**Metode Kombinasi *Weight of Evidence* (WoE)
dan *Logistic Regression* (LR) untuk Pemetaan Kerentanan Gerakan Tanah
di Takengon, Aceh**

*A Combined Method of Weight of Evidence (WoE) and Logistic Regression (LR)
for Landslide Susceptibility Map in Takengon, Aceh*

Pamela¹, Imam A. Sadisun², Rendy Dwi Kartiko², dan Yukni Arifianti¹

¹Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG),
Jalan Diponegoro 57 Bandung, Jawa Barat – Indonesia

²Fakultas Teknik Geologi, Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesa 10 Bandung, Jawa Barat – Indonesia

Naskah diterima 31 Oktober 2017, selesai direvisi 15 Agustus 2018, dan disetujui 20 Agustus 2018

email: pamela_145@ymail.com

ABSTRAK

Peta kerentanan gerakan tanah sangat diperlukan sebagai dasar dalam perencanaan tata ruang, pemanfaatan lahan dan mitigasi bencana. Kerentanan gerakan tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kemiringan lereng, arah lereng, litologi, tutupan lahan, elevasi, curah hujan, kelurusan, percepatan gempabumi, kurvatur, arah aliran, jarak dari sungai, dan jalan. Dalam penelitian ini dikembangkan metode pemetaan kerentanan gerakan tanah menggunakan metode kombinasi *logistic regression* (LR) dan *weight of evidence* (WoE). Metode gabungan ini diharapkan dapat menghasilkan metoda yang menggabungkan kelebihan dari masing-masing metode serta sekaligus mengatasi kelemahan masing-masing metode. Wilayah studi kasus penelitian adalah Takengon, salah satu wilayah di Provinsi Aceh yang rawan terhadap bencana gempabumi dan gerakan tanah yang dipicu oleh guncangan gempabumi. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah 251 kejadian gerakan tanah secara acak yang terjadi pada tahun 2000 hingga tahun 2016. Data tersebut dibagi menjadi dua kelompok data, 70% data digunakan sebagai set data analisis untuk penyusunan model dan 30% data digunakan sebagai set data validasi untuk pengujian model. Tahapan penelitian meliputi pembobotan dua belas parameter yang mempengaruhi kerentanan gerakan tanah dengan menggunakan metode WoE. Analisis kombinasi LR-WoE menggunakan parameter hasil pembobotan metode WoE dan kemudian di analisis menggunakan statistik LR. Selanjutnya melakukan analisis perbandingan hasil pemetaan kerentanan gerakan tanah melalui pengujian kurva *Receiver Operating Characteristic* (ROC). Hasil validasi dan pengujian model menunjukkan bahwa metode kombinasi LR-WoE mempunyai nilai AUC 0,853 yang lebih tinggi dibandingkan menggunakan metode WoE (AUC 0,830). Berdasarkan hasil penelitian ini disimpulkan bahwa metode kombinasi LR-WoE memberikan tingkat akurasi yang lebih baik dari metode WoE untuk pemetaan kerentanan gerakan tanah. Metode kombinasi LR-WoE dapat terus dikembangkan dan dapat diusulkan menjadi metode pemetaan gerakan tanah yang akurat, efektif dan ekonomis.

Kata kunci: Kerentanan gerakan tanah, *Logistic Regression*, Takengon, *Weight of Evidence*.

ABSTRACT

Landslide susceptibility map is an imperative basic tool for land use application, spatial planning and disaster mitigation. The susceptibility of landslide is influenced by factors such as slope, slope aspect, lithology, land cover, elevation, rainfall, linement, peak ground acceleration, curvature, flow direction, distance from rivers, and roads. In this research, a combined method of weight of evidence (WoE) and logistic regression (LR) was applied to assessed its advantages and overcome the limitation of each method. Takengon is an area prone to earthquake disaster and

landslide. The 251 landslides from 2000 until 2016 were randomly divided into two groups of modelling/training data (70%) and validation/test data sets (30%). The research stages include weighting of twelve parameters that affect the susceptibility of landslide using the WoE method. The combination LR-WoE analysis uses the weighted parameter of the WoE method and then analyzed using LR statistics. The validation results using Receiver Operating Characteristic (ROC) curve showed that the LR-WoE method had a better accuracy than the WoE method, with values of 0,890 higher than that of the WoE method 0,830 prediction. Therefore, it is concluded that the combined method of LR and WoE can provide a promising level of accuracy for landslide susceptibility mapping. Combined LR and and WoE method can be developed and proposed to be an accurate, effective and economical method of mapping the landslides susceptibility map.

Keywords: *Landslide susceptibility, Logistic Regression, Takengon, Weight of Evidence.*

PENDAHULUAN

Identifikasi kerentanan gerakan tanah adalah cara yang paling efektif dan ekonomis untuk menyediakan data dasar dalam perencanaan tata ruang dan pemanfaatan lahan, adaptasi dan mitigasi bencana (Zhou, 2016). Meskipun waktu dan lokasi kejadian gerakan tanah sulit diprediksi, tetapi evaluasi potensi kerentanan suatu daerah untuk terjadinya gerakan tanah dapat dilakukan.

Sejumlah besar analisis kerentanan gerakan tanah telah dilakukan dan dikembangkan dengan berbagai metode berbasis penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) di berbagai tempat (Van Westen, 1993; Guzzetti dr., 2005; Lee dan Pradhan 2006; Dahal dr., 2008; Yilmaz 2010; Yalcin dr., 2011).

Dalam hal ini, metode *weight of evidence* (WoE) dan *logistic regression* (LR) banyak digunakan untuk pemetaan kerentanan gerakan tanah (Märgärint dr., 2013; Heckmann dr., 2014). Metode WoE didasarkan pada informasi yang diperoleh dari keterkaitan antara parameter penyebab gerakan tanah sebagai parameter perhitungan dan data kejadian gerakan tanah, sehingga dapat diprediksi daerah yang rentan terhadap gerakan tanah, dengan mempertimbangkan kejadian sebelum (*prior*) dan sesudah (*posterior*) (Barbieri dan Cambuli 2009). Metode LR memiliki kelebihan karena mampu menganalisis hubungan antar variabel tetapi memiliki kekurangan karena tidak mampu mengevaluasi pengaruh antara kelas yang berbeda. Sementara metode WoE memiliki kelebihan karena mampu menilai pengaruh kelas yang berbeda dari masing-masing variabel, tetapi mengabaikan korelasi antar variabel. Dengan demikian, metode kombinasi statistik bivariat WoE dan multivariat LR diharapkan dapat mengurangi kelemahan masing-masing metode dalam menghasilkan tingkat akurasi peta kerentanan gerakan tanah.

Penelitian ini bertujuan untuk menguji keakuratan dari metode kombinasi tersebut.

Penelitian sebelumnya yang menggunakan metode kombinasi WoE dan LR pada lokasi gempabumi yang memicu gerakan tanah dilakukan oleh Zhou dr., 2016 pada kasus gempabumi Lushan yang memicu gerakan tanah di Cina pada 20 April 2013. Wilayah tersebut dikenal memiliki morfologi pegunungan yang curam dan aktivitas tektonik yang intens.

METODE PENELITIAN

Lokasi penelitian berada pada wilayah Takengon dan sekitarnya, yang secara administratif berada di Kabupaten Aceh Tengah, Provinsi Aceh. Daerah penelitian luasnya $\pm 1.047 \text{ km}^2$, berada pada koordinat $96^\circ 54' 21,69''$ sampai $96^\circ 35' 18,23''$ Bujur Timur dan $4^\circ 29' 53,09''$ sampai $4^\circ 45' 51,76''$ Lintang Selatan (Gambar 1). Daerah penelitian merupakan daerah rawan terhadap bencana geologi karena terletak di salah satu bagian punggung Pegunungan Bukit Barisan yang membentang sepanjang Pulau Sumatera serta merupakan bagian dari Sistem Sesar Sumatera (*Sumatera Fault System*). Gempabumi merusak yang memicu gerakan tanah pernah terjadi di daerah ini pada 2 Juli 2013 dan menimbulkan kerusakan bangunan serta gerakan tanah dengan korban jiwa sebanyak 39 orang dan lebih dari 400 orang luka-luka (Indra, B. dr., 2013). Gerakan tanah terjadi di sepanjang Jalan Bireuen-Takengon atau di wilayah Dataran Tinggi Gayo.

Data Kejadian Gerakan Tanah

Kejadian gerakan tanah dan faktor penyebabnya merupakan data utama yang diperlukan dalam analisis peta kerentanan gerakan tanah. Inventarisasi kejadian gerakan tanah bersumber

Gambar 1. Peta lokasi penelitian dan sebaran gerakan tanah di daerah penelitian (Sumber: Bing Map, 2016).

Tabel 1 Parameter yang digunakan dan sumbernya.

DATA	TIPE	SUMBER
Gerakan Tanah	Titik	Badan Geologi dan Interpretasi penginderaan jauh
Adm	Poligon	Badan Informasi Geospasial
DEM	Poligon	Badan Geologi, 2015
Litologi	Poligon	Peta Geologi Lembar Takengon (Cameron dr., 1983)
Tutupan Lahan	Poligon	Kementerian Kehutanan Republik Indonesia, 2011
Kelurusan	Polyline	Badan Geologi, 2013
Kegempaan	Poligon	Bappeda Aceh, 2014
Alur sungai	Polyline	Badan Informasi Geospasial
Jalan	Polyline	Badan Informasi Geospasial
Curah hujan	Poligon	Bappeda Aceh, 2010
Kelurusan	Polyline	Badan Geologi, 2013
Kegempaan	Poligon	Bappeda Aceh, 2014

dari basis data PVMBG yang mengidentifikasi 56 titik dan 195 titik dari identifikasi visual melalui *Google Earth*. Data kejadian gerakan tanah tersebut dibagi menjadi 2 set data, yaitu 70% data (176 kejadian) yang digunakan untuk penyusunan model dan menguji validitas keberpengaruh parameter terhadap kejadian gerakan tanah dan 30% (75 kejadian) digunakan untuk pengujian model dan validasi model (Gambar 1).

Penelitian ini juga menggunakan *Digital Elevation Model* (DEM) yang berfungsi untuk menghasilkan berbagai parameter topografi seperti elevasi/ ketinggian, kemiringan lereng, arah lereng, kurvatur, dan arah aliran. Ditambah parameter

lain yaitu litologi, tutupan lahan, curah hujan, kelurusan, percepatan gempabumi, jarak dari sungai, dan jalan (Tabel 1). DEM yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Digital Surface Model* (DSM). DSM dalam penelitian ini merupakan hasil ekstraksi dari data satelit TerraSAR X.

Metode *Weight of Evidence* (WoE)

Penelitian kerentanan gerakan tanah bisa dilakukan melalui metode heuristik, statistik, dan deterministik (Van Westen 1993; Guzzetti dr., 2005). Di Indonesia, kegiatan analisis ini dilakukan dengan menerapkan ketiga metode di atas. Metode heuristik dipakai dalam penelitian kerentanan

secara regional yaitu penentuan zona kerentanan gerakan tanah secara kualitatif berdasarkan pengetahuan ahli/pakar (Guzzetti drr., 2005). Penerapan metode ini di antaranya dilakukan oleh PVMBG, yang secara resmi menerbitkan peta zona kerentanan gerakan tanah dalam skala regional 1:100.000 – 1:250.000. Permasalahan dari metode ini adalah besarnya nilai subjektivitas tiap pakar menghasilkan analisis yang berbeda dalam satu daerah penelitian.

Metode deterministik didasarkan atas analisis stabilitas lereng dengan memperhatikan faktor aman dari lereng tersebut. Metode ini digunakan untuk pemetaan pada skala besar yaitu pada area yang tidak begitu luas, sehingga metode deterministik membutuhkan data fisik dan geoteknis secara mendetail (Pramudianti dan Hadmoko, 2013).

Metode statistik untuk penilaian kerawanan gerakan tanah secara garis besar dapat dibagi menjadi dua yaitu multivariat dan bivariat. Multivariat menggunakan asumsi bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi gerakan tanah saling terkait antara satu sama lain, sedangkan bivariat menggunakan asumsi bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi gerakan tanah tidak terkait satu sama lain (Suzen dan Doyuran, 2004). Metode statistik WoE termasuk dalam metode statistik bivariat yaitu metode yang didasarkan pada kerangka probabilitas Bayes yang ditampilkan dalam serangkaian lingkungan SIG (Mezughhi drr., 2011).

Model WoE ini merupakan teknik kuantitatif yang dimotori data, menggunakan sejumlah kombinasi data untuk menghasilkan peta dari pembobotan data, baik yang berbentuk sinambung (*continuous*) dan berkategori (*categorical*), berdasarkan probabilitas *prior* (awal) dan *posterior* (sesudah) (Bonham-Carter 1994; Van Westen drr., 2003; Poli and Sterlacchini 2007). Metode WoE memungkinkan penggabungan ketidakpastian dalam model kerentanan (jenis, kualitas, dan perhitungan tiap data) dan secara eksplisit mempertimbangkan pengetahuan pakar masuk ke dalam proses tersebut (Chung dan Fabbri, 2003).

Formulasi WoE adalah sebagai berikut (Bonham-Carter 1994):

$$W^+ = \ln \left[\frac{P(N_j|S)}{P(N_j|\bar{S})} \right] = \ln \left(\frac{\frac{P(N_j \cap S)}{P(S)}}{\frac{P(N_j \cap \bar{S})}{P(\bar{S})}} \right) = \ln \left(\frac{\frac{N_{piksl landslide in class}}{N_{piksl total landslide area}}}{\frac{N_{piksl stable area in class}}{N_{piksl total stable area}}} \right) \dots (1)$$

$$W^- = \ln \left[\frac{P(\bar{N}_j|S)}{P(\bar{N}_j|\bar{S})} \right] = \ln \left(\frac{\frac{P(\bar{N}_j \cap S)}{P(S)}}{\frac{P(\bar{N}_j \cap \bar{S})}{P(\bar{S})}} \right) = \ln \left(\frac{\frac{N_{piksl landslide outside class}}{N_{piksl total landslide area}}}{\frac{N_{piksl stable area outside class}}{N_{piksl total stable area}}} \right) \dots (2)$$

dengan W^+ adalah bobot kebolehjadian gerakan tanah di suatu kelas geofaktor (bobot positif). W^- adalah bobot ketidakbolehjadian gerakan tanah di suatu kelas geofaktor (bobot negatif). N_j adalah jumlah piksel pada kelas geofaktor J . S adalah jumlah total piksel yang mengandung gerakan tanah pada keseluruhan area, dan P adalah nilai probabilitas. Pengujian dilakukan dengan menggunakan kejadian gerakan tanah untuk mendapatkan nilai *Area Under Curve* (AUC). Nilai AUC merupakan nilai indeks yang terbentuk dari grafik perbandingan antara persentase total luasan area kelas parameter penyebab gerakan tanah dengan persentase total jumlah gerakan tanah (Tabel 2).

Nilai AUC dari parameter penyebab gerakan tanah yang berpengaruh terhadap kejadian gerakan tanah adalah $> 0,6$ Semakin tinggi nilai AUC suatu parameter maka semakin tinggi keberpengaruhannya terhadap kejadian gerakan tanah (Yesilnacar, 2005 dalam Pourghasemi, drr, 2013, Tabel 2).

Tabel 2 Nilai indeks AUC

(Yesilnacar, 2005 dalam (Pourghasemi drr., 2013)).

Nilai AUC	Keterangan
0,9	Model Sangat Baik
0,8 – 0,9	Model Baik
0,7 – 0,8	Model Sedang/Cukup Baik
< 0,6	Model Jelek

Metode Logistic Regression (LR)

Model regresi logistik (*logistic regression*, LR) dikembangkan oleh McFadden (1973). Analisis regresi logistik digunakan untuk menjelaskan hubungan antara variabel respon yang berupa data dikotomik/biner dengan variabel bebas yang berupa data berskala interval dan atau kategorik (Hosmer dan Lemeshow, 1989). Metode LR menyediakan proses analisis yang memudahkan karena tidak memerlukan asumsi sebelumnya dan dapat digabungkan dengan analisis statistik bivariat seperti WoE.

Nilai keluaran dari metode LR berkisar dari 0 sampai 1 yang dapat dideskripsikan sebagai *Landslide Susceptibility Index* (LSI), dengan 0 mengindikasikan 0 % kemungkinan terjadinya gerakan tanah dan 1 mengindikasikan 100% terjadinya gerakan tanah (Zhou, 2016). LSI dapat dihitung menggunakan formula:

$$P = e^z / (1 + e^z) \dots\dots\dots(3)$$

$$Z = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \dots\dots\dots(4)$$

Dengan P adalah LSI; Z adalah bobot kombinasi dari independen variabel; n adalah angka dari variabel penyebab; b_0 adalah konstanta dari model; b_n adalah bobot dari variabel penyebab gerakan tanah x_n .

Metode *weight of evidence* (WoE) dan *logistic regression* (LR)

Metode *weight of evidence* (WoE) dan *logistic regression* (LR) telah banyak digunakan untuk pemetaan kerentanan gerakan tanah (Märgärint, drr., 2013; Heckmann, drr., 2014). Namun, masih terdapat keterbatasan dari masing-masing metode baik WoE maupun LR (Zhou, drr., 2016), sehingga agar dapat membuat peta zona kerentanan gerakan tanah bisa menggunakan kombinasi metode WoE dan LR pada gempabumi yang memicu gerakan tanah seperti yang terjadi pada gempabumi Lushan 20 April 2013. Hasilnya menunjukkan bahwa metode LR-WoE menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan hanya menggunakan satu metode.

Pendekatan metode LR-WoE, yaitu metode LR yang dimodifikasi serta terintegrasi dengan model WoE, bisa memberikan hasil yang wajar saat digunakan untuk zonasi kerentanan gerakan tanah (Kobayashi dan Sanga 2005; Song drr. 2008). Gabungan dari metode WoE dan LR diharapkan dapat memanfaatkan kelebihan dari kedua metode dan mengurangi kelemahan dari masing-masing metode.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode *Weight of Evidence* (WoE)

Dalam penelitian ini ada 12 parameter yang dilakukan verifikasi melalui pembobotan metode

WoE, selanjutnya diuji keberpengaruhnya melalui nilai AUC dan terpilih 8 parameter yang diduga berpengaruh terhadap terjadinya gerakan tanah, yaitu kemiringan lereng, arah lereng, percepatan gempabumi, elevasi, litologi, arah aliran, kelurusan, dan curah hujan (Tabel 3). Parameter jarak dari sungai tidak diikutsertakan dalam model karena terlalu dekat dengan batas minimum AUC (Torizin, 2011). Parameter dominan yang mempengaruhi kejadian gerakan tanah selanjutnya dilakukan penjumlahan untuk mengetahui probabilitas kejadian gerakan tanah metode WoE pada lokasi penelitian.

Untuk menghasilkan zonasi kerentanan gerakan tanah, klasifikasi dilakukan menggunakan metode quantile (Zhou, 2016). Setiap kelas data pada metode ini akan mempunyai jumlah data yang sama sehingga setiap kelasnya tidak akan pernah mengalami kekosongan data atau kelebihan maupun kekurangan data. Hasil pembobotan menggunakan metode WoE dari masing-masing parameter yang diduga berpengaruh terhadap terjadinya gerakan tanah pada daerah penelitian disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Parameter penyebab gerakan tanah menggunakan metode WoE.

PARAMETER	NILAI AUC
Kemiringan lereng	0,792
Arah lereng	0,745
Percepatan gempabumi	0,693
Elevasi	0,685
Litologi	0,669
Arah aliran	0,659
Kelurusan	0,652
Curah hujan	0,649
Jarak dari sungai	0,612
Tutupan lahan	0,606
Jarak dari jalan	0,538
Kurvatur	0,526

Metode *Logistic Regression* (LR)

Dalam proses analisis metode LR, variabel yang dapat dianalisis dengan baik adalah variabel dalam bentuk *scale*. Variabel lain dalam bentuk nominal maupun ordinal tidak dapat diproses dengan baik dalam metode ini, karena banyaknya variabel *dummy* yang terbentuk dibandingkan

jumlah variabel *scale* untuk menggantikan nilai nominal dapat menimbulkan hasil analisis yang tidak valid. Peta zona kerentanan yang terbentuk menjadi mengikuti pola parameter *dummy* yang terbentuk. Oleh karena banyaknya variabel *dummy* yang terbentuk dan menghambat proses analisis, variabel yang digunakan hanya berupa variabel *scale* saja yaitu, kemiringan lereng, arah lereng, elevasi, dan kelurusan.

Berdasarkan data analisis LR, variabel kemiringan lereng, arah lereng, elevasi, dan kelurusan mempunyai pengaruh parsial yang signifikan terhadap kejadian gerakan tanah di daerah penelitian. Variabel kemiringan lereng dan arah lereng memiliki hubungan yang positif dengan kejadian gerakan tanah di daerah penelitian. Berdasarkan nilai koefisien B pada analisis, maka model persamaan menggunakan formula (4) dijabarkan sebagai berikut:

$$Z = -9,888 + (0,001 \times \text{arah lereng} + -0,001 \times \text{kelurusan} + -0,001 \times \text{elevasi} + 0,058 \times \text{kemiringan lereng}) \quad (5)$$

Selanjutnya zona kerentanan gerakan tanah diklasifikasikan ke dalam lima kelas kerentanan yaitu kerentanan gerakan tanah sangat rendah, rendah, menengah, tinggi, dan sangat tinggi (Zhou, 2016) (Gambar 2).

Metode Kombinasi LR-WoE

Dalam memetakan metode kombinasi LR-WOE, untuk menghindari penciptaan banyaknya variabel *dummy*, pembobotan masing-masing parameter sebelumnya ditentukan menggunakan metode WoE, kemudian menghitung bobot untuk digunakan mengubah kategori variabel ke numerik variable. Dengan langkah yang sama semua variabel independen dilakukan pembobotan dengan skala yang sama dari semua kelas masing-masing faktor penyebab. Peta raster inventarisasi gerakan tanah dan 8 faktor dominan penyebab gerakan tanah diubah menjadi kategori numerik.

Berdasarkan data analisis, variabel kemiringan lereng, litologi, curah hujan, elevasi, arah aliran, dan kelurusan mempunyai pengaruh parsial yang signifikan terhadap kejadian gerakan

tanah di daerah penelitian. Nilai koefisien B bernilai positif, maka parameter mempunyai hubungan positif dengan kejadian gerakan tanah. Semua variabel memiliki hubungan positif dengan kejadian gerakan tanah di daerah penelitian. Berdasarkan nilai koefisien B pada analisis, maka model persamaan menggunakan formula (4) dijabarkan sebagai berikut:

$$\text{Probabilitas} = -8,535 + (-0,000022 \times \text{arah lereng} + 0,000416 \times \text{kelurusan} + 0,000663 \times \text{elevasi} + 0,000668 \times \text{kemiringan lereng} + 0,000724 \times \text{arah aliran} + 0,000227 \times \text{curah hujan} + 0,00616 \times \text{litologi} + 0,000111 \times \text{percepatan gempabumi}) \quad (6)$$

Persamaan di atas selanjutnya diproses dalam ArcGis. Persamaan yang dihitung menunjukkan perkiraan kejadian gerakan tanah untuk setiap piksel mengingat adanya serangkaian faktor kondisi geologi yang mengontrol. Hasil pembobotan menggunakan metode LR dari masing-masing parameter yang diduga berpengaruh terhadap terjadinya gerakan tanah pada daerah penelitian disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4 Parameter penyebab gerakan tanah menggunakan metode kombinasi LR-WoE.

PARAMETER	NILAI AUC
Kemiringan lereng	0,775
Litologi	0,773
Percepatan gempabumi	0,693
Elevasi	0,688
Arah aliran	0,671
Arah lereng	0,663
Kelurusan	0,657
Curah hujan	0,650

Validasi

Untuk mengevaluasi besarnya pengaruh variabel faktor penyebab terhadap gerakan tanah, maka digunakan metode ambang batas independen (*threshold-independent method*) berupa kurva *Receiver Operating Characteristic* (ROC) (Chung dan Fabbri, 2003). AUC merupakan area di bawah kurva ROC, suatu kurva yang menggambarkan probabilitas dengan variabel sensitivitas dan kekhususan (*specificity*). Daerah di bawah kurva (AUC) adalah salah satu jenis statistik akurasi untuk model prediksi (probabilitas) dalam

Gambar 2 Peta zona kerentanan gerakan tanah menggunakan (a) metode WoE dan (b) Metode LR.

Gambar 3 Peta zona kerentanan gerakan tanah menggunakan (a) metode kombinasi LR-WoE dan (b) Grafik validasi prediction rate menggunakan metode WoE, metode LR, dan metode WoE-LR.

penilaian/analisis bencana alam (Nefeslioglu drr., 2011), dengan nilai batas antara 0 hingga 1. Area di bawah kurva memberikan gambaran tentang keseluruhan pengukuran atas kesesuaian dari model yang digunakan.

Berdasarkan analisis AUC masing-masing parameter, kombinasi metode LR-WoE memiliki nilai validasi yang lebih baik dari dua metode lainnya (Gambar 3b). Hal ini dikarenakan gabungan kedua metode ini dapat menutupi kekurangan dari masing-masing metode. Kekurangan dari metode LR yang tidak dapat menganalisis variabel nominal dan ordinal dapat diatasi oleh metode gabungan ini setelah parameter nominal dilakukan pembobotan sebelumnya dengan metode WoE kemudian dianalisis menggunakan metode LR. Hasil validasi kurva ROC menggunakan software IBM SPSS pada masing-masing metode disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5 Nilai AUC metode WoE, LR, dan LR-WoE.

<i>Test Result Variable(s)</i>	<i>AUC</i>
Metode WoE	0,830
Metode LR	0,790
Metode LR-WoE	0,853

Berdasarkan kurva ROC model dianggap jelek jika kurva yang dihasilkan mendekati garis *baseline* atau garis yang melintang dari titik 0,0, sedangkan model dianggap bagus jika kurva mendekati titik 0,1 (Nefeslioglu drr., 2011). Berdasarkan Gambar 3b maka dapat disimpulkan bahwa kurva model LR-WoE lebih bagus dibandingkan kurva metode LR dan WoE karna kurva mendekati titik 0,1.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil validasi menggunakan kurva ROC, metode kombinasi LR-WoE mempunyai nilai AUC yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode WoE. Metode LR tidak dapat dibandingkan dengan dua metode lainnya karena banyaknya variabel nominal dibandingkan variabel *scale* pada variabel faktor penyebab gerakan tanah, sehingga variabel yang digunakan hanya variabel yang berupa *scale*. Metode kombinasi LR-WoE dapat terus dikembangkan dan diusulkan menjadi metode pemetaan gerakan tanah yang akurat, efektif dan ekonomis.

Hasil penelitian ini jika dibandingkan dengan

penelitian yang dilakukan oleh Zhou drr., 2016; Kobayashi & Sanga 2005; Song drr. 2008; menunjukkan hasil yang sama, bahwa metode kombinasi LR-WoE memberikan lebih banyak informasi mengenai adanya atau tidak adanya masing-masing faktor yang memiliki pengaruh terhadap gerakan tanah dan memiliki tingkat akurasi yang lebih baik.

Pada saat penelitian ini dibuat, PVMBG telah menerbitkan Peta Zona Kerentanan Gerakan Tanah Provinsi Aceh (Anonim, 2012). Namun, peta zona kerentanan gerakan tanah daerah Takengon dengan skala besar (lokal) tidak bisa dibandingkan dengan peta zona kerentanan gerakan tanah Provinsi Aceh yang skala kecil (Provinsi).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu Dr. Yuliana Susilowati dan Dr. Muhammad Ma'ruf Mukti atas bimbingan dan masukan yang membangun untuk menyusun karya tulis ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2012. *Atlas Zona Kerentanan Gerakan Tanah Indonesia*. Edisi 2. Bandung: Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi.
- Barbieri, G., dan Cambuli, P., 2009. "The Weight of Evidence Statistical Method in Landslide Susceptibility Mapping of the Rio Pardu Valley (Sardinia, Italy)." *18th World IMACS Congress and MODSIM09 International Congress on Modelling and Simulation: Interfacing Modelling and Simulation with Mathematical and Computational Sciences, Proceedings*, no. July: 2658–64.
- Bing maps citra *Takengon*, (2016).
- Bonham-Carter, Graeme F., 1994. *Geographic Information Systems for Geoscientists*. DOI:10.1016/B978-0-08-041867-4.50013-8.
- Chung, Chang-Jo F., dan Fabbri, Andrea G., 2003. "Validation of Spatial Prediction Models for Landslide Hazard Mapping." *Natural Hazards* 30 (3): 451–72. DOI:10.1023/B:NHAZ.0000007172.62651.2b.
- Dahal, R.K., Hasegawa, Shuichi., Nonomura, Atsuko., Yamanaka, Minoru., Masuda,

- Takuro., dan Nishino, Katsuhiko., 2008. "GIS-Based Weights-of-Evidence Modelling of Rainfall-Induced Landslides in Small Catchments for Landslide Susceptibility Mapping." *Environmental Geology* 54 (2): 311–24. DOI:10.1007/s00254-007-0818-3.
- Heckmann, T., Gegg, K., Gegg, A., dan Becht, M., 2014. Sample size matters: investigating the effect of sample size on a logistic regression susceptibility model for debris flows. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14: 259–278.
- Guzzetti, Fausto., Reichenbach, Paola., Cardinali, Mauro., Galli, Mirco., dan Ardizzone, Francesca., 2005. Probabilistic Landslide Hazard Assessment at the Basin Scale. *Geomorphology* 72 (1–4): 272–99. DOI:10.1016/j.geomorph.2005.06.002.
- Hosmer, David W., dan Lemeshow, Stanley., 1989. *Applied Logistic Regression*. *Applied Logistic Regression*. DOI:10.1002/0471722146.
- Kobayashi, H., dan Sanga, T., 2005. Application of spatial information technology to landslides. Landslide vulnerability mapping using GIS and spatial statistical analysis. *Journal of the Japan Landslide Society*, 42, 281–292.
- Lee, Saro., dan Pradhan, Biswajeet., 2006. Probabilistic Landslide Hazards and Risk Mapping on Penang Island, Malaysia. *Journal of Earth System Science* 115 (6): 661–72. DOI:10.1007/s12040-006-0004-0.
- McFadden, D., 1973. Conditional Logit Analysis of Qualitative Choice Be. In: Zarembka, P., Ed., *Frontiers in Econometrics*. New York: Academic Press, 105–142.
- Mărgărint, M. C., Grozavu, A., dan Patriche, C. V., 2013. Assessing the Spatial Variability of Weights of Landslide Causal Factors in Different Regions from Romania Using Logistic Regression. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions* 1 (2): 1749–74. DOI:10.5194/nhessd-1-1749-2013.
- Mezoghi, Tareq H., Akhir, J.M., Rafek, A.G., dan Abdullah, Ibrahim., 2011. Landslide Susceptibility Assessment Using Frequency Ratio Model Applied to an Area along the E-W Highway (Gerik-Jeli). *American Journal of Environmental Sciences* 7 (1): 43–50. DOI:10.3844/ajessp.2011.43.50.
- Nefeslioglu, Hakan A., Gokceoglu, Candan., Sonmez, Harun., dan Gorum, Tolga., 2011. Medium-Scale Hazard Mapping for Shallow Landslide Initiation: The Buyukkoy Catchment Area (Cayeli, Rize, Turkey). *Landslides* 8 (4): 459–83. DOI:10.1007/s10346-011-0267-7.
- Poli, S., dan Sterlacchini, S., 2007. Landslide Representation Strategies in Susceptibility Studies Using Weights-of-Evidence Modeling Technique. *Natural Resources Research* 16 (2): 121–34. DOI:10.1007/s11053-007-9043-8.
- Pourghasemi, H. R., Moradi, H. R., dan Aghda, S. M. Fatemi., 2013. Landslide Susceptibility Mapping by Binary Logistic Regression, Analytical Hierarchy Process, and Statistical Index Models and Assessment of Their Performances." *Natural Hazards* 69 (1): 749–79. DOI:10.1007/s11069-013-0728-5.
- Pramudianti, Evita, dan Hadmoko, D.S., 2013. Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Model Deterministik Untuk Zonasi Rawan Longsor Lahan Di Sub-DAS Gintung, Kab. Purworejo. *Jurnal Bumi Indonesia*, 429–36.
- Song, R.H., Hiromu, D., Kazutoki, A., Usio, K. dan Sumio, M. 2008. Modeling the potential distribution of shallow-seated landslides using the weights of evidence method and a logistic regression model: A case study of the Sabae Area, Japan. *International Journal of Sediment Research*, 23,106–118.
- Suzen, M L, dan Doyuran, V., 2004. Data Driven Bivariate Landslide Susceptibility Assessment Using Geographical Information Systems: A Method and Application to Asarsuyu Catchment, Turkey. *Engineering Geology* 71 (3–4): 303–21. DOI:10.1016/S0013-7952(03)00143-1.
- Torizin, J., 2011. *Bivariate Statistical Method for Landslide Susceptibility Analysis using ArcGis*. Hannover. Project of Technical Cooperation 'Mitigation of Georisks', BGR-Report: BGR (unpublished report).
- Van Westen, C.J., 1993. *Application of Geographical Information System to Landslide Hazard Zonation*. Enschede, Netherlands. ITC Publication, No. 15.
- Van Westen, C. J., Rengers, N., dan Soeters, R., 2003. Use of Geomorphological Information in Indirect Landslide Susceptibility Assessment. Netherlands. Kluwer Academic Publishers. In: *Natural Hazards* 30, pp 399–419.
- Yalcin, A., Reis, S., Aydinoglu, A. C., dan Yomralioglu T., 2011. A GIS-Based

Comparative Study of Frequency Ratio, Analytical Hierarchy Process, Bivariate Statistics and Logistics Regression Methods for Landslide Susceptibility Mapping in Trabzon, NE Turkey. *Catena* 85 (3): 274–87. DOI:10.1016/j.catena.2011.01.014.

Yilmaz, Işık., 2010. Comparison of Landslide Susceptibility Mapping Methodologies for Koyulhisar, Turkey: Conditional Probability, Logistic Regression, Artificial Neural Networks, and Support Vector Machine. *Environmental Earth Sciences* 61 (4): 821–36. DOI:10.1007/s12665-009-0394-9.

Zhou S., W, Wang., G, Chen., B, Liu., dan L, Fang., 2016. *A Combined Weight of Evidence and Logistic Regression Method for Susceptibility Mapping of Earthquake-induced Landslides: A Case Study of the April 20, 2013 Lushan Earthquake, China*. China: Acta Geologica Sinica.