

MODEL PENDUGAAN KERUGIAN AKIBAT BENCANA LETUSAN GUNUNG API DI SEKTOR PERTANIAN

L. D. ASIH¹, H. SUMARNO², P. SIANTURI²

Abstrak

Dalam penelitian ini, model pendugaan kerugian yang digunakan merupakan pengembangan dari model yang dikembangkan oleh *International Center of Geohazard* (ICG), melalui NORSAR (Norwegia) dan *University of Alicante* (Spanyol) yang diterapkan di sebuah alat yang disebut SELENA (*SEismic Loss EstimatioN using logic tree Approach*) yang digunakan untuk menduga kerugian ekonomi akibat bencana gempa bumi. Oleh karena bencana gempa bumi dan letusan gunung api diasumsikan sama-sama memiliki peluang kerusakan yang bergantung terhadap jarak lokasi ke pusat bencana, maka model SELENA tersebut dapat diterapkan untuk bencana letusan gunung api dengan menyesuaikan beberapa parameter melalui proses kalibrasi model. Beberapa parameter yang harus disesuaikan, yaitu tipe hunian, tipe bangunan dan jenis kerusakan diubah menjadi jenis tanaman, umur tanaman dan zona rawan bencana. Perhitungan luas area tanam, peluang kerugian dan biaya perbaikan juga perlu disesuaikan untuk menghitung total kerugian ekonomi. Dengan menggunakan data hipotetik dan data luas area tanam D.I Yogyakarta serta model pendugaan kerugian akibat letusan gunung api diperoleh nilai kerugian dan selang kerugian untuk masing-masing tanaman jenis-*i* berumur-*j* yang berada di zona-*k*, serta didapatkan juga nilai kerugian dan selang yang dialami per hektar luas tanaman jenis-*i* berumur-*j* berada di zona-*k*.

Kata Kunci: Kerugian Ekonomi, Letusan Gunung Api, Model Pendugaan, Pertanian.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Bahaya (*hazard*) adalah kejadian fisik, fenomena atau aktivitas manusia yang berpotensi merusak sehingga dapat menyebabkan korban manusia, luka-luka atau kerusakan properti, sosial, kerugian ekonomi atau perubahan lingkungan [6]. Bahaya jika dikaitkan dengan kerentanan sosial akan menimbulkan suatu risiko. Risiko adalah potensi kerugian yang ditimbulkan akibat bencana pada suatu

¹Mahasiswa S2, Program Studi Matematika Terapan, Sekolah Pascasarjana IPB Dramaga Bogor, 16680. E-mail: lestaridwiasih@gmail.com

²Departemen Matematika, Fakultas Ilmu Pengetahuan Alam, Jalan Meranti Kampus IPB Dramaga Bogor, 16680.

wilayah dan kurun waktu tertentu yang dapat berupa kematian, luka-luka, sakit, jiwa terancam, hilangnya rasa aman, mengungsi, kerusakan atau kehilangan harta dan gangguan kegiatan masyarakat [3]. Jika bahaya itu terjadi, maka risiko akan berubah menjadi bencana (*distaster*).

Secara umum wilayah Indonesia adalah tempat pertemuan tumbukan tiga lempeng tektonik yaitu lempeng *Eurasian*, lempeng *Indo-Australian*, dan lempeng *Philippine* [2]. Dampak dari tumbukan lempeng tektonik tersebut menyebabkan terjadinya bencana kebumihan seperti erupsi gunung api, tanah longsor, gempa bumi, dan tsunami, sehingga Indonesia disebut sebagai *super market* bencana.

Indonesia juga merupakan negara agraris. Ironisnya, sebagai negara agraris Indonesia ternyata belum memiliki kemandirian dan kedaulatan dalam hal pemenuhan kebutuhan pangan bagi rakyatnya. Hal ini diperparah dengan bencana-bencana yang terjadi di Indonesia yang menyebabkan produktivitas di sektor pertanian menurun. Salah satu bencana tersebut adalah letusan gunung api. Lahar panas, lahar dingin dan abu serta lontaran material-material gunung api yang dikeluarkan saat terjadinya letusan gunung api telah menyebabkan rusaknya lahan, tanaman-tanaman pangan, hortikultura dan pekebunan yang berada di sekitar gunung api yang meletus. Tentu saja hal ini dapat menyebabkan kerugian di sektor pertanian. Kerugian yang dimaksudkan adalah kerugian ekonomi yang disebabkan oleh gagal panen tanaman-tanaman yang terkena oleh dampak letusan gunung api.

Oleh karena pertanian adalah bidang yang sangat penting untuk diperhatikan karena menyangkut pangan nasional, maka diperlukan pendugaan kerugian di sektor pertanian akibat letusan gunung api. Diharapkan model pendugaan kerugian tersebut dapat mempercepat pemerintah dalam menanggulangi dampak letusan gunung api, khususnya di sektor pertanian.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan model pendugaan yang dikembangkan oleh *Geohazard* (ICG), melalui NORSAR (Norwegia) dan *University of Alicante* (Spanyol) yang diterapkan di sebuah alat yang disebut SELENA (*SEismic Loss EstimatioN using logic tree Approach*) yang digunakan untuk menghitung kerugian akibat gempa bumi. akan dikembangkan untuk menghitung kerugian ekonomi di sektor pertanian akibat bencana letusan gunung api dengan menyesuaikan beberapa parameter melalui kalibrasi model. Lalu, menganalisis model pendugaan kerugian akibat bencana letusan gunung api untuk menghitung total kerugian ekonomi dan selang kerugian ekonomi dengan menggunakan data hipotetik dan data luas tanam daerah Yogyakarta, dan menghitung kerugian ekonomi dan selang kerugian ekonomi per Hektar luas area tanam.

MODEL PENDUGAAN KERUGIAN

Kalibrasi Model

Model matematika yang akan dibangun untuk menghitung kerugian ekonomi akibat letusan gunung api di sektor pertanian merupakan pengembangan dari model matematika untuk gempa bumi yang dikembangkan oleh *International Center of Geohazard (ICG)*, melalui *NORSAR (Norwegia)* dan *University of Alicante (Spanyol)* yang diterapkan di sebuah alat yang disebut *SELENA (SEismic Loss Estimation using logic tree Approach)*. Model tersebut diformulasikan sebagai berikut,

$$L_{eco} = Cr \sum_{i=1}^{N_{OT}} \sum_{j=1}^{N_{BT}} \sum_{k=1}^{N_{DS}} A_{i,j} P_{j,k} C_{i,j,k} \quad (1)$$

dengan

N_{OT} = banyaknya jenis hunian, misalnya perumahan, sekolah, rumah sakit, dll

N_{BT} = banyaknya tipe bangunan, misalnya bangunan terbuat dari kayu, bata, baja, dll

N_{DS} = banyaknya jenis kerusakan (*damage states*), yaitu *slight, moderate, extensive, complete*.

Cr = pengali biaya daerah (saat ini diatur hingga 1.0, tetapi nilai ini dapat berbeda untuk tiap unit geografi untuk memperhitungkan variasi biaya geografis),

$A_{i,j}$ = luas bangunan dari tipe bangunan j untuk tipe hunian i (dalam m^2),

$P_{j,k}$ = peluang kerusakan dari kerusakan struktur k (*slight, moderate, extensive, complete*) untuk model tipe bangunan j ,

$C_{i,j,k}$ = Biaya perbaikan atau penggantian untuk setiap tipe hunian i dan model tipe bangunan j yang mengalami kerusakan struktur k dalam masukan mata uang per luas daerah. ($\$/m^2$) [4].

Oleh karena bencana gempa bumi dan letusan gunung api sama-sama bencana alam yang dapat disebabkan oleh tumbukan lempeng-lempeng bumi dan diasumsikan memiliki tingkat kerusakan yang bergantung terhadap jarak lokasi ke pusat bencana, maka model *SELENA* tersebut dapat diterapkan untuk bencana letusan gunung api dengan menyesuaikan beberapa parameter melalui proses kalibrasi model. Beberapa parameter yang harus disesuaikan, yaitu tipe hunian, tipe bangunan dan jenis kerusakan secara berturut-turut diubah menjadi jenis tanaman, umur tanaman dan zona rawan bencana.

1. Tipe hunian diubah menjadi jenis tanaman

Oleh karena pada model *SELENA* yang diterapkan untuk menghitung kerugian yang disebabkan runtuhnya bangunan akibat bencana gempa bumi, maka

objek yang mempengaruhi kerugiannya adalah bangunan itu sendiri. Bangunan dibagi menjadi tipe bangunan dan tipe hunian. Tipe hunian menggambarkan tipe objek yang diteliti, sedangkan tipe bangunan menggambarkan kekuatan bangunan tersebut. Pada SELENA, tipe hunian dikelompokkan menjadi beberapa tipe antara lain, bangunan perumahan, sekolah, dan komersial. Sehingga, untuk mengembangkan model tersebut menjadi model untuk menghitung kerugian akibat letusan gunung api di sektor pertanian, objek yang diamati adalah tanaman. Sehingga tipe hunian akan diubah menjadi jenis tanaman. Banyaknya jenis tanaman pertanian yang digunakan dalam model yang dikembangkan ini ada tiga jenis, yaitu tanaman pangan, tanaman hortikultura, dan tanaman perkebunan.

Tanaman pangan adalah tanaman yang dimanfaatkan dan diolah untuk memenuhi kebutuhan akan makanan bagi manusia. Hortikultura diartikan sebagai usaha membudidayakan tanaman buah-buahan, sayuran dan tanaman hias. Sehingga tanaman hortikultura adalah tanaman buah-buahan, sayuran dan tanaman hias yang merupakan hasil budidaya tanaman. Perkebunan adalah segala kegiatan yang mengusahakan tanaman tertentu pada tanah dan/atau media tumbuh lainnya dalam ekosistem yang sesuai, mengolah dan memasarkan barang dan jasa hasil tanaman tersebut, dengan bantuan ilmu pengetahuan dan teknologi, permodalan serta manajemen untuk mewujudkan kesejahteraan bagi pelaku usaha perkebunan dan masyarakat. Sehingga tanaman perkebunan adalah tanaman yang merupakan hasil perkebunan contohnya tembakau, kakao, kelapa, kelapa sawit, kopi dan lain-lain. Pengkelompokan jenis tanaman ini dilakukan karena ketiga jenis tanaman tersebut adalah yang paling berpengaruh terhadap perekonomian.

2. Tipe bangunan diubah dengan kelompok umur tanaman

Tipe bangunan yang digunakan dalam model SELENA menunjukkan kekuatan objek yang diamati. Dalam model tersebut tipe bangunan dibagi berdasarkan bahan bangunan yang digunakan, misalnya bangunan bata, baja, kayu, dll. Untuk model yang dikembangkan, untuk menggambarkan kekuatan tanaman akan digunakan umur tanaman. Kelompok umur tanaman dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu kelompok baru tanam, kelompok tanaman dewasa, dan kelompok siap panen. Hal ini dikarenakan ketika dikaitkan dengan perhitungan biaya perbaikan/penggantian tanaman, tanaman yang baru tanam dengan tanaman yang akan dipanen akan memiliki biaya perbaikan yang berbeda. Tanaman yang baru tanam tidak memiliki variabel biaya perawatan, atau biaya perawatannya kecil. Berbeda dengan tanaman yang tengah tanam dan siap panen memiliki biaya perawatan yang lebih besar jika dibandingkan dengan tanaman baru tanam.

3. Jenis kerusakan diubah menjadi daerah rawan bencana

Bencana gempa bumi dan letusan gunung api adalah bencana yang mengakibatkan kerusakan terhadap suatu objek atau lokasi bergantung terhadap jaraknya terhadap pusat bencana. Untuk model SELENA hal ini diwakilkan dengan jenis kerusakan, sedangkan untuk model yang dikembangkan akan diubah menjadi daerah rawan bencana.

Daerah rawan bencana juga dibagi menjadi 3 daerah, yaitu daerah rawan bencana I (zona 1), daerah rawan bencana II (zona 2) dan daerah rawan bencana III (zona 3). Daerah rawan bencana I adalah daerah yang letaknya dekat dengan sumber bahaya yang sering terlanda awan panas, aliran lava, guguran batu, lontaran batu dan hujan abu lebat. Daerah rawan bencana II adalah daerah aliran massa berupa awan panas, aliran lava dan lahar, terkena lontaran material jatuhnya dan hujan abu. Sedangkan daerah rawan bencana III adalah daerah yang berpotensi terlanda lahar/banjir akibat aliran massa berupa campuran air dan material lepas berbagai ukuran yang berasal dari erupsi gunung api dan daerah yang terkena hujan abu [1].

Dengan mengasumsikan biaya pengali daerah sebesar 1, luas bangunan diubah menjadi luas area tanam yang bergantung terhadap jenis- i yang berumur- j yang berada di zona- k , peluang kerusakan dari kerusakan struktur k untuk model tipe bangunan j akan diubah menjadi peluang kerusakan untuk tanaman jenis- i yang berumur- j yang berada pada zone- k , dan biaya perbaikan atau penggantian untuk setiap tipe hunian i dan model tipe bangunan j yang mengalami kerusakan struktur k diubah menjadi biaya investasi atas kerusakan yang terjadi untuk setiap jenis tanaman- i yang berumur- j , maka model pendugaan kerugian akibat letusan gunung api dapat diformulasikan sebagai berikut,

$$L_{eco} = \sum_{i=1}^{N_{PT}} \sum_{j=1}^{N_{CY}} \sum_{k=1}^{N_{DS}} A_{i,j,k} P_{i,j,k} C_{i,j} \quad (2)$$

dengan

N_{PT} = banyaknya jenis tanaman. Banyaknya jenis tanaman dikelompokkan berdasarkan siklus hidupnya, yaitu tanaman pangan (1), tanaman hortikultura (2) dan tanaman perkebunan (3).

N_{CY} = banyaknya klasifikasi umur tanaman, misalnya tanaman baru tanam(1), tanaman dewasa(2), dan tanaman siap panen (3).

N_{DS} = banyaknya pengkelompokan daerah di sekitar gunung api, yaitu daerah rawan bencana I (1), daerah rawan bencana II (2) dan daerah rawan bencana III (3).

$A_{i,j,k}$ = luas area lahan dari jenis tanaman jenis- i yang berumur- j yang berada di zona- k (dalam Ha).

$P_{i,j,k}$ = peluang kerusakan untuk jenis tanaman jenis- i yang berumur- j yang berada pada zone- k .

$C_{i,j}$ = Biaya investasi atas kerusakan yang terjadi untuk setiap jenis tanaman- i yang berumur- j dalam masukan mata uang per luas daerah.(Rp/Ha).

Luas Area Tanam

Dalam analisis model, diperlukan luas area tanam berdasarkan jenis tanaman, kelompok umur dan zona tumbuhnya tanaman. Data luas total yang diambil adalah luas area tanam D.I Yogyakarta yang dikelola oleh rumah tangga (lihat tabel 1). Karena data yang tersedia hanyalah data luas tanam tanaman berdasarkan jenis tanaman, maka diperlukan beberapa asumsi untuk mendapatkan luas tanam tanaman jenis-*i* berumur-*j* yang berada di zona-*k* (A_{ijk}). Kemudian untuk mendapatkan A_{ijk} diperlukan persentase tanaman yang berumur-*j* dan persentase tanaman yang berada di zona-*k* (lihat tabel 2).

Tabel 1
Data luas tanaman pangan, hortikultura, dan perkebunan
Provinsi D.I Yogyakarta yang dikelola Rumah Tangga

Jenis Tanaman	Luas Tanam (Ha)
Tanaman Pangan (padi sawah dan palawija)	161.257,2
Hortikultura	175.320,2
Perkebunan	3.052,9
Kehutanan*	75.120,31

Sumber: Data Sensus Pertanian 2013 –Badan Pusat Statistik Republik Indonesia

*) Analisa DisHutBun DIY, 2014

Tabel 2
Persentase tanaman yang berumur-*j* dan persentase
tanaman yang berada di zona-*k*

Tanaman jenis- <i>i</i>	Persentase tanaman berumur- <i>j</i>			persentase tanaman di zona- <i>k</i>		
	1	2	3	1	2	3
1	30%	50%	20%	1%	3%	5%
2	30%	40%	30%	4%	5%	6%
3	20%	30%	50%	4%	5%	6%

Jika luas area tanam daerah Yogyakarta berdasarkan jenis tanaman (Tabel 1) dikalikan dengan persentase luas tanam tanaman jenis-*i* berumur-*j* yang berada pada zona-*k* (Tabel 2 kolom 4) akan didapatkan luas area tanam untuk tanaman jenis-*i* berumur-*j* yang berada di zona-*k* (A_{ijk}) (Tabel 3 kolom 5).

Tabel 3
Luas area tanaman jenis- i yang berumur- j yang berada di zona- k

Jenis Tanaman (i)	Kelompok Umur (j)	Zona(k)	Luas tanaman- i yang berumur- j di zona- k dari luas total (%)	A_{ijk} (Ha)
1	1	1	0,3	483,7716
		2	0,9	1451,3148
		3	1,5	2418,858
	2	1	1	1612,572
		2	1,5	2418,858
		3	2,5	4031,43
	3	1	0,4	645,0288
		2	0,6	967,5432
		3	1	1612,572
2	1	1	1,2	2103,8424
		2	1,5	2629,803
		3	1,8	3155,7636
	2	1	1,6	2805,1232
		2	2	3506,404
		3	2,4	4207,6848
	3	1	1,2	2103,8424
		2	1,5	2629,803
		3	1,8	3155,7636
3	1	1	0,8	625,3832
		2	1	781,729
		3	1,2	938,0748
	2	1	1,2	938,0748
		2	1,5	1172,5935
		3	1,8	1407,1122
	3	1	2	1563,458
		2	2,5	1954,3225
		3	3	2345,187

Peluang Kerusakan

Model yang dibangun adalah model pendugaan yang mengandung unsur ketidakpastian. Oleh sebab itu, model tersebut mengandung peluang kerusakan yang diakibatkan oleh bencana letusan gunung api. Peluang kerusakan dipengaruhi oleh jarak lokasi yang diteliti terhadap pusat bencana, sehingga semakin jauh jarak lokasi yang diteliti terhadap pusat bencana akan semakin kecil nilai peluang kerusakan. Untuk beberapa nilai peluang yang digunakan dalam model ditentukan secara “*the best thought*”. Nilai peluang kerusakan ditentukan

dengan menggunakan teori dasar pada peluang seperti peluang bersyarat dan teorema bayes.

Peluang Ditemukannya Tanaman Jenis- i Berumur- j di Zona- k , $p(T_i U_j Z_k)$

Dalam penelitian ini, untuk peluang ditemukannya tanaman jenis- i berumur- j di zona- k diperoleh dari mengalikan peluang tumbuhnya tanaman jenis- i , peluang ditemukannya tanaman berumur- j dan peluang tanaman dapat tumbuh di zona- k (lihat Tabel 4), dengan asumsi bahwa kejadian tersebut saling bebas.

Tabel 4
Peluang ditemukannya tanaman jenis- i , tanaman berumur- j ,
dan tanaman di zona- k

Indeks (i, j, k)	$p(T_i)$	$p(U_j)$	$p(Z_k)$
1	0,29	0,27	0,24
2	0,49	0,41	0,33
3	0,22	0,32	0,43
Total	1	1	1

Karena kejadian T_i , U_j , dan Z_k diasumsikan adalah kejadian yang saling bebas, maka untuk mendapatkan peluang tumbuhnya tanaman jenis- i berumur- j yang berada di zona- k , $p(T_i U_j Z_k)$ dapat menggunakan formula sebagai berikut:

$$p(T_i U_j Z_k) = p(T_i) p(U_j) p(Z_k), \forall (i, j, k)$$

Nilai peluang ditemukannya tanaman jenis- i yang berumur- j di zona- k dapat dilihat di Tabel 7.

Peluang Ditemukannya Tanaman Jenis- i Berumur- j di Zona- k Jika Diketahui Rusak, $p(T_i U_j Z_k | R)$

Pada saat letusan gunung api terjadi lahar panas, lahar dingin atau abu vulkanik dapat merusak apa-apa yang dilaluinya. Tetapi terkadang tidak semua tanaman terkena, karena adanya aliran lava atau adanya arah angin tertentu. Oleh sebab itu, terdapat peluang rusak atau tidak rusaknya suatu tanaman jenis- i , tanaman berumur- j dan tanaman di Zona- k jika terkena bencana, dengan peluang rusak dari total area tanam secara keseluruhan, $p(R)$ diasumsikan sebesar 0,025 (lihat Tabel 5).

Tabel 5

Peluang rusak tanaman jenis-*i*, tanaman berumur-*j* dan tanaman di Zona-*k*

Indeks (<i>i, j, k</i>)	$p(RTi)$	$p(RUj)$	$p(RZk)$
1	0,0055	0,0125	0,0125
2	0,0145	0,0075	0,008
3	0,005	0,005	0,0045
$p(R)$	0,025	0,025	0,025

Setelah diketahui Tabel 5, dapat dihitung peluang ditemukannya tanaman jenis-*i* jika diketahui rusak, tanaman berumur-*j* yang diketahui rusak dan tanaman di zona-*k* jika diketahui rusak (lihat Tabel 6) dengan menggunakan formula peluang bersyarat sebagai berikut,

$$p(T_i|R) = \frac{p(RT_i)}{p(R)}; p(U_j|R) = \frac{p(RU_j)}{p(R)}; p(Z_k|R) = \frac{p(RZ_k)}{p(R)}$$

Tabel 6

Peluang ditemukannya tanaman jenis-*i*, tanaman berumur-*j*, dan tanaman di zona-*k* jika diketahui rusak

Indeks (<i>i, j, k</i>)	$p(Ti R)$	$p(Uj R)$	$p(Zk R)$
1	0,22	0,5	0,5
2	0,58	0,3	0,32
3	0,2	0,2	0,18
<i>total</i>	1	1	1

Dari Tabel 6 akan dicari nilai peluang ditemukannya tanaman-*i* yang berumur-*j* di zona-*k* jika diketahui rusak, $p(T_iU_jZ_k|R)$ (lihat Tabel 7). Karena kejadian T_i, U_j, Z_k merupakan bebas bersyarat R dengan diketahui bahwa R terjadi, dan dengan menggunakan aturan perkalian peluang, maka akan diperoleh $p(T_iU_jZ_k|R)$ sebagai berikut,

$$p(T_iU_jZ_k|R) = \frac{p(R)P(T_i|R)P(U_j|T_iR)P(Z_k|U_jT_iR)}{p(R)} = P(T_i|R)P(U_j|R)P(Z_k|R) , \forall (i,j,k)$$

Peluang kerusakan jika ditemukannya Tanaman Jenis-*i* yang Berumur-*j* di Zona-*k*, p_{ijk}

Dalam model pendugaan kerugian akibat letusan gunung api ini, peluang kerusakan yang digunakan adalah peluang kerusakan jika ditemukan tanaman jenis-*i* berumur-*j* di zona-*k* ($p_{ijk} = p(R|T_iU_jZ_k)$). Dengan menggunakan teorema Bayes, maka didapatkan formula peluang kerusakan sebagai berikut,

$$p_{ijk} = \frac{p(T_i U_j Z_k | R) p(R)}{p(T_i U_j Z_k)} ; \forall (i,j,k)$$

dengan $i = 1,2,3$; $j = 1,2,3$, dan $k = 1,2,3$.

Tabel 7
Nilai $p(T_i U_j Z_k)$, $p(T_i U_j Z_k | R)$ dan Peluang Kerusakan

Jenis Tanaman (i)	Kelompok Umur (j)	Zona Rawan (k)	$p(T_i U_j Z_k)$	$p(T_i U_j Z_k R)$	Peluang kerusakan p_{ijk}
1	1	1	0,018792	0,055	0,073169
		2	0,025839	0,0352	0,034057
		3	0,033669	0,0198	0,014702
	2	1	0,028536	0,033	0,028911
		2	0,039237	0,02112	0,013457
		3	0,051127	0,01188	0,005809
	3	1	0,022272	0,022	0,024695
		2	0,030624	0,01408	0,011494
		3	0,039904	0,00792	0,004962
2	1	1	0,031752	0,145	0,114166
		2	0,043659	0,0928	0,053139
		3	0,056889	0,0522	0,022939
	2	1	0,048216	0,087	0,04511
		2	0,066297	0,05568	0,020996
		3	0,086387	0,03132	0,009064
	3	1	0,037632	0,058	0,038531
		2	0,051744	0,03712	0,017934
		3	0,067424	0,02088	0,007742
3	1	1	0,014256	0,05	0,087682
		2	0,019602	0,032	0,040812
		3	0,025542	0,018	0,017618
	2	1	0,021648	0,03	0,034645
		2	0,029766	0,0192	0,016126
		3	0,038786	0,0108	0,006961
	3	1	0,016896	0,02	0,029593
		2	0,023232	0,0128	0,013774
		3	0,030272	0,0072	0,005946

Biaya Investasi

Ketika bencana letusan gunung api terjadi dan merusak tanaman di sekitar gunung api, maka biaya investasi yang telah dikeluarkan oleh petani juga hilang. Perumusan biaya investasi untuk tanaman jenis- i berumur- j akibat letusan gunung

api dilakukan dengan menjumlahkan biaya tanam untuk masing-masing tanaman dan biaya perawatan yang bergantung pada kelompok umur tanaman diformulasikan sebagai berikut,

$$C_{ij} = \text{Biaya Tanam } (C1) + \text{Biaya Perawatan } (C2) \quad (4)$$

dengan

C_{ij} = biaya investasi untuk tanaman jenis- i berumur- j ,

$C1$ = biaya tanam yang terkait dengan jenis tanaman yang ditanam, dan

$C2$ = biaya perawatan yang terkait dengan umur tanaman yang ditanam. Semakin mendekati panen semakin tinggi biaya perawatan yang harus diganti.

Untuk biaya tanam dipilih dari salah satu tanaman yang berada pada tanaman jenis- i . Biaya tanam diambil dari beberapa publikasi pribadi (*blog*) yang membahas pertanian dan bisnis dengan melakukan penyesuaian biaya per satu hektar luas tanam tanaman jenis- i . Untuk biaya perawatan, dibagi menjadi tiga bagian tergantung terhadap umur tanaman. Dan diasumsikan, untuk tanaman berumur 1 biaya perawatan dikenakan sebesar 25% dari biaya tanam, biaya perawatan tanaman berumur 2 dikenakan 50% dari biaya tanam dan biaya perawatan tanaman berumur 3 dikenakan sebesar biaya tanam. Sehingga, biaya investasi untuk masing tanaman jenis- i yang berumur- j dapat dilihat pada Tabel 8 berikut,

Tabel 8
Biaya Perbaikan tanaman i yang berumur j yang berada di zona k

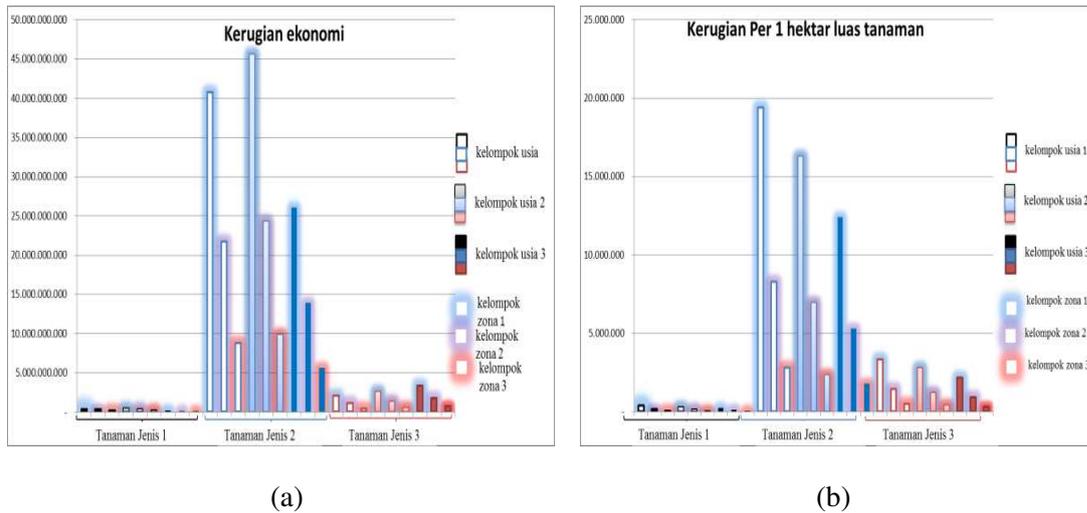
Jenis Tanaman (i)	Kelompok Umur (j)	Biaya Tanam (dalam juta rupiah)	Biaya perawatan (dalam juta rupiah)	Total Biaya (dalam juta rupiah)
1	1	6	1,5	7,5
	2	6	3	9
	3	6	6	12
2	1	112,5	28,125	140,625
	2	112,5	56,25	168,75
	3	112,5	112,5	225
3	1	30	7,5	37,5
	2	30	15	45
	3	30	30	60

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Model

Dengan menggunakan persamaan (2) dan data luas, nilai peluang serta biaya investasi untuk masing-masing tanaman- i yang berumur- j terdapat pada zona- k

yang berturut-turut terdapat pada tabel 3, 7 dan 8 maka didapatkan kerugian untuk masing-masing jenis tanaman jenis- i yang berumur- j yang berada pada zona- k (Gambar 1a). Dengan menggunakan persamaan (2) dan dengan mengubah A_{ijk} menjadi 1 ha untuk setiap i, j, k , serta nilai peluang dan biaya investasi yang sama, maka akan diperoleh kerugian yang dialami per hektar luas tanaman (Gambar 1b).



Gambar 1 Grafik (a) kerugian keseluruhan, (b) kerugian per satu hektar luas tanam yang dialami oleh masing-masing jenis tumbuhan, kelompok umur dan zona rawan bencana.

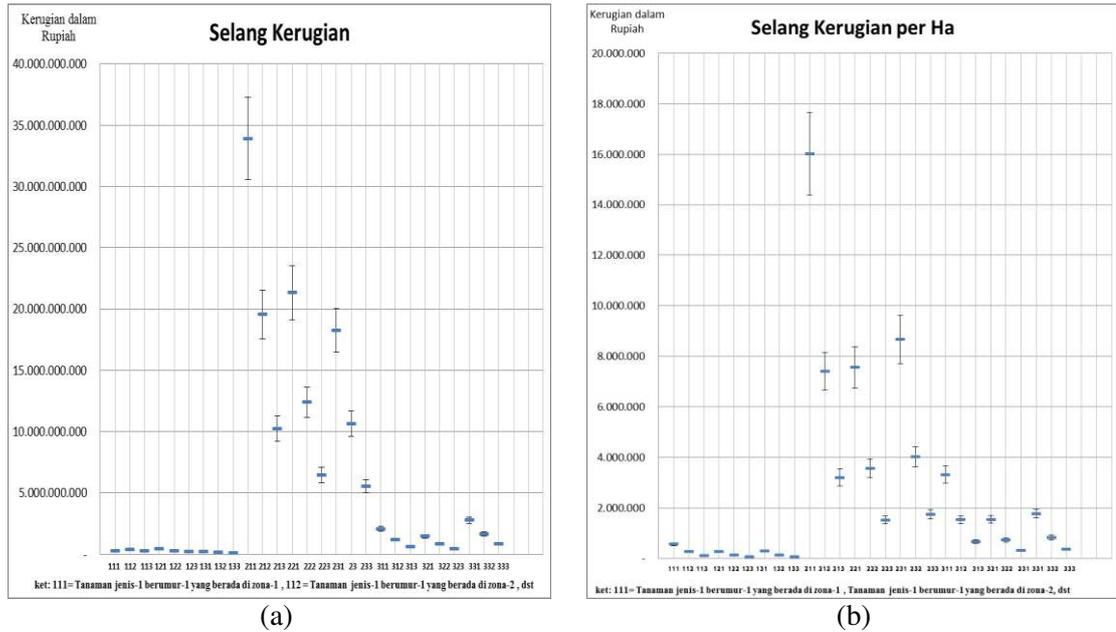
Dari model pendugaan yang dibangun, diperoleh kerugian total yang dialami oleh masing-masing tanaman jenis- i yang berumur- j yang berada di zona- k (Gambar 1a). Nilai kerugian total ini diharapkan dapat membantu pemerintah pusat dalam penyediaan dana untuk biaya pergantian kerugian pasca erupsi. Selain kerugian secara total, dengan model pendugaan ini juga bisa didapatkan kerugian per satu hektar luas tanaman untuk masing-masing tanaman jenis- i yang berumur- j yang berada di zona- k (Gambar 1b). Nilai kerugian per satu hektar luas tanam tanaman ini diharapkan dapat membantu pemerintah tingkat lokal untuk mengganti kerugian yang dialami oleh masing-masing petani yang mengalami kerugian. Petani dapat memberikan luasan tanaman yang dimilikinya kepada pemerintah tingkat lokal, maka pemerintah tingkat lokal dapat menghitung kerugian yang dialami oleh petani tersebut.

Simulasi Model

Di dalam model ini terdapat faktor ketidakpastian yaitu peluang kerusakan yang dialami oleh jenis tanaman jenis- i yang berumur- j dan terletak pada zona- k . Oleh karena itu akan dibangkitkan suatu data yang menyebar normal disekitar nilai kerugian sehingga didapatkan nilai rata-rata dan standar deviasi kerugian.

Jadi, nilai kerugian bukan berada pada suatu nilai tertentu, tetapi nilai kerugian berada pada suatu selang kerugian.

Dengan menggunakan *Microsoft Excel* untuk membangkitkan 200 data yang menyebar normal disekitar nilai kerugian maka didapatkan selang kerugian untuk masing-masing jenis tanaman jenis- *i* yang berumur-*j* dan berada pada zona-*k*.



Gambar 2 Grafik selang (a) kerugian keseluruhan, dan (b)kerugian per hektar yang dialami oleh masing-masing jenis tumbuhan, kelompok umur dan zona rawan bencana

Dari simulasi model ini didapatkan selang nilai kerugian keseluruhan (Gambar 2a) dan selang nilai kerugian per satu hektar luas tanam tanaman (Gambar 2b). Selang ini dimaksudkan agar ketika pemerintah akan menyediakan dana pasca erupsi, akan diambil biaya kerugian pada batas atas selang. Agar dana yang akan diberikan ke lapangan tidak mengalami kekurangan. Nilai kerugian pada batas atas selang juga dapat membantu pemerintah untuk merencanakan anggaran biaya pergantian untuk daerah yang rawan terkena bencana erupsi gunung api.

Untuk mendapatkan hasil pendugaan yang mendekati hasil kerugian yang sebenarnya diperlukan data-data luas dan biaya investasi yang sebenarnya untuk setiap tanaman jenis-*i* berumur-*j* yang berada di zona-*k*. Dan untuk kerugian keseluruhan atau kerugian yang dialami per 1 hektar luas tanam, jika ingin di aplikasikan untuk daerah lain yang memiliki indeks kemahalan yang berbeda maka hasil tersebut harus dikalikan dengan indeks kemahalan masing-masing daerah.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan tujuan dari penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan antara lain,

1. Model matematika yang dikembangkan oleh *International Center of Geohazard* (ICG), melalui NOR SAR (Norwegia) dan *University of Alicante* (Spanyol) untuk menduga kerugian yang diakibatkan oleh gempa bumi dapat dikembangkan menjadi model pendugaan kerugian akibat bencana gunung api khusus di bidang pertanian melalui proses kalibrasi, walaupun proses kalibrasi di dalam karya ilmiah ini tidak dilakukan secara rinci,
2. Dalam analisis model didapatkan bahwa nilai kerugian yang bisa didapatkan dari model pendugaan ini adalah nilai kerugian secara keseluruhan, dan nilai kerugian yang dialami per hektar luas tanaman, dan
3. Dengan menggunakan simulasi model, didapatkan rentang kerugian keseluruhan dan rentang kerugian per satu hektar tanam untuk masing-masing tanaman jenis-*i* berumur-*j* yang berada di zona-*k*.

Saran

Penelitian ini adalah penelitian awal yang dilakukan oleh penulis sehingga diperlukan penelitian selanjutnya untuk menghasilkan nilai kerugian yang lebih akurat. Penulis menyarankan beberapa hal yang perlu dilakukan untuk penelitian selanjutnya, yaitu

1. Untuk dapat menggunakan model pendugaan kerugian ini ada beberapa data yang harus dicari dilapangan, antara lain peluang ditemukannya dan peluang rusaknya tanaman jenis-*i*, tanaman berumur-*j*, tanaman yang berada di zona-*k*, dan data luas area tanam untuk masing-masing tanaman jenis-*i* berumur-*j* yang berada di zona-*k*, serta data biaya investasi untuk masing-masing tanaman jenis-*i* berumur-*j*. Untuk penentuan peluang kerusakan dan biaya investasi akan lebih baik jika ketersediaan data dilapangan memadai sehingga menghasilkan hasil yang lebih mendekati keadaan sebenarnya,
2. Untuk pembagian jenis tanaman bisa dilakukan lebih spesifik dan untuk biaya investasi lebih baik jika ditambahkan biaya perkiraan keuntungan, dan
3. Model ini bisa dikembangkan untuk masalah bencana alam yang lain, seperti tanah longsor.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Nasional Penanggulangan Bencana [BNPB].2011. Rencana Aksi Rehabilitasi dan Rekonstruksi Pascabencana Erupsi Gunung Merapi Provinsi D.I Yogyakarta dan Provinsi Jawa Tengah Tahun 2011-2013. Jakarta: Badan Nasional Penanggulangan Bencana.

- [2] Irsyam M, Dangkoa DT, Hendriyawan, Hoedajanto D, Hutapea BM, Kertapati E K, Boen T, Petersen M D . 2008. Proposed seismic hazard maps of Sumatra and Java islands and microzonation study of Jakarta city, Indonesia. *J Earth Syst Sci.* 117(2): 865-878.
- [3] Kardono P, Hermana, Zuliasri N, Hartje R, Lestari L, Sulistyowati, Suprpto, Maulidhini N, Edi S. 2010. *Data Bencana 2009*. Jakarta: Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB)
- [4] Molina S, Lang DH, dan Lindholm CD. 2010. SELENA: An open source risk and loss assessment using a logic tree computation procedure. *Computers and Geosciences.* 36:257-269. doi: 10.1016/j.cageo.2009.07.006.
- [5] Ruslan K. 2011. Indonesia, Negara Agraris Pengimpor Pangan [internet]. Jakarta: kompasiana. [diunduh pada 2014 januari 14]. Tersedia pada: <http://ekonomi.kompasiana.com/agrobisnis/2011/08/15/indonesia-negara-agraris-pengimpor-pangan-386787.html>
- [6] Westen CV. 2009. *Multi-Hazard Risk Assessment-Guide Book*. Nederland: United National University.

