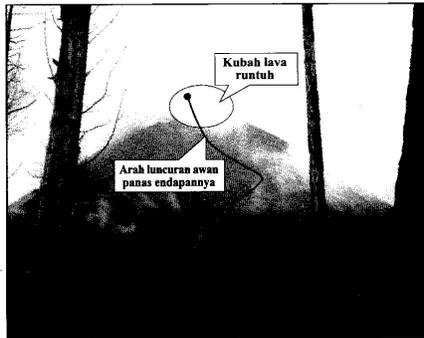
Kawasan Merapi merupakan daerah yang sangat rawan dengan bencana letusan gunung api, mengingat gunung ini adalah salah satu bagian dari rangkaian *ring of fire* di Pulau Jawa yang sangat aktif. Gunung Merapi memiliki siklus erupsi lima sampai enam tahunan dengan erupsi terbaru pada tahun 2006 atau sekitar 1000 tahun setelah erupsinya yang pertama pada tahun 1006 (Bemmelen, 1970). Selain itu tercatat pula beberapa *event* letusan terakhir sejak dekade 80-an adalah pada tahun 1984, 1992, 1994, 1997, 2001 dan 2006. Gunung Merapi juga menjadi acuan dunia karena memiliki tipe piroklastik atau awan panas yang spesifik yang disebut '*Merapi-type*' *pyroclastic flows* (Abdurachman dkk., 2000). *Pyroclastic flows* atau luncuran awan panas yang suhunya dapat mencapai lebih dari 600°C ini membakar vegetasi yang ada di sepanjang jalur yang dilewatinya. Pada tahun 1994 saja bencana luncuran awan panas telah membakar hampir seluruh kawasan hutan Kaliurang dan sekitarnya dengan luas

* Peneliti LIPI Jl. Jend. Gatot Subroto No. 10, Jakarta, e-mail : sutomo.2@lipi.go

** Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

650,30 ha dengan jumlah pohon yang terbakar sebanyak 325.442 batang (Anonim a, 1999). Meski suhu tinggi dan kebakaran hutan adalah dampak utama yang dibawa oleh awan panas, namun terdapat pula dampak lainnya yang dapat dibawa oleh luncuran awan panas ini. Kecepatan luncuran dapat menyebabkan tumbangnya pepohonan baik patah maupun tercerabut dari akarnya. Selain itu sisa longsoran dari runtuhnya kubah lava yang meluncur bersama awan panas dapat mengubur vegetasi baik pohon muda, semak, herba dan anakan pohon.

Pada bulan Juni 2006, kubah lava di lereng bagian barat daya Merapi runtuh dan menyebabkan luncuran awan panas yang sebagian besar mengarah ke Kali Gendol wilayah kawasan Kaliadem Yogyakarta (Gambar 1). Kawasan hutan Pinus yang merupakan tipe hutan yang mendominasi di wilayah ini tak luput dari lintasan awan panas. Meski tiga tahun telah berlalu, namun hingga kini belum ada penelitian dan *assesment* yang komprehensif mengenai dampak yang diakibatkan oleh awan panas dan erupsi tahun 2006 lalu terhadap tegakan hutan Pinus di wilayah ini. Vegetasi memang memiliki kemampuan alamiah untuk pulih setelah adanya gangguan melalui proses suksesi. Akan tetapi keterbatasan pengetahuan kita mengenai respon vegetasi setelah dilanda gangguan menghambat kesuksesan desain strategi restorasinya, sehingga dengan penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap upaya pemulihan vegetasi di Merapi.



Gambar 1. Kubah Geger Boyo yang runtuh pada Juni 2006 yang menyebabkan awan panas yang meluncur ke lembah Kali Gendol

1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menyelidiki respon dan dampak bencana awan panas dan erupsi Merapi tahun 2006 terhadap tegakan *Pinus merkusii*. Lebih spesifik lagi penelitian ini mencoba melihat adanya perbedaan dampak kerusakan serta mengetes hipotesis bahwa terdapat perbedaan yang nyata diantara *site-site* Pinus yang terlanda awan panas dalam hal dominasi jenis kerusakan serta tingkat kerusakannya dengan menggunakan model analisis *Non Metric Multidimensional Scalling*.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi Penelitian

Gunung Merapi secara administratif terletak diantara dua propinsi yaitu Yogyakarta dan Jawa Tengah sedangkan secara astronomis, Gunung Merapi terletak pada 7°35' S and 110°24' E dengan ketinggian antara 750 – 2911 meter di atas permukaan laut. Penelitian dilakukan di kawasan hutan Taman Nasional Gunung Merapi wilayah bagian Yogyakarta. Taman Nasional Gunung Merapi merupakan kawasan dengan ekosistem yang spesifik yaitu kawasan hutan tropis dengan nuansa vulkan.

2.2. Pengambilan Data

Pengambilan data dilapangan dilakukan pada bulan Mei 2008 pada awal musim panas di lembah Kali Gendol wilayah Kaliadem. Berdasarkan survei pendahuluan, kami mengelompokkan kerusakan pohon Pinus menjadi lima kategori plus satu lagi kategori yang dibuat berdasarkan asumsi bahwa tebalnya endapan sangat mungkin mengubur pohon-pohon yang tumbang namun jelas tidak dapat dihitung secara pasti berapa jumlahnya. Kategori yang diberlakukan ini berdasarkan kategori Kelfoun dkk (2000) yang telah dimodifikasi sebagai berikut:

- (1) Pohon yang *survive* dengan tajuk yang terbakar sebagian. Daun-daunnya bisa saja mengering namun tajuk di pucuk masih hidup (*surviving trees with partial singed canopy*).
- (2) Pohon yang terbakar dengan daunnya yang mengering namun cabang-cabang tajuknya tidak rusak (*singed trees with dried leaves, whose branches are not broken*).
- (3) Pohon terbakar yang cabang-cabangnya

- patah/rusak (*singed trees whose branches are broken*).
- (4) Pohon yang terbakar seluruh daunnya gundul dan batang utamanya patah (*broken trees stripped of their leaves and their trunks are broken*).
 - (5) Pohon yang tumbang dan tercerabut dari akarnya (*blown-down trees*).
 - (6) Pohon tumbang yang terkubur oleh endapan (*buried trees*)

Sampling dilakukan secara sistematis di empat *site* yang terdapat pohon Pinus yang terkena dampak. Plot berbentuk lingkaran berukuran diameter 20 m dibuat sepanjang transek dengan jarak antara plot 20 m, sebanyak total 92 plot. Tipe kerusakan serta jumlah pohon yang terkena dampak dicatat berikut pula anakan Pinus apabila ditemukan dicatat jumlahnya. Koordinat dan ketinggian tempat setiap *site* di record dengan menggunakan *GPS* dan kelereng setiap *site* pun di ukur dengan menggunakan klinometer.

2.2. Analisa Data

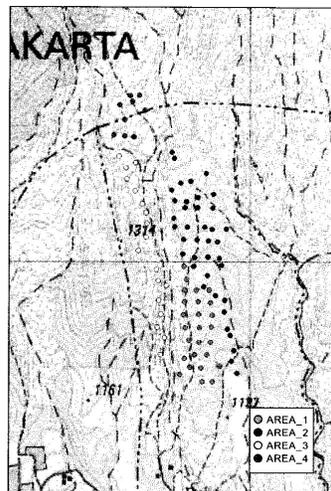
Data dari *GPS* digunakan untuk mereproduksi peta digital tematik tentang distribusi kerusakan dengan menggunakan *MAPINFO™*. Untuk membuktikan hipotesis dilakukan tes Anova menggunakan *Microsoft Excel*. Kemudian untuk lebih jauh mengkonfirmasi hasil ANOVA dilakukan tes *Non Metric Multidimensional Scalling* menggunakan *PRIMER™* (Clarke & Gorley, 2005).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Topografi Areal Yang Terkena Awan Panas

Area yang terkena dampak awan panas pada Juni 2006 terutama terlihat di sisi lereng selatan yang ditandai dengan terbentuknya lembah-lembah yang curam tanda bekas aliran longsoran kubah yang runtuh. Estimasi volume endapan awan panas di sepanjang alur Kali Gendol dari ketinggian 1700 mdpl atau sekitar 2 km dari puncak Merapi hingga ujung endapan awan panas pada ketinggian 900 m dpl adalah sebesar 5,6 juta m³ (PVMBG, 2006). Dengan menggunakan *record* koordinat tiap plot dalam tiap *site* pada *GPS*, dibuatlah *overlay* pada peta Yogyakarta posisi *site* yang diteliti. Keempat *site* yang dipilih letaknya saling berdekatan pada

ketinggian tempat antara 1100 – 1400 m dpl (Gambar 2). Tepat di bawahnya adalah populasi penduduk di desa-desa sekitarnya yaitu Desa Kepuharjo dan Desa Jambu. Sedangkan batas sebelah barat adalah Bukit Plawangan Turgo dan batas sebelah Timur adalah lereng Merapi bagian Kabupaten Klaten Propinsi Jawa Tengah. Topografi lembah yang dalam menjadi karakteristik wilayah Kaliadem ini. Kali Gendol membentuk lembah sungai yang dalam dengan kemiringan yang terjal, serta sebagian besar tebing sungainya disusun oleh endapan hasil letusan Merapi di masa lalu yang termasuk ke dalam kelompok endapan Merapi muda (Anonim b, 2001).



Gambar 2. Areal penelitian di Kali Gendol

3.2. Penampakan Kerusakan dan Distribusinya

Sebanyak 92 plot berbentuk lingkaran dengan diameter 20 m telah dibuat di empat *site* di hutan Pinus di Kali Gendol yang mencakup areal seluas 25 hektar. Dari hasil penelitian di Gunung Merapi, terdapat lima tingkat kerusakan pada empat *site* pohon Pinus yang terkena dampak awan panas erupsi Merapi tahun 2006 (Gambar 3).

Gambar 4 menunjukkan distribusi jenis kerusakan pada setiap *site*. Nampaknya masing-masing *site* memiliki ciri khas tersendiri ditandai dengan dominansi jenis kerusakan yang berbeda. Blow down dan pohon terkubur nampaknya

mendominasi di *site* 1 dan 2. Sedangkan Pohon yang terbakar dengan daunnya yang mengering namun cabang-cabang tajuknya tidak rusak atau kategori kedua nampak mendominasi di *site* 3 dan 4. Sedangkan dari *pie chart* (Gambar 5) diketahui bahwa penampakan kerusakan yang mendominasi adalah dari kriteria *blow down trees* (kriteria 5) sebanyak 31% diikuti oleh kriteria 4 dan 3 masing-masing sebesar 23 dan 21 % serta yang paling sedikit adalah proporsi pohon Pinus yang selamat yakni hanya sekitar 9%.

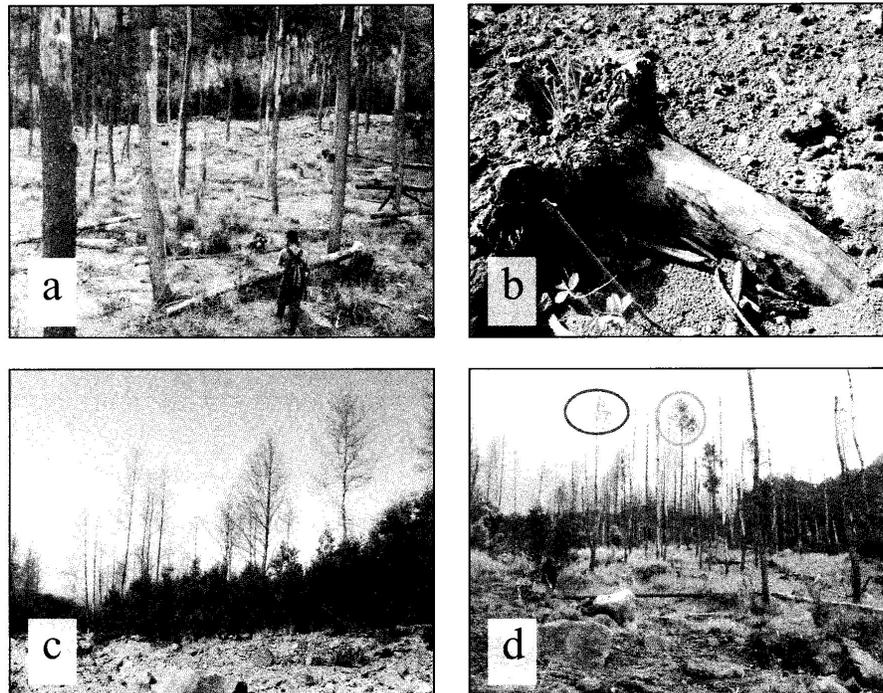
3.3. Model Non Metric Multidimensional Scalling Kerusakan Pinus antar Site

Dari grafik di bawah ini dapat dilihat bahwa site 2 adalah *site* yang terkena dampak paling

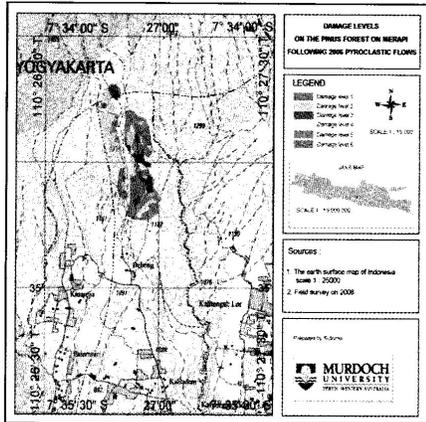
besar, diindikasikan oleh kehadiran lima tingkat kerusakan serta kuantitasnya yang lebih besar dibandingkan *site-site* lainnya (Gambar 6).

Secara kasat mata bila dilihat dari grafik proporsi dan peta distribusi kita dapat melihat bahwa ada perbedaan jenis dan tingkat kerusakan pada masing-masing *site*. Akan tetapi sejauh mana asumsi tersebut dapat diterima secara statistik maka dilakukan tes ANOVA nilai *mean* kerusakan antar *site* terdapat pada Tabel 1.

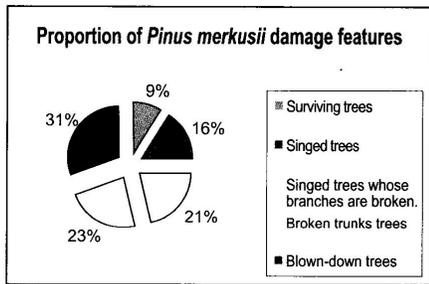
Hasil tes menunjukkan memang terdapat perbedaan yang signifikan antara *site* dalam hal jenis kerusakan Pinus. Namun demikian agar dapat lebih mudah memahami dimana dan bagaimana perbedaan-perbedaan antar *site* tersebut maka dilakukan analisis ordinasial *Multi Dimensional Scalling*. Tujuan daripada analisis ini umumnya adalah untuk merepresentasikan



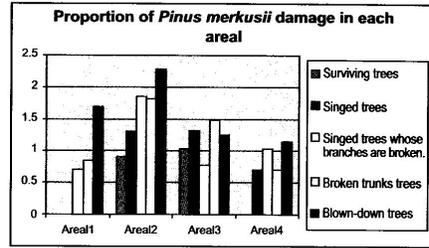
Gambar 3. Empat tingkat kerusakan yang teramati di tegakan Pinus: (a) pohon patah; (b) pohon tumbang tercerabut; (c) pohon terbakar; (d) lingkaran merah: pohon terbakar dengan cabang yang patah, lingkaran hijau: pohon yang survive



Gambar 4. Peta distribusi jenis kerusakan di tiap site penelitian



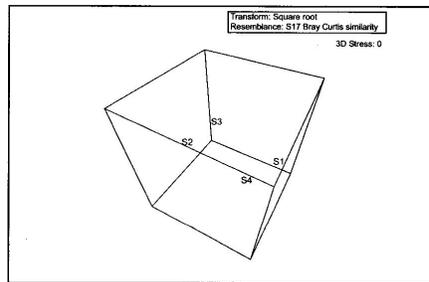
Gambar 5. Proporsi penampakan kerusakan/kriteria kerusakan Pinus di Kaliadem



Gambar 6. Jenis dan proporsi kerusakan Pinus di tiap site

Tabel 1. Tes ANOVA karakter antar site

Source of Variation	ANOVA					
	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Between Groups	23.36207	5	4.672414	3.082534	0.034971	2.772853
Within Groups	27.28387	18	1.51577			
Total	50.64594	23				



Gambar 7. Model 3D Non Metric Multidimensional Scalling site penelitian di Kaliadem

sample-sampel sebagai titik di dalam ruang 2 dimensi rendah, berdasarkan kemiripan maupun ketidakmiripan relative sample di tiap site yang disajikan dalam matriks data untuk kemudian divisualisasikan dalam gambar ordinas. Hasil analisisnya cukup simple untuk diartikan, sample atau titik atau *site* dalam hal ini yang di dalam hasil visualisasi letaknya berdekatan artinya memiliki kemiripan yang sangat dekat dan demikian sebaliknya (Clarke & Gorley, 2005). Hasil analisis ordinas NMDS *site* Pinus di Kaliadem disajikan dalam Gambar 7.

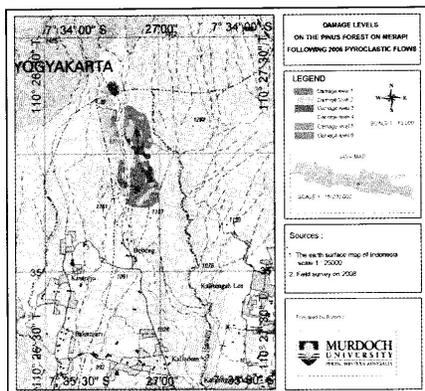
Dari gambar diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa *site* 2 dan 3 memiliki indeks similaritas yang tinggi sehingga dapat dikatakan hampir mirip dalam

hal ini komposisi dan *value* kerusakan Pinus. Demikian pula *site* 1 dan 4, akan tetapi *site* 2 dan 3 tidak memiliki kemiripan dengan *site* 1 dan 4 hal ini diindikasikan dari letaknya yang saling berjauhan di dalam hasil ordinas.

3.4. Clustering Kriteria Kerusakan

Dampak primer dari aktivitas vulkanik terhadap vegetasinya berkorelasi spesifik dengan tipe aktivitas vulkaniknya masing-masing. Seiring waktu dan arah siklus erupsi sebagian besar gunung berapi menghasilkan lebih dari satu aktivitas vulkanik yang dapat mengakibatkan dampak yang kompleks terhadap vegetasi (Dale dkk, 2005).

Untuk studi kasus di Kaliadem ini kami mengclusterkan keenam kriteria kerusakan yang ditemui menjadi 3 level dampak yaitu dampak rendah, dampak sedang dan dampak berat pada areal penelitian. Kriteria 1 dan 2 dimasukkan ke dalam dampak rendah, kriteria 3 dan 4 termasuk dalam dampak sedang dan kriteria 5 dan 6 masuk dalam dampak berat. Hasil *overlay* pada peta areal penelitiannya terdapat pada Gambar 8.



Gambar 8. Level dampak kerusakan pada site Pinus di Kaliadem

3.5. Respon Pinus Terhadap Awan Panas dan Harapan Pemulihan

Bahaya utama awan panas terletak pada suhu ekstrem yang dapat mencapai suhu diatas 700°C. Respon vegetasi terhadap api sangat beragam. Kebakaran yang parah biasanya dapat langsung memusnahkan atau merusak seluruh atau sebagian vegetasi dan sebagian lainnya lebih persisten dan membutuhkan adanya api di dalam proses regenerasinya (Pickett & White 1985; Riswan & Kartawinata, 1991; Bond & Wilgen, 1996). Persistensi Pinus yang sebagian dapat *survive* dari terjangan awan panas tahun 2006 adalah karena Pinus memiliki kulit batang atau kulit kayu yang cukup tebal. Sesuai dengan pendapat Uhl & Kauffman (1990) bahwa kemampuan *survival* yang tinggi suatu vegetasi di dalam komunitas dikarenakan adanya karakteristik *survival* khusus misalnya seperti ketebalan kulit kayu.

Selain memiliki kulit kayu yang tebal, Pinus juga memiliki kemampuan beregenerasi setelah adanya gangguan kebakaran. Hal ini dikarenakan

buah pinus memerlukan suhu yang tinggi untuk dapat pecah dan mengeluarkan bijinya. Lebih jauh, bijinya yang kecil dan bersayap menambah kemampuan Pinus untuk menyebar ke daerah yang lebih luas sebagai *seed source*. Selain biji yang tersebar dengan bantuan angin tersebut, sebagian biji akan ikut terkubur di endapan awan panas dan bila situasi substrat sudah memungkinkan biji akan berfungsi sebagai *seed bank* yang siap untuk tumbuh namun juga tergantung dari kedalaman endapan yang menutupinya.

Antos dan Zobel (1985) melaporkan bahwa mayoritas jenis herba dapat menembus ke atas endapan setebal 4,5 cm atau kurang, akan tetapi pada kedalaman lebih dari 15 cm kebanyakan lapisan herba akan mati dan tak dapat menembusnya. Untuk kasus di Kaliadem, anakan Pinus terbanyak ditemukan hidup di site 3 dan diikuti site 1 dan 2



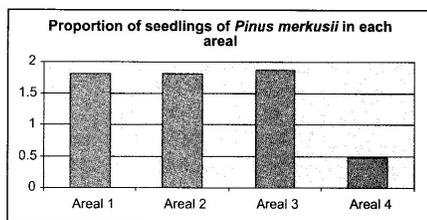
Gambar 9. Kulit kayu Pinus



Gambar 10. Anakan Pinus merkusii di Kaliadem yang mampu survive dari endapan material awan panas Merapi

dengan persentase yang hampir sama, sangat kontras dengan site 4 yang memiliki persentase anakan Pinus yang terkecil (Gambar 10).

Gambar 9 adalah tipe umum rekrutmen dari biji Pinus di Kaliadem. Endapan berumur 3 tahun dan terlihat adanya satu anakan Pinus. Daun-daun jarum dan cabang-cabang batang Pinus yang jatuh di permukaan endapan berfungsi sebagai mulsa dan membantu menyediakan nutrisi yang diperlukan bagi anakan Pinus untuk tumbuh, selain itu morfologi endapan yang berbatu melindungi anakan Pinus dari *herbivory* oleh binatang. Dengan demikian *recovery* Pinus di hutan Kaliadem sudah memiliki 'modal' yang cukup baik ditandai dengan cukup banyaknya proses rekrutmen anakan Pinus di areal studi. Akan tetapi ada banyak faktor yang akan dapat mempengaruhi *trajectory* daripada proses *recovery* ini, seperti sifat kimia dan temperatur substrat, faktor iklim, faktor biotik seperti kehadiran binatang, campur tangan manusia dan intensitas dan frekuensi erupsi.



Gambar 11. Proporsi anakan Pinus merkusii di tiap site penelitian

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Bencana erupsi Merapi yang dicirikan dengan selalu munculnya awan panas membawa dampak yang signifikan terhadap vegetasi terutama pada tegakan pohon Pinus yang mendominasi tipe vegetasi di Kaliadem. Ditemukan enam kategori kerusakan Pinus di empat *site* penelitian yang diakibatkan oleh awan panas baik oleh suhu ekstrem panasnya, kecepatan luncuran dan endapan material yang dibawanya. Terdapat pula perbedaan yang signifikan dalam hal komposisi jenis kerusakan pada ke empat *site* yang diteliti yang di indikasikan oleh analisis *Non Metric Multidimensional Scalling*. Hasil *clustering* kerusakan menghasilkan peta distribusi level dampak kerusakan yang terbagi menjadi *high*

impact, *medium impact* dan *low impact*. Harapan *recovery* hutan Pinus di wilayah Kaliadem cukup baik diindikasikan dengan banyaknya ditemukan *seedling* Pinus yang mampu tumbuh di substrat endapan material erupsi baru.

4.2. Saran

Hasil penelitian ini menambah pengertian kita tentang respon vegetasi dan dampak bencana awan panas Merapi terhadap vegetasi dominan di wilayah ini. Kegiatan restorasi dimungkinkan dilakukan untuk membantu mempercepat proses suksesi dan *recovery* vegetasi di Kaliadem. Kegiatan yang dapat dilakukan diantaranya adalah dengan melakukan penanaman jenis-jenis pionir dan tidak berkorelasi negatif dengan *seedling* Pinus. Kegiatan pemulsaan pada substrat endapan sebelumnya dapat dilakukan untuk membantu proses persediaan nutrisi pada substrat yang kemudian akan dapat mengakomodir *seedling* Pinus. Kemudian pembatasan areal yang dapat dimasuki wisatawan juga penting dilakukan untuk meminimalisir gangguan oleh manusia yang akan dapat merubah *trajectory recovery* Pinus di kawasan Kaliadem.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurachman, E. K., Bourdier, J. L. & Voight, B., 2000, *Nuees ardantes of 22 November 1994 at Merapi Volcano, Java Indonesia*, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 100, 345-361.
- Anonim a, 1999, *Rencana Umum Pengelolaan Kawasan Lindung Propinsi Daerah Istimewa Yogyakarta*, Dinas Kehutanan Yogyakarta.
- Anonim b, 2001, *Penyusunan Rencana Induk Pengembangan Obyek Wisata Kaliadem*, Fakultas Teknik UGM dan Sub Dinas Pariwisata DIY.
- Antos, J. A. & Zobel, D. B., 2005, *Plant responses in forest of the Tephra-fall Zone*, In Dale, V. H., Swanson, F. J. & Crisafulli, C. M. (Eds.) *Ecological Responses to the 1980 Eruption of Mount St. Helens*. New York, Springer.
- Bemmelen, W., R., 1970, *The Geology of Indonesia*, Martinus Nijhoff.
- Bond, W. J. & Wilgen, B. W. V., 1996, *Fire and Plants*, London, Chapman & Hall.
- Clark, R. K. & Gorley, R. N., 2005, PRIMER: Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research. 6.0 ed. Plymouth, PRIMER-E Ltd.

- Dale, V. H., Acevedo, J. D. & Macmahon, J. , 2005a, *Effects of Modern Volcanic Eruptions on Vegetation*, In Marti, J. & Ernst, G. (Eds.) *Volcanoes and the Environment*. New York, Cambridge University Press.
- Kelfoun, K., Legros, F. & Gourgaud, A., 2000, *A Statistical Study of Trees Damaged by the 22 November 1994 Eruption of Merapi Volcano (Java, Indonesia) : Relationships Between Ash-cloud Surges and Block-and-ash Flows*, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 100, 379–393.
- Marti, J. & Ernst, G. (2005) *Volcanoes and Environment*, New York, Cambridge University Press.
- Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, 2006, *Prekursor Erupsi Gunung Merapi*, Direktorat Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Pickett, S. T. A. & White, P. S., editors (1985) *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*, Orlando, Florida, Academic press.
- Riswan, S. & Kartawinata, K., 1991, *Regeneration After Disturbance in a Lowland Mixed Dipterocarp Forest in East Kalimantan Indonesia*, In Gomez-Pompa, A., Whitmore, T. C. & Hadley, M. (Eds.) *Rain Forest Regeneration and Management-Man and the Biosphere series*. Paris, France, UNESCO.
- Uhl, C., 1990, *Deforestation, Fire Susceptibility and Potential Tree Responses to Fire in the Eastern Amazon*, *Ecology*, 71, 437-449.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada Kepala Balai Taman Nasional Gunung Merapi atas dukungannya, Richard Hobbs dan Viki Cramer atas diskusi yang *insighfullnya* serta teman-teman Gunawan dan Ali yang telah membantu dalam kegiatan *fieldwork*.