

**PEMODELAN RESIKO BANJIR LAHAR HUJAN PADA ALUR KALI PUTIH
KABUPATEN MAGELANG**

(“Risk Modelling of Lahar Hazard in Kali Putih, Magelang”)

Fahrul Hidayat¹ dan Iwan Rudiarto²

¹Mahasiswa Jurusan Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

email : pahrul.hdyt@gmail.com

Abstrak: Salah satu gunung berapi aktif di Indonesia adalah Gunung Merapi. Tercatat telah mengalami 84 kali peristiwa hingga tahun 2010 dengan rata – rata erupsi adalah 5 tahun sekali. Rangkaian peristiwa pada bencana erupsi gunung berapi tidak dapat dipisahkan dari kerusakan dan kerugian. Peristiwa erupsi Merapi tahun 2010/2011 mengakibatkan kerusakan dan kerugian sebesar Rp 471.468.280.000 dan Rp 417.548.740.000. Salah satu penyebabnya adalah banjir lahar hujan di beberapa alur sungai yang telah merusak banyak infrastruktur, rumah penduduk hingga lahan pertanian. Rangkaian tersebut masih mungkin terjadi yang berarti resiko kerusakan dan kerugian juga masih mungkin khususnya di daerah aliran sungai. Oleh karena itu dilakukan penelitian terhadap resiko banjir lahar hujan di salah satu alur sungai yakni Kali Putih sebagai pengembangan model yang telah ada. Model resiko bersifat dinamis dan selalu memerlukan pembaharuan data agar semakin akurat. Pemodelan resiko tersebut menggunakan tiga komponen utama yakni tingkat bahaya banjir lahar hujan, tingkat kerentanan (fisik, sosial budaya & ekonomi) dan kapasitas. Metode yang digunakan adalah kuantitatif berupa analisis skoring dan overlay terhadap semua variabel yang telah dimasukkan dalam unit spasial administrasi dusun dengan Sistem Informasi Geografis. Didapatkan tingkat resiko 54 dusun terhadap 2 kejadian banjir lahar dingin yang berbeda. Resiko Eksisting (banjir lahar 2010/2011): 2% resiko sangat tinggi, 20% resiko tinggi, 35% resiko sedang, 26% resiko agak rendah, dan 17% resiko sangat rendah. Sedangkan Resiko Prediksi (banjir lahar hasil pemodelan HEC-RAS): 2% resiko sangat tinggi, 20% resiko tinggi, 33% resiko sedang, 28% resiko agak rendah, dan 17% resiko sangat rendah. Setelah dibandingkan dengan hasil pemodelan yang lama (penelitian KESDM & BNPB, 2012), ternyata memiliki perbedaan yang dipengaruhi oleh masukan variabel, skala penilaian dan data yang berbeda.

Kata Kunci : model resiko, banjir lahar hujan , SIG

Abstract: Mount Merapi is one of the most dangerous volcano in Indonesia. Noted, it have 84 times of eruption until 2010 in 5 times/year of average. Every eruption bring damage and loss. The tragedy of Merapi eruption 2010 caused the damage and loss in rupiahs is 471 billion and 417 billion. For example, the lahar hazard in river flows have few destroyed much infrastructure, housing and farmland. The series is still likely to occur, which means that the risk of damage and loss is also still possible especially in watersheds. Therefore conducted research on the risk of a flood of volcanic debris in one i.e. river flow Times white as the development model that has been in existence. The risk model is dynamic and always requires a renewal of data to get the results that approached the surreal. The risk modelling using three main components namely the flood danger level, the level of vulnerability of lahar hazard (physical, cultural and social & amp; economic) and capacity. The method used is a quantitative with spatial analysis and scoring (overlay) at the hamlet of administrative units with Geographical Information Systems against all variables suitable criteria. The level of risk taken 54 of hamlet, against 2 lahar hazard. Existing risks (2010/2011): 2% is very high risk, 20% high risk, 35% were at risk, 26% the risk is rather low, and 17% very low risk. Whereas the risk Prediction (the lava flood modelling results using HEC-RAS): 2% very high risk, 20% high risk, 33% were at the risk, 28% the risk is rather low, and 17% very low risk. After modeling results compared to the old one (the KESDM & BNPB research, 2012), it has the distinction of being influenced by input of variables, the scale of assessments and the data update.

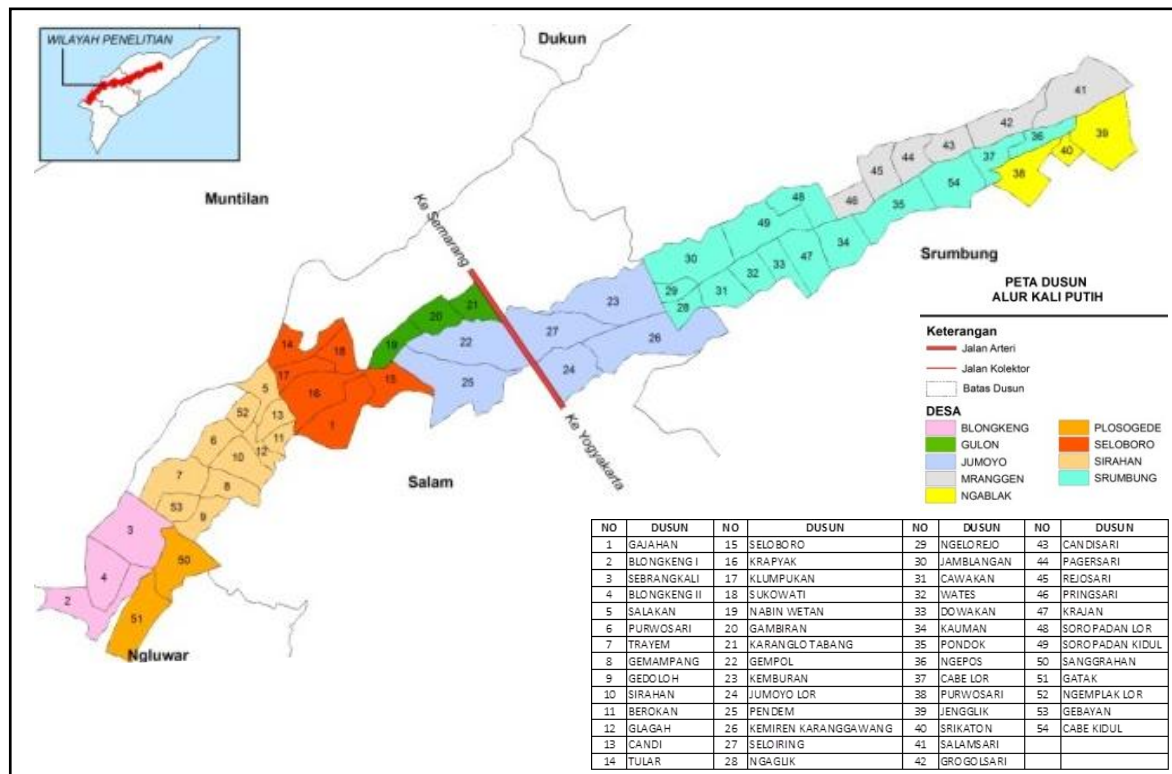
Keywords : risk modelling, lahar hazard, GIS

PENDAHULUAN

Salah satu bencana alam yang masih menjadi permasalahan serius bagi Negara Indonesia adalah rangkaian peristiwa erupsi gunung berapi. Data menunjukkan bahwa Indonesia memiliki 129 gunung berapi yang tersebar hampir di semua pulau (ESDM, 2009). Suatu rangkaian peristiwa erupsi terdiri dari hujan abu, keluarnya awan panas, lava pijar, lahar panas dan banjir lahar dingin. Banjir lahar dingin terjadi ketika turun curah hujan dengan intensitas tinggi bercampur dengan material lepas gunung berapi hingga membentuk aliran. Meskipun material lahar tersusun atas abu gunung berapi dan fragmen batuan, tetapi banjir lahar mampu mengalir lebih deras dan lebih cepat jika dibandingkan dengan aliran air biasa (Daryono, 2011). Sehingga banyak kerusakan yang lebih dahsyat di beberapa kasus banjir lahar dingin. Misalnya adalah banjir lahar dingin pada Letusan kecil Gunungapi Nevado del Ruiz di Columbia tahun 1985 menewaskan lebih dari 23.000 orang (Daryono, 2011). Contoh lain

adalah putusnya jembatan pada jalur utama Magelang – Yogyakarta karena banjir lahar dingin pada erupsi Gunung Merapi tahun 2010 yang berdampak pada kekacauan transportasi. Jumlah kerusakan dan kerugian yang ditimbulkan oleh bencana letusan tersebut adalah Rp. 4,23 trilyun (BNPB, 2011).

Hal tersebut di atas mendasari dilakukannya penelitian terhadap resiko bencana banjir lahar dingin. Dengan mengetahui model resiko, diharapkan dapat meminimalkan kerusakan dan kerugian akibat banjir lahar dingin serta sebagai masukan dalam perencanaan tata ruang di daerah rawan bencana. Batasan wilayah penelitian adalah unit spasial yang berupa batas administrasi dusun terdampak banjir lahar dingin Alur Kali Putih tahun 2010 - 2011 dan perkiraan maksimum 270 meter dari bibir sungai. Dasar yang digunakan sebagai pemilihan wilayah penelitian bersumber dari BNPB dan BPPTK. Dusun – dusun tersebut berada di desa Srumbung, Jumoyo, Seloboro, Blongkeng, Gulon dan Sirahan (**Gambar 1**).



Sumber: Penyusun, 2013

GAMBAR 1
ORIENTASI WILAYAH PENELITIAN

Untuk memudahkan proses pemodelan resiko banjir lahar dingin di Alur Kali Putih tersebut, digunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) sebagai alat bantu. SIG digunakan mulai dari verifikasi data, proses analisis hingga simulasi banjir lahar dingin. Hal itu diharapkan dapat mengetahui *bagaimana proses dan model resiko bencana banjir lahar dingin di daerah sepanjang alur sungai Kali Putih apabila dibandingkan dengan model resiko yang ada.*

TINJAUAN PUSTAKA

Bencana Banjir Lahar Hujan

Bencana dapat disebabkan oleh kejadian alam maupun oleh ulah manusia. Faktor-faktor yang dapat menyebabkan bencana yang tercantum dalam Rencana Aksi Nasional Pengurangan Risiko Bencana 2006-2009 (RAN-PRB) antara lain : 1) Bahaya alam dan bahaya karena ulah manusia yang dapat dikelompokkan menjadi bahaya geologi, bahaya hidrometeorologi, bahaya biologi, bahaya teknologi dan penurunan kualitas lingkungan; 2) Kerentanan yang tinggi dari masyarakat, infrastruktur serta elemen-elemen di dalam kota/kawasan yang berisiko bencana; 3) Kapasitas yang rendah dari berbagai komponen di dalam masyarakat.

Banjir lahar hujan merupakan bahaya sekunder dari peristiwa bencana erupsi gunung berapi. Terjadi banjir karena dipengaruhi oleh salah satu faktor yakni curah hujan. Sebagai penentu besar kecilnya lahar hujan adalah volume air hujan (curah hujan) yang turun di atas daerah endapan abu gunung api dan volume endapan gunung api yang mengandung abu sebagai sumber material pembentuk lahar (Noor, 2006 : 244). Sifat aliran lahar hujan berbeda dengan aliran air. Aliran lahar hujan bersifat pasif, dengan tali arus relatif berpola lurus sehingga sulit untuk mengikuti pola saluran sungai yang berkelok-kelok (Santosa, 2011).

Bencana dalam Penataan Ruang

Refleksi dari sejarah kebencanaan banjir, gunungapi, gerakan tanah, gempa dan tsunami yang pernah terjadi di Indonesia sudah harus benar-benar dijadikan pelajaran, bahwa bencana yang pernah berlangsung

akan kembali lagi di lokasi yang hampir sama dengan intensitas kekuatan yang berbeda dengan waktu kejadian tidak pasti (Siregar, 2013). Paradigma pembangunan tata ruang lingkungan yang humanis sudah harus memadukan semua aspek kebencanaan dalam suatu tata ruang kota ataupun wilayah (Siregar, 2013).

Kajian Resiko Bencana

Resiko bencana merupakan kemungkinan konsekuensi kerugian, atau perkiraan kehilangan (korban jiwa, luka, aset, livelihoods, terganggunya aktivitas ekonomi, maupun kerusakan lingkungan) yang merupakan hasil dari keterkaitan antara bahaya alam maupun manusia dan kondisi rentan (*United Nations International Strategy for Disaster Reduction/UNISDR, 2004*).

Saat ini banyak berkembang model resiko bencana seiring dengan berkembangnya penelitian terkait resiko bencana baik di dalam negeri maupun internasional. Berdasarkan banyak model dan komponen resiko, dipilihlah 4 komponen yakni Bahaya, Probabilitas, Kerentanan, dan Kapasitas, dimana :

$$\text{Resiko} = \text{Bahaya} \times (\text{kerentanan/kapasitas})$$

Sumber : Sintesis Penyusun, 2012

GAMBAR 2 FORMULA ANALISIS RESIKO BENCANA

Konsep dan Pemodelan SIG

Berdasarkan fungsi-fungsi dari SIG, Prahasta (2005) menarik kesimpulan bahwa SIG menjadi teknologi sebagai alat bantu yang sangat esensial dalam menyimpan, memanipulasi, menganalisis, dan menampilkan kembali kondisi alam dengan bantuan data atribut dan spasial. Pemodelan menjadi salah satu fungsi utama dalam SIG baik untuk aplikasi di bidang perencanaan, sumberdaya alam, lingkungan, pertahanan, dan lainnya (Prahasta, 2005).

Salah satu analisis spasial yang digunakan adalah *spatial overlay* khususnya

overlay dengan metode WLC (*Weighted Linear Combination*). Prahasta (2009) menyatakan bahwa overlay merupakan fungsional analisis yang menghasilkan layer data spasial yang baru dari hasil kombinasi minimal dua layer yang menjadi masukannya. Tahapan yang harus dilakukan menurut Malczewski 1999 (dalam Sugumaran dan Degroote, 2011):

- 1) Penentuan kriteria evaluasi atau layer peta;
- 2) Pemberian standar bagi setiap layer yang sudah memiliki kriteria;
- 3) penentuan bobot kriteria;
- 4) Membangun layer peta yang telah memiliki bobot maupun kriteria;
- 5) pemberian skor total (menjumlahkan semua layer yang telah memiliki bobot & kriteria) ;
- 6) Pemberian ranking pada tiap skor agar menunjukkan tingkatan pada hasil overlay.

METODE PENELITIAN

Penelitian yang akan dilakukan menggunakan metode kuantitatif berupa pemodelan secara keruangan menggunakan SIG. Berikut ini adalah tahapan analisis, teknik analisis, dan data yang digunakan dalam penelitian.

1. Tahapan dan Teknik Analisis

Tahapan dan teknik analisis dalam pemodelan resiko banjir lahar dingin di Alur Kali Putih adalah sebagai berikut :

a. Analisis Kerusakan dan Kerugian akibat Erupsi Merapi 2010 (sebagai justifikasi) : menggunakan analisis deskriptif kuantitatif terhadap data numerik kerusakan dan kerugian.

b. Analisis Bahaya Banjir Lahar Dingin Alur Kali Putih (kejadian 2010/2011 dan kejadian prediksi) : Menggunakan analisis Hidrolika Sungai dengan perangkat lunak HEC-RAS untuk menentukan prediksi limpasan.

Data Geometri Sungai : **1)** Data koordinat tebing sungai yang ditinjau untuk menyusun skematisasi sungai; **2)** Posisi titik percabangan sungai dan lokasi titik pantau debit; **3)** Data potongan memanjang sungai yang meliputi jarak memanjang pada as, tebing kiri dan tebing kanan, elevasi dasar tebing kiri dan tebing kanan; **4)** Data *cross section* sungai dari muara ke arah hulu yang diambil dari hasil pengukuran

topografi; **5)** Posisi batas palung sungai (tebing kiri dan tebing kanan) pada data *cross section*; **6)** Koefisien *Manning* (n) pada palung dan bantaran sungai.

TABEL I
KOEFISIEN MANNING DARI BEBERAPA BAHAN GROUND COVER

| Kondisi <i>Ground Cover</i> | n_d |
|--|-------|
| Cement concrete and asphalt concrete | 0,013 |
| Smooth and impervious surface | 0,02 |
| Smooth and tight surface | 0,10 |
| Poor grassland, cultivated land and bare lot with a suitable surface roughness | 0,20 |
| Meadow land and ordinary grassland | 0,40 |
| Deciduous forest land | 0,60 |
| Coniferous forest land, and deciduous forest land with dense or sparse undergrowth | 0,80 |

Sumber: Erik Tate (1999) dalam Syawal (2010)

Debit banjir prediksi :

Menggunakan data debit (Q) sesuai dengan titik pantau debit pada alur sungai.

$$Q = \text{debit air (m}^3/\text{dt)}$$

Setelah didapatkan limpasan, analisis selanjutnya adalah penilaian (skoring & pembobotan) dan *overlay baik untuk kejadian banjir tahun 2010/2011 maupun prediksi.*

Ketentuan Penilaian Bahaya :

Skala skor = 1-5 (semakin tinggi skor, semakin bahaya)

*) *Asumsi bobot*

angka 1-4 (1 : tidak begitu signifikan, 2 : sedang, 3 : signifikan, 4 : sangat signifikan)

**) *ketentuan interval*

$$\text{interval kelas} = \frac{X_t - X_r}{k}$$

Xt : nilai tertinggi

Xr : nilai terendah

K : Jumlah kelas yang diinginkan

c. Analisis Kerentanan Fisik, Sosial Budaya, dan Ekonomi

Teknik analisis yang digunakan adalah penilaian (skoring & pembobotan) dan *overlay (Weighted sum)*

Ketentuan Penilaian Kerentanan :

Skala skor = 1-5 (semakin tinggi skor, semakin rentan)

Asumsi bobot = *) *Asumsi bobot*

*Interval kelas = lihat *) ketentuan interval*

d. Analisis Kapasitas Kelembagaan

Teknik analisis adalah deskriptif, penilaian (skoring & pembobotan) dan *overlay*.

Ketentuan Penilaian Kapasitas :

Skala skor = 1-5 (semakin tinggi skor, kapasitas semakin rendah)

Asumsi bobot = *) *Asumsi bobot*

*Interval kelas = lihat *) ketentuan interval*

e. Analisis Resiko Banjir Lahar Dingin Alur Kali Putih (eksisting dan prediksi)

Teknik analisis yang digunakan adalah penilaian (skoring & pembobotan) dan *overlay*. *Overlay* yang digunakan adalah *Weighted sum* dengan variabel kerentanan dan bahaya (eksisting dan prediksi).

Ketentuan Penilaian Resiko :

Skala nilai = 1-5 (semakin tinggi nilai, semakin beresiko)

*Interval kelas = lihat *) ketentuan interval*

2. Data yang Digunakan

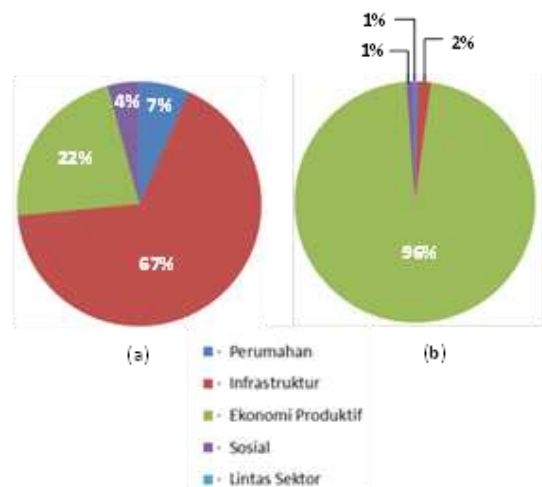
Data untuk melakukan analisis diatas adalah sebagai berikut :

- a. **Data variabel fisik** (Penggunaan Lahan, letak geografis perumahan terhadap sungai, konstruksi rumah tidak layak, kepadatan rumah, fasilitas umum, fasilitas penahan banjir, saluran irigasi & drainase, jaringan jalan, jaringan listrik & telekomunikasi).
- b. **Data variabel sosial** (kepadatan penduduk, kelompok ketergantungan, persen penduduk wanita, mata pencaharian penduduk, mitigasi bencana oleh penduduk, pemahaman bencana dan sistem kekerabatan penduduk).
- c. **Data variabel ekonomi** (tingkat kemiskinan penduduk dan pendapatan dusun)
- d. **Data kapasitas kelembagaan**
- e. **Data peta digital Alur Kali Putih** (skala tingkat dusun)
- f. **Data peta digital geometri Kali Putih**
- g. **Data peta digital jalan di Alur Kali Putih**
- h. **Data peta ketinggian/DEM → ASTRGDEM** (resolusi spasial 30 m)
- i. **Data persebaran keruangan banjir lahar dingin 2010/2011**
- j. **Debit prediksi** (hasil penelitian debit Kali Putih kala ulang 50 tahun)
- k. **Data peta penggunaan lahan 2013 yang sudah diverifikasi**

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kerusakan dan Kerugian akibat Erupsi Merapi 2010

Salah satu dampak dari banjir lahar hujan tidak adalah kerugian secara ekonomi (materi). Kerugian materi dapat diperkirakan dengan mengubah besaran kerusakan – kerusakan fisik, berhentinya produktivitas, dan juga hilangnya lapangan pekerjaan menjadi satuan mata uang yakni rupiah. Menurut data Pemkab Magelang kerugian akibat erupsi dan banjir lahar dingin mencapai Rp 1,48 triliyun. Contohnya adalah dari kerusakan 35 dari total 244 dam sabo dan rusaknya 3.630 hektar lahan pertanian di Kecamatan Ngluwar, Salam, Srumbung, Muntilan, Sawangan, dan Mungkid. Hal di atas hanyalah beberapa contoh kerusakan dalam sektor tertentu. Pada umumnya dibagi menjadi 5 sektor yang dapat dilihat pada **GAMBAR 3**. Dengan berdasarkan pada besarnya kerusakan dan kerugian akibat Peristiwa Erupsi Merapi tersebut, analisis resiko dilakukan



Sumber: Penyusun, 2013

GAMBAR 3
PERSENTASE (a) KERUSAKAN, DAN (b) KERUGIAN
AKIBAT ERUPSI MERAPI 2010/2011

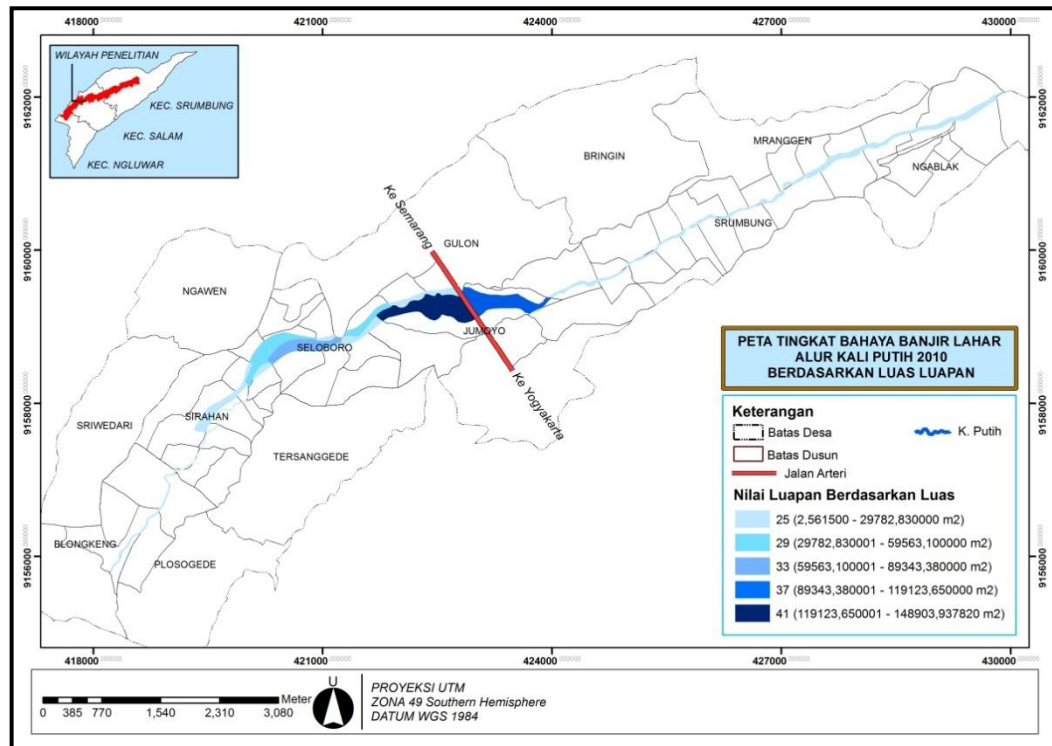
menggunakan metode pemodelan. Bertujuan agar tingkat kerusakan dan kerugian dapat diminimalkan dengan mengetahui model resiko tiap wilayah terlebih dahulu. Jadi, pentingnya melakukan analisis resiko tersebut

merupakan turunan dari besarnya dampak yang ditimbulkan baik itu dalam hal materi maupun tidak.

2. Bahaya Banjir Lahar Dingin Alur Kali Putih
a. Kejadian Tahun 2010/2011

Data Luapan banjir 2010/2011 yang digunakan bersumber dari BNPB & ESDM,

namun dilakukan verifikasi dengan *google imaging* terlebih dahulu. Setelah dilakukan penilaian bahaya banjir berdasarkan luas luapan (m²), didapatkan tingkat bahaya. Dsn. Gempol bernilai 41 (**GAMBAR 4**), Sesuai dengan kondisi kerusakan yang terjadi pada peristiwa 2010/2011 dimana Dsn. Gempol mengalami kerusakan paling parah.



Sumber: Penyusun, 2013

GAMBAR 4
PETA TINGKAT BAHAYA BANJIR LAHAR HUJAN ALUR KALI PUTIH TAHUN 2010

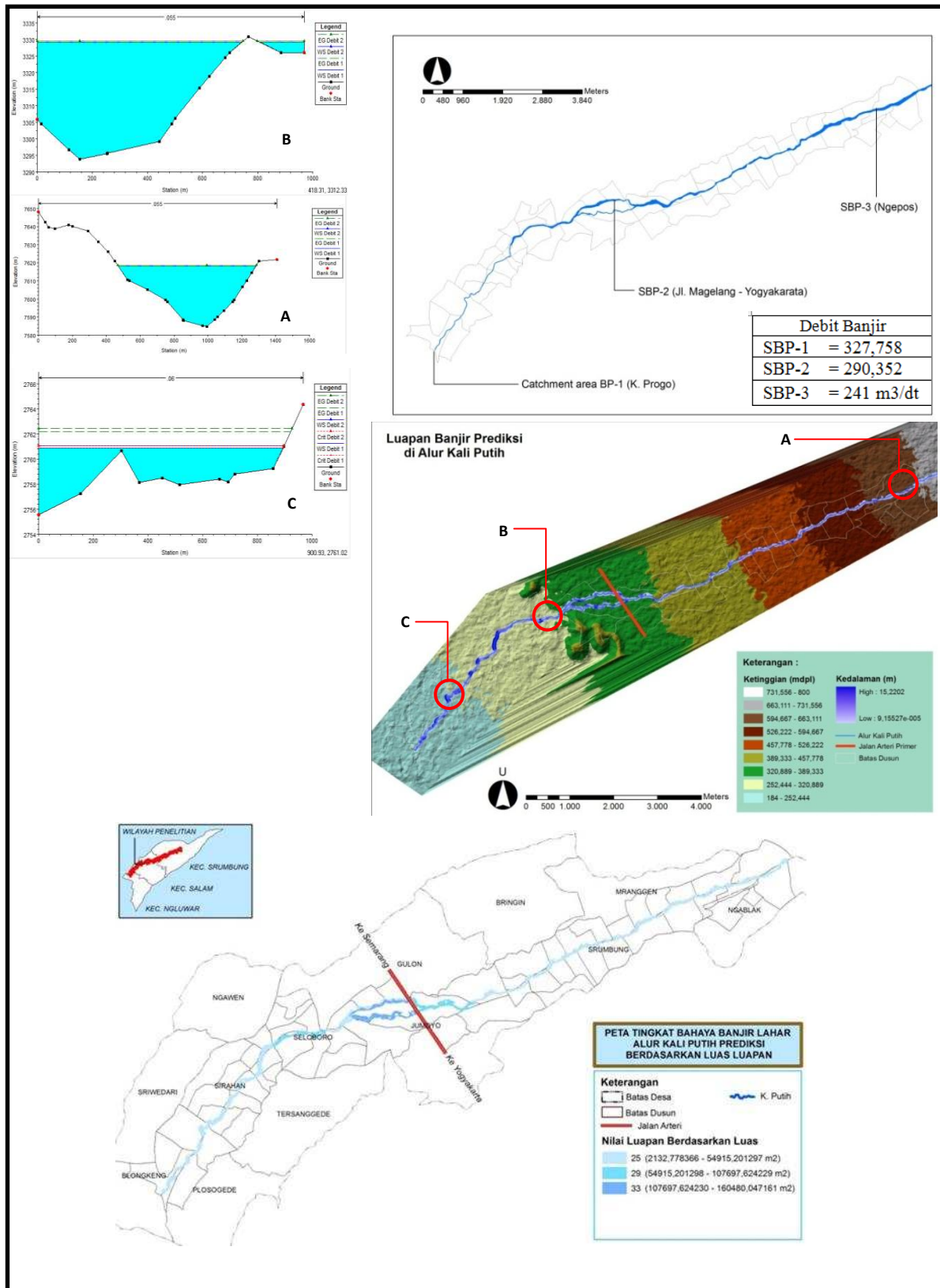
b. Kejadian Prediksi

Luapan banjir prediksi didapatkan dari pemodelan Hidrolika Sungai. Pemodelan tersebut hanya menggunakan perangkat lunak HEC-RAS dikarenakan keterbatasan data dan keterbatasan akses terhadap perangkat lunak khusus pemodelan lahar yakni LAHARZ.

Debit yang digunakan adalah debit hasil penelitian hasil penelitian Dampak Bencana Aliran Lahar Dingin Gunung Merapi Pasca Erupsi di Kali Putih oleh Suyitno Hadi Putro (2011) yang menggunakan metode Rasional dan Hasper untuk menghitung debit banjir

kala ulang 50 tahun dan hasil pemodelan limpasan. (**GAMBAR 5**).

Seperti halnya penilaian terhadap luapan banjir lahar tahun 2010/2011, parameter yang digunakan untuk menilai adalah menurut BNPB dan perhitungan interval sesuai dengan tingkat luas luapan banjir. Setelah dilakukan prediksi, dihasilkan luas luapan di Alur Kali Putih. Tetapi yang menjadi kekurangan dalam perkiraan debit tersebut adalah tidak memperhitungkan material lain selain air sungai.



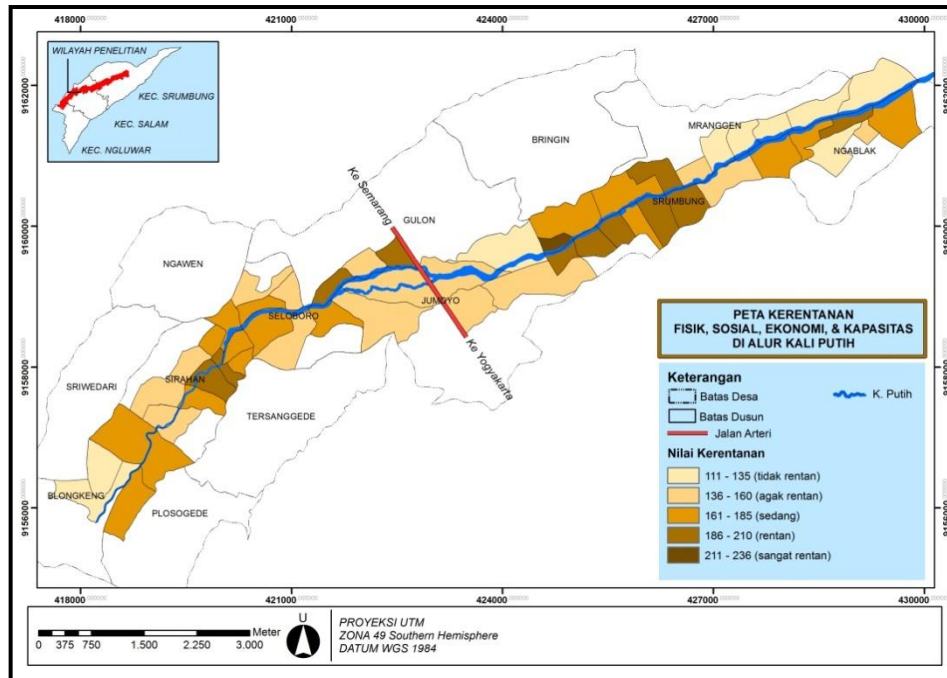
Sumber: Penyusun, 2013

GAMBAR 5
HASIL PEMODELAN LIMPASAN BANJIR LAHAR HUJAN

3. Kerentanan Fisik, Sosial Budaya, Ekonomi, dan Kapasitas

Kerentanan fisik, sosial budaya, ekonomi, dan kapasitas didapat dari overlay terhadap peta kerentanan fisik, sosial budaya dan ekonomi yang kemudian di *overlay* kan lagi dengan kapasitas dengan ketentuan kapasitas berbanding terbalik dengan fisik, sosial budaya, dan ekonomi.

Setelah dilakukan analisis, didapatkan nilai kerentanan fisik, sosial budaya, dan ekonomi terendah adalah 111 dan tertinggi adalah 236. Kelas kerentanan fisik, sosial budaya, dan ekonomi dibagi menjadi 5 (**GAMBAR 6**) yakni sebagai berikut : sangat rentan 2%, rentan 20 %, sedang 31 %, agak rentan 30%, tidak rentan 16 %.



Sumber: Penyusun, 2013

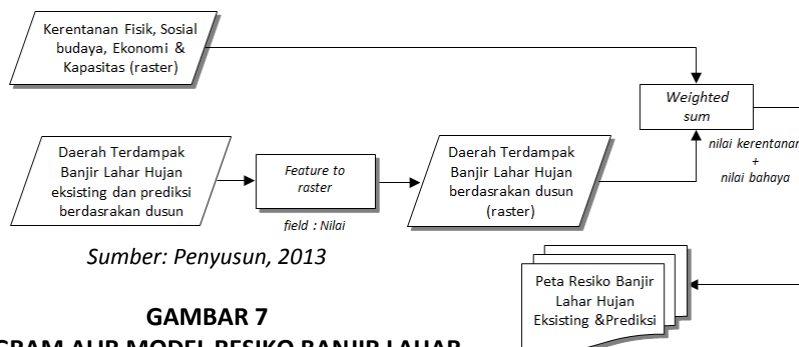
GAMBAR 6

PETA KERENTANAN FISIK, SOSIAL BUDAYA, EKONOMI, DAN KAPASITAS DI ALUR KALI PUTIH

4. Resiko Banjir Lahar Dingin Alur Kali Putih

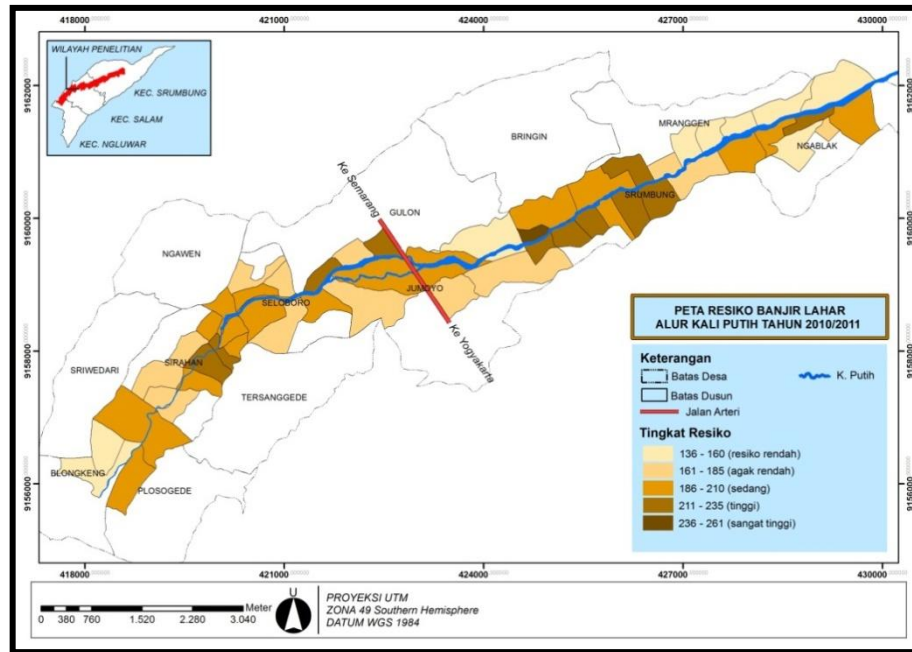
Tingkat resiko didapatkan dari overlay terhadap komponen kerentanan (fisik, sosial budaya, ekonomi) dan kapasitas serta tingkat bahaya (eksisting dan prediksi) (**GAMBAR 7**).

Hasil analisis (**GAMBAR 8**) menunjukkan perbedaan tingkat resiko yang mungkin terjadi walaupun tidak signifikan. Hal itu dikarenakan perbedaan bahaya yang tidak begitu berarti.

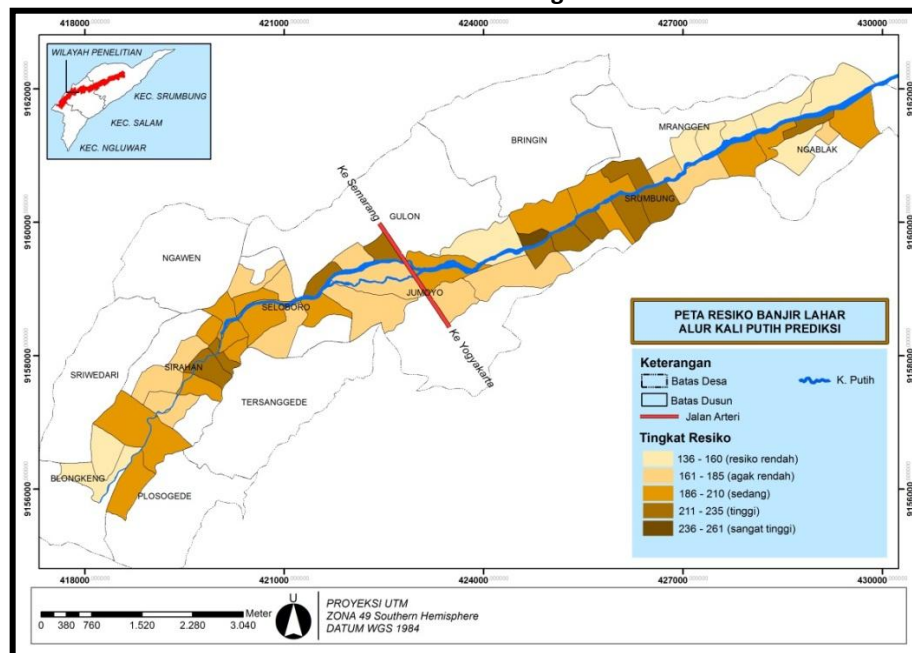


GAMBAR 7

DIAGRAM ALIR MODEL RESIKO BANJIR LAHAR HUJAN DI ALUR KALI PUTIH



a. Resiko Eksisting



b. Resiko Prediksi

Sumber: Penyusun, 2013

GAMBAR 8
PETA RESIKO BANJIR LAHAR HUJAN DI ALUR KALI PUTIH

KESIMPULAN & REKOMENDASI

Kesimpulan

- Apabila nilai variabel fisik, sosial budaya, ekonomi semakin besar dan kapasitas semakin kecil maka akan semakin rentan suatu dusun.

- Meskipun dengan kondisi kerentanan yang sama tapi menghadapi kejadian bahaya yang berbeda ternyata resiko yang mungkin terjadi juga berbeda persebarannya. Hal itu dipengaruhi oleh tingkat bahaya yang mengancam. Semakin besar bahaya akan semakin signifikan.

- Setelah dibandingkan dengan hasil pemodelan yang lama (penelitian KESDM & BNPB, 2012), ternyata memiliki perbedaan yang dipengaruhi oleh masukan/input variabel, penggunaan skala penilaian yang berbeda, dan penggunaan data yang berbeda (*updating data*).

Rekomendasi

- Pemodelan merupakan salah satu alternatif proses dalam melakukan pengambilan keputusan disaat sistem nyata sulit dilakukan karena pemodelan lebih bisa menghemat waktu maupun biaya. Penilaian tingkat risiko bencana banjir lahar juga perlu suatu model khusus untuk menilai tingkat risiko sehingga dapat di-*update* dengan mudah guna ketepatan analisis. Oleh karena itu, pemangku kepentingan terkait penanggulangan bencana harus lebih intensif dalam mengembangkan pemodelan dan selalu memperbaharui database agar semakin akurat
- Masyarakat harus memahami karakteristik bahaya yang ada di lingkungan tempat tinggal mereka dengan tidak menutup pengetahuan kebencanaan dari luar. Misalnya adalah dengan tetap berkoordinasi dengan instansi – instansi baik pemerintah maupun *non*-pemerintah dalam partisipasinya pada proses penyusunan model resiko bencana agar mengetahui proses hingga hasil resiko bencana.

DAFTAR PUSTAKA

- BAPPENAS dan BNPB. 2006. Rencana Aksi Nasional Pengurangan Resiko Bencana 2006 – 2009. Perum Percetakan Negara RI.
- BNPB dan BAPPENAS. 2011. Rencana Aksi Rehabilitasi dan Rekonstruksi : Pascabencana Erupsi Gunung Merapi Provinsi D.I.Yogyakarta dan Provinsi Jawa Tengah Tahun 2011 – 2013.
- Daryono. 2011a. Ancaman Banjir Lahar Merapi. Dalam www.bmkg.go.id (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika) diakses pada tanggal 27 Desember 2012
- _____. 2011b. Waspada Ancaman Banjir Lahar Merapi di Puncak Musim Hujan. Dalam www.bmkg.go.id (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika) diakses pada tanggal 27 Desember 2012.
- ESDM. 2009. Mengenal Museum Gunung Api Batur. www.esdm.go.id/berita/artikel/6/artikel/2636menengalmuseumgunung-api-batur1dikunjungibanyak-wisatawan-.pdf diakses pada tanggal 22 Desember 2012.
- Noor, D. 2006. Geologi Lingkungan. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Prahasta, Eddy. 2005. “Sistem Informasi Geografis : Aplikasi Pemograman MapInfo.” Bandung : CV. Informatika.
- _____. 2009. “Sistem Informasi Geografis : Konsep-konsep Dasar (Perspektif Geodesi & Geomatika)”. Bandung: CV. Informatika.
- Santosa, L. Wahyu. 2011. “Kebijakan Penyusunan Tata Ruang dan Pemukiman Harus Perhatikan Morfologi Sebaran Awan Panas dan Lahar Merapi”. Dalam webugm@ugm.ac.id diakses pada 13 Januari 2013.
- Siregar, M. Anwar. 2013.” Bencana Alam, Refleksi Tata Ruang dan Introspeksi Budaya”. Dalam www.tarungnews.com diakses pada 15 Maret 2013.
- Syawal, Syahru. 2010. Simulasi Pengaruh Pembangunan Waduk Jatibarang Terhadap Banjir Di Bantaran Sungai Garang, Semarang. Skripsi S1 Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota Universitas Diponegoro Semarang
- UNISDR. 2004. *Terminology: Basic terms of disaster risk reduction*. Available at : http://www.unisdr.org/files/7817_7819/isdrterminology11.pdf. Diakses pada 27 Desember 2012.
- Sugumaran, Ramanathan & John Degroote. 2011. *Spatial Decision Support Systems : Principles and Practices*. Crc Press.
- Putro, S. Hadi. 2011. Dampak Bencana Alitan Lahar Dingin Gunung Merapi Pasca Erupsi di Kali Putih. Program Doktor Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang.