

Penilaian Potensi Risiko Likuefaksi Berdasarkan Metode *Decision Tree* dan *Random Forest* Berdasarkan Data Pengukuran dan Sejarah di Kota Palu

Irfan Muhammad Al-Farisy^{1*}, Rezky Aditoyo¹, Muhammad Rizqy Septiandy¹

¹ Geology Study Program, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia

*Corresponding author: Irfan.muhammad@ui.ac.id

Abstrak

Machine learning atau pembelajaran mesin merupakan sebuah metode yang sudah tidak asing lagi didengar. Akhir-akhir ini pembelajaran mesin sering digunakan untuk menyelesaikan masalah kebencanaan, khususnya pada pembuatan peta likuefaksi. Pembelajaran mesin akan memprediksi daerah-daerah yang memiliki potensi likuefaksi dari rendah hingga ke tinggi. Pada penelitian ini, metode pembelajaran mesin yang akan digunakan adalah *Decision Tree* dan *Random Forest*, dan beberapa algoritma lain sebagai pembandingan dari 2 algoritma sebelumnya. Likuefaksi dipengaruhi oleh seismisitas atau magnitudo terjadinya gempa pada suatu wilayah. Pada penelitian ini digunakan 2 magnitudo sebagai pembandingan yaitu magnitudo 6 dan magnitudo 7.5. Selain itu di penelitian ini digunakan 4 peta prediktor sebagai fitur-fitur input yaitu PGA (*Peak Ground Acceleration*), MAT (muka air tanah), *Slope* (kemiringan lereng) dan Vs30 (kecepatan gelombang geser). Penelitian ini mengambil 33 titik pengambilan sampel untuk melatih model pembelajaran mesin ini. Untuk nilai akurasi dari masing-masing algoritma yaitu menggunakan *confusion matrix* untuk membandingkan performa dari model DT dan RF.

Kata Kunci: *Machine Learning*; Likuefaksi; *Decision Tree*; *Random Forest*; *Confusion Matrix*

1. Pendahuluan

Likuefaksi adalah peristiwa menghilangnya kekuatan tanah akibat tegangan pori air yang timbul dikarenakan adanya getaran atau beban siklis. Getaran tersebut merupakan getaran yang berasal dari gempa bumi ataupun semacamnya. Ketika getaran terjadi sifat lapisan tanah akan berubah menjadi cairan sehingga tidak mampu menahan beban benda di atasnya seperti bangunan, rumah, jalanan dan lain lainnya. Likuefaksi terjadi pada tanah yang jenuh terhadap air, di situasi dimana rongga-rongga tanah dipenuhi air. Ketika getaran terjadi, air memberikan tekanan terhadap partikel-partikel tanah sehingga kepadatan dari tanah tersebut berubah. Peristiwa ini (likuefaksi) biasa terjadi pada tanah jenuh atau *saturated*. Endapan atau deposit yang berpotensi mengalami peristiwa likuefaksi yaitu pasir halus (*sand*), pasir berlumpur (*silty sand*), dan pasir lepasan (*loose sand*). Likuefaksi hanya terjadi di tanah yang jenuh, maka dari itu peristiwa ini umumnya terjadi di kawasan sungai, teluk,

atau badan air lainnya [1]. Penelitian ini memfokuskan kepada kerentanan likuefaksi di Kota Palu menggunakan metode pembelajaran mesin. Fitur yang digunakan untuk mengolah potensi terjadinya likuefaksi yaitu muka air tanah, PGA, kemiringan lereng dan Vs30. Algoritma yang digunakan adalah *decision tree* (DT) dan *random forest* (RF), serta beberapa algoritma lainnya sebagai pembandingan. Kedua algoritma ini dipilih karena terkenal dan kerap digunakan diberbagai kegiatan kebencanaan [2][3].

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Pembelajaran Mesin

Pembelajaran mesin adalah pendekatan dalam *artificial intelligence* yang sering digunakan untuk mewakilkan atau meniru perilaku manusia untuk memecahkan berbagai macam masalah. Pada penelitian ini *machine learning* digunakan untuk membangun model dengan cara mempelajari fitur-fitur yang telah diinput sebelumnya sehingga menghasilkan model yang sesungguhnya [4].

2.1.1 Decision Tree (DT)

Decision Tree atau sering disebut juga pohon keputusan, merupakan sebuah alur *flowchart* yang memiliki bentuk seperti fisik pohon. *Decision tree* memiliki beberapa struktur penyusunnya yang pertama adalah internal node, disetiap internal node terdapat pengujian terhadap atribut atribut pendukung *decision tree* tersebut, pada cabang dari atribut atribut tersebut merepresentasikan hasil tes atau *leaf node* yang merepresentasikan kelas atau distribusi suatu kelas. *Node* yang paling utama adalah *root node* atau akar. *Root node* memiliki beberapa *edge* keluar tetapi tidak memiliki *edge* masuk. *Decision node* memiliki 1 *edge* masuk dan ada mempunyai beberapa *edge* keluar, sedangkan *leaf node* hanya mempunyai 1 *edge* masuk tanpa memiliki *edge* keluar. *Decision tree* biasa digunakan untuk mengklasifikasikan data yang belum tahu kelasnya terhadap kelas kelas yang sudah ada. Alur jalannya pengujian dalam sebuah data merupakan langkah awal yang dilalui oleh *root node* dan diakhiri dengan *leaf node* yang akan menyimpulkan kelas yang telah disimpulkan [5].

2.1.2 Random Forest (RF)

Random Forest (RF) adalah salah satu metode algoritma data *training* yang diusulkan oleh Breiman. *Random Forest* awalnya dibuat untuk membangun *predictor ensemble* dengan beberapa pohon keputusan yang tumbuh di data yang terpilih secara random. Klasifikasi *random forest* dilakukan dari berbagai macam pohon dengan dilakukannya percobaan pada sampel yang sudah ada. Semakin banyak pohon akan mempengaruhi tingkatan akurasi yang akan didapat, alhasil data akan menjadi lebih baik dan optimal. Dalam menentukan klasifikasi dengan *random forest* data yang diambil berdasarkan hasil voting dari pohon-pohon yang ada dan telah

terbentuk sebelumnya [6].

2.2 Fitur-Fitur Yang Digunakan

Fitur yang digunakan adalah fitur yang berhubungan dengan likuefaksi, yaitu muka air tanah, kemiringan lereng, percepatan tanah maksimum (PGA) dan kecepatan gelombang geser (V_{s30}).

2.2.1 Muka Air Tanah

Kondisi yang paling mudah untuk terkena likuefaksi ialah permukaan yang sangat dekat dengan muka air tanah. Dikarenakan tanah yang dekat dengan muka air tanah cenderung bersifat jenuh sehingga memudahkan tanah untuk mengalami pergerakan [7].

2.2.2 Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng adalah sebuah penilaian kuantitatif dari suatu wilayah dan merupakan salah satu unsur geomorfologi pendukung yang sangat mempengaruhi terhadap morfografi dan morfogenetik. Kemiringan lereng berguna untuk menganalisis suatu lahan seperti tingkat erosi, menentukan nilai dari kemiringan lereng tersebut serta kestabilan lereng [8].

2.2.3 Percepatan Tanah Maksimum (PGA)

Suatu tanah akan mengalami peristiwa likuefaksi ketika tanah tersebut diberikan getaran. Pergerakan tanah disebabkan oleh adanya percepatan dan jangka waktu gempa yang terjadi pada saat terjadinya gempa. Gerakan tanah dapat menyebabkan geser nya ruang antar partikel tanah dan meningkatnya tekanan air pori sehingga terjadi likuefaksi. Gempa dengan bertenaga tinggi dapat menghasilkan percepatan tanah maksimum (PGA) pada tanah dasar. Sehingga tinggi besarnya PGA mempengaruhi terjadinya likuefaksi [9]. Percepatan Tanah Maksimum adalah parameter percepatan tanah disuatu wilayah akibat adanya peristiwa gempa bumi. Untuk mengetahui nilai PGA atau *Peak*

didapatkan dari situs PGA calculator Puslitbang sumber daya air Indonesia. Selanjutnya data raster kecepatan gelombang geser (Vs30) yang didapatkan dari situs USGS *Earthquake Hazards Program*. Selanjutnya data raster *slope* atau kemiringan lereng Kota Palu dan Kabupaten Sigi yang didapatkan dari situs DEMNAS. Selanjutnya raster Muka Air Tanah (MAT) yang dibuat manual menggunakan perangkat lunak ArcMap 10.4. Data MAT ini penulis membuatnya dengan cara memasukan beberapa data MAT di beberapa titik lalu menggunakan tool IDW atau interpolasi yang tersedia di ArcMap 10.4.

3.2 Tahap Analisis Pengukuran Data Lapangan dan Mengexport Data

3.2.1 Tahap Pengukuran Data Lapangan

Tahapan ini adalah tahapan pengukuran data lapangan. Pengukuran data lapangan dilakukan di satuan aluvium dan endapan pantai yang berumur Kuartar. Satuan ini berada di Kecamatan Palu barat, Kecamatan Palu timur Kecamatan, Palu utara, Kecamatan Sigi biromaru dan sekitarnya. Pengambilan data ini dilakukan di 33 titik di sekitar Kota Palu dan Kabupaten Sigi. Pengambilan data di 33 titik lokasi pengukuran CPT ini ditentukan berdasarkan daerah daerah yang mudah dijangkau dan memiliki akses yang mudah untuk dilalui oleh pihak kontraktor (Pusat studi geoteknik Unpar, 2019). Selain itu penentuan titik lokasi ini dibuat berdasarkan daerah daerah yang terkena dampak dari likuefaksi pada tahun 2018. Data yang penulis dapatkan dari pihak kontraktor adalah data CPT (*Cone Penetration Test*). Data CPT ini dihasilkan dari pengukuran Uji Sondir yang dilakukan di beberapa titik di Kota Palu dan Kabupaten Sigi. Ada sekitar 33 titik yang diambil untuk penelitian ini. Data CPT ini menghasilkan beberapa jenis data seperti *Cone resistance*

(qc), *Sleeve resistance* (fs), *Pore pressure* (u2), *Friction ratio* (FR) dan *pore Pressure Ratio* (Bq).

3.2.2 Tahap Mengeksplor Data

Semua data yang telah didapatkan di sebelumnya seperti yang sudah dijelaskan di sub bab 3.1.2 akan dilakukan proses penimpaan atau overlay di perangkat lunak ArcMap 10.4. Data-data yang akan dioverlay diantaranya yaitu PGA, Slope, Vs30 dan MAT. Keempat data yang akan melatih model *machine learning* akan menjadi *variable independent*. Proses overlay data ini menggunakan tool yang ada pada ArcMap yaitu *extract multi values*. Terdapat 33 titik CPT dan 33 titik Muka air tanah yang tersebar di Kota palu dan Kabupaten Sigi. Dikarenakan jumlah data yang sedikit dan dataset memiliki masalah berupa *imbalanced dataset* atau ketidakseimbangan data pada kategori risiko likuefaksi. Sehingga penulis menambahkan data sebanyak 27 titik CPT yang diambil di wilayah Lebak, Banten untuk menyeimbangkan data agar data tidak mengalami masalah ketidakseimbangan data. Terdapat total 60 titik yang akan diolah lebih lanjut kedalam proses *supervised machine learning*. Pengukuran di Kota Palu dan Lebak dilakukan di 2 magnitudo yaitu magnitudo 6 dan 7.5 untuk Kota Palu mengacu kepada Sesar Palu Koro dan Kabupaten Lebak mengacu kepada Sesar Ujung Kulon. Berikut merupakan dataset Palu dan dataset Lebak (Tambahan data).

3.3 Tahap Pra-Pemrosesan, Pemrosesan dan Pasca Pemrosesan Dataset

3.3.1 Pra-Pemrosesan Dataset

Pra-pemrosesan dataset adalah tahapan seleksi data dan jenis fitur-fitur yang akan digunakan didalam pengolahan data. Seleksi data dilakukan untuk mengeluarkan atau

mengeliminasi fitur-fitur yang tidak digunakan di pengolahan data.. Kegiatan ini berguna untuk mengurangi presentase hasil akhir yang kurang maksimal. Sehingga fitur-fitur yang digunakan adalah fitur yang sangat berkontribusi terhadap output yang akan dihasilkan dari penelitian ini yaitu peta kerentanan likuefaksi Kota Palu.

3.3.2 Pemrosesan Dataset

Pemrosesan data set adalah tahapan dilakukannya pembelajaran mesin dengan menggunakan metode *Decision tree* (DT), *Random forest* (RF), *Support vector machines* (SVM), *K-nearest neighbor* (KNN), *Naïve bayes* (NB), dan *Logistic regression* (LR). Pada tahapan ini dilakukan proses *fitting* atau mencari parameter-parameter terbaik dari masing masing metode.

3.3.3 Pasca-Pemrosesan Dataset

Pasca-Pemrosesan Dataset adalah tahapan prediksi dataset. Tahapan ini berguna untuk memvisualisasikan hasil prediksi dari tahapan pembelajaran mesin dan menghasilkan output berupa peta kerentanan likuefaksi Kota Palu.

3.4 Tahap Pembuatan Peta Kerentanan Likuefaksi Kota Palu

Peta kerentanan likuefaksi merupakan peta rawan likuefaksi yang berisikan bagian-bagian yang terdampak likuefaksi di kota Palu. Peta ini berisikan legenda berupa beberapa kategori yaitu “Sangat rendah”, “Rendah”, “Tinggi” dan “Sangat tinggi”.

Nilai <i>LPI</i>	Tingkat
$LPI = 0$	Sangat rendah
$0 < LPI \leq 5$	Rendah
$5 < LPI \leq 15$	Tinggi
$LPI > 15$	Sangat Tinggi

Pada tahap ini dilakukan pembuatan peta kerentanan likuefaksi dari Kota Palu. Setelah mengexport data – data CSV yang sudah di export dari tahap pasca-pemrosesan atau prediksi, selanjutnya adalah data CSV tersebut akan dimasukkan kedalam Perangkat lunak ArcMap 10.4.

4. Pembahasan

4.1 Tahap Pemrosesan dan Pasca-Pemrosesan Dataset

Pada tahap ini adalah pengolahan data yang dimulai dari pemrosesan dan dilanjutkan dengan pasca-pemrosesan. Berikut merupakan tahapan-tahapannya.

4.1.1 Tahap Pemrosesan Dataset

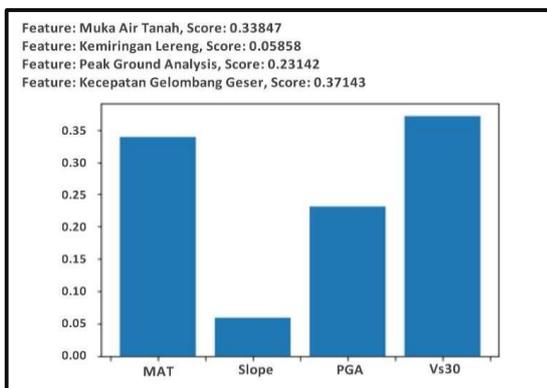
Tahapan pemrosesan ini adalah tahapan pembelajaran mesin yang dilakukan untuk memberikan label pada data yang akan dilakukan oleh *training* dan *validating* pada dataset magnitudo 6 dan magnitudo 7,5. Tahap pemrosesan ini terdiri dari DT, RF, SVM, KNN, LR dan NB.

4.1.1.1 Feature Importance

Feature Importance adalah fitur untuk mengetahui peringkat variabel independen yang digunakan pada tahapan pembelajaran mesin. Umumnya *feature importance* akan mengurutkan variabel independen yang digunakan dan semakin tinggi suatu variabel akan semakin berpengaruh terhadap model yang dihasilkan dan semakin rendah nilai suatu variabel maka semakin tidak berpengaruh terhadap model. Total nilai *feature importance* harus sama dengan 1. Variabel independen yang digunakan di penelitian ini adalah muka air tanah, kemiringan lereng, percepatan tanah

Tabel 1. Kategori Potensi Likuefaksi Berdasarkan LPI [12]

maksimum dan kecepatan gelombang geser. Pada gambar dibawah variabel tertinggi berada pada kecepatan gelombang geser dengan nilai 0.37143 dan dilanjutkan oleh muka air tanah dengan nilai 0.33847, dilanjutkan dengan percepatan gelombang maksimum dengan nilai 0.23142 dan terakhir yaitu kemiringan lereng dengan nilai 0.05868. Sehingga variabel yang paling berpengaruh terhadap pembuatan model ini adalah kecepatan gelombang geser.



Gambar 2 Feature Importance dataset

4.1.2 Tahap Pasca-Pemrosesan Dataset

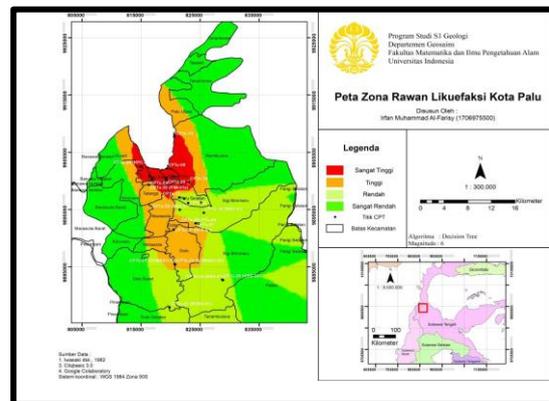
Tahapan pasca-pemrosesan data set atau membuat data prediksi. Tahap prediksi adalah tahap memvisualisasikan hasil prediksi dari tahapan pemrosesan data set atau pembelajaran mesin. Ketika sudah mendapatkan hasil akurasi yang baik tahap selanjutnya adalah membuat dataset baru yang berisikan fitur-fitur yang sama (PGA, Slope, MAT dan Vs30) seperti dataset sebelumnya pada tahapan pengolahan pembelajaran mesin yang membedakan di tahapan ini adalah, dataset ini dibuat dengan menggunakan fitur 'Fishnet' pada perangkat lunak ArcMap 10.4. Fishnet akan memvisualisasikan *grid* yang jarak antar *grid* ini dapat ditentukan sendiri. Disini penulis mengambil jarak antar titik di setiap 200 meter. Jumlah titik yang dihasilkan sebanyak 33.775

titik. Sama seperti pembuatan dataset sebelumnya, data PGA, Slope, MAT dan Vs30 akan dioverlay dan akan dimasukan nilai- nilai nya kedalam CSV menggunakan tool pada ArcMap yaitu 'Extract Multi Values'. Setelah itu data yang sudah dioverlay akan di *export* dalam format CSV. Dataset ini dapat digunakan untuk kedua magnitudo yaitu magnitudo 6 dan 7.5 dikarenakan tidak ada perbedaan nilai pada fitur-fitur nya.

4.2 Tahap Pembuatan Peta Kerentanan Likuefaksi Kota Palu

4.2.1 Peta Kerentanan Likuefaksi Kota Palu di Magnitudo 6

Selanjutnya adalah peta kerentanan likuefaksi Kota Palu. Algoritma DT (*Decision tree*) terpilih menjadi algoritma terbaik di magnitudo 6 dengan hasil akurasi validasi sebesar 83%. Hasil dari olahan *Decision Tree* menghasilkan 4 Kelas yaitu sangat tinggi, tinggi, rendah dan sangat rendah.



Gambar 3. Peta kerentanan likuefaksi Kota Palu magnitudo 6 (*Decision Tree*)

4.2.1.1 Interpretasi Peta Kerentanan Likuefaksi di Magnitudo 6

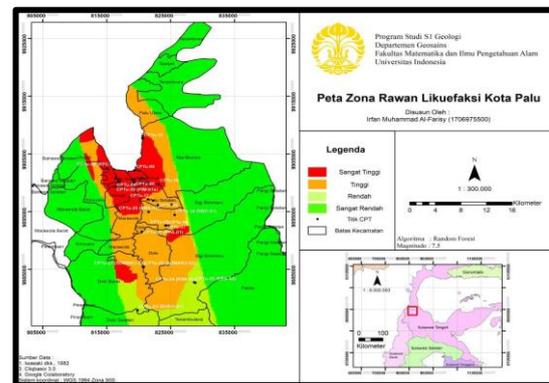
Berdasarkan peta kerentanan likuefaksi Kota Palu menggunakan metode *decision tree*. Terlihat zona merah atau kelas sangat tinggi, berada di sekeliling teluk palu dan memanjang hingga ke selatan. Hal ini disebabkan karena

kedalaman muka air tanah berada di 1 meter hingga 4 meter. Dangkal nya muka air tanah ini menyebabkan tanah menjadi jenuh dan menurunnya kekuatan tanah sehingga mudah terjadinya pergerakan pada tanah pada daerah tersebut. Jika dilihat dari peta PGA, zona merah atau kelas sangat tinggi, berada di wilayah 0,7 gal. Ketika gempa terjadi, gempa akan menghasilkan gelombang. Gelombang tersebut akan merambat melalui lapisan-lapisan sedimen dan akan timbul resonansi (ikut bergetarnya suatu benda akibat getaran yang dihasilkan). Alhasil bangunan-bangunan di atasnya akan menerima getaran-getaran tersebut. Resonansi ini dapat menghasilkan resonansi vertikal dan resonansi horizontal. Resonansi vertikal tidak membahayakan dikarenakan searah dengan gaya gravitasi. Resonansi horizontal dapat menyebabkan keadaan bangunan bergoyang atau berayun. Infrastruktur yang tinggi dapat berayun seperti bandul akibat getaran tersebut [13]. Bergeraknya suatu infrastruktur dapat menyebabkan konstruksi tanah bergerak atau rusak, sehingga memudahkan air untuk bercampur dengan tanah tersebut melalui pori-pori tanah. Lalu jika dilihat dari Peta Vs30 atau kecepatan gelombang geser, daerah sangat tinggi berada di wilayah rendah yaitu 176 m/s dengan jenis batuan *soft soil* atau tanah lunak. Tanah lunak merupakan tanah bersifat kohesif (melekat satu sama lain) dan terdiri dari ukuran butir yang sangat kecil seperti lanau dan lempung. Tanah lunak dicirikan oleh kemampatan yang tinggi, permeabilitas rendah serta gaya geser yang rendah pula [14]. Jika kita lihat dari kemiringan lereng, kelas sangat tinggi berada di kemiringan lereng yang rendah atau landai. Kemiringan lereng dapat menunjukkan ketebalan suatu lapisan sedimen. Pada kemiringan lereng yang landai suatu sedimen akan mudah untuk terendapkan

dikarenakan minim terjadinya erosi. Sedangkan di kemiringan lereng yang tinggi atau curam, sedimen akan sulit untuk terendapkan dikarenakan adanya faktor erosi yang mungkin terjadi pada kemiringan tersebut. (Athanasius, 2018). Semakin tebal suatu lapisan tanah yang jenuh tersebut dapat menyebabkan amblesan pada suatu infrastruktur lebih tinggi.

4.2.2 Peta Kerentanan Likuefaksi Kota Palu di Magnitudo 7.5

Algoritma RF (*Random Forest*) terpilih menjadi algoritma terbaik di magnitudo 7.5 dengan hasil akurasi validasi sebesar 83%. Hasil dari olahan *Random forest* menghasilkan 4 kelas yaitu sangat tinggi, tinggi, rendah dan sangat rendah.



Gambar 4. Peta kerentanan likuefaksi Kota Palu magnitudo 7.5 (*Random Forest*)

4.2.2.1 Interpretasi Peta Kerentanan Likuefaksi di Magnitudo 7.5

Berdasarkan peta kerentanan likuefaksi Kota Palu menggunakan metode *random forest*. Terlihat zona merah atau kelas sangat tinggi, berada di sekeliling teluk palu dan semakin memanjang hingga ke selatan. Hal ini disebabkan karena kekuatan gempa atau seismisitas dari gempa yang semakin tinggi yaitu 7.5 dan nilai PGA yang semakin tinggi juga yaitu berada di angka 1.1 g. Selain itu juga dikarenakan kedalaman muka air tanah

berada di 1 meter hingga 4 meter. Selanjutnya jika dilihat dari Peta Vs30 atau kecepatan gelombang geser, sama seperti peta dengan magnitudo 6, daerah sangat tinggi berada di wilayah rendah yaitu 176 m/s dengan jenis batuan *soft soil* atau tanah lunak. Selanjutnya jika kita lihat dari kemiringan lereng, sama seperti peta dengan magnitudo 6 kelas sangat tinggi berada di kemiringan lereng yang rendah atau landai. Peta kerentanan likuefaksi di magnitudo 6 dan 7.5 tidak memiliki perbedaan yang signifikan, hanya berbeda seismisitas atau kekuatan dari gempa dan PGA. Sehingga peta yang dihasilkan di magnitudo 7.5 kelas sangat tinggi lebih luas kearah selatan dibanding magnitudo 6. Hal ini disebabkan juga oleh formasi tempat terjadinya likuefaksi tersebut adalah aluvium.

5. Kesimpulan dan Saran

Berikut merupakan kesimpulan dari penelitian ini :

1. Peta kerentanan likuefaksi kota Palu dibuat berdasarkan data LPI dan magnitudo 6 yang dilakukan dengan metode *machine learning* menggunakan *Supervised machine learning* yaitu metode DT, RF, SVM, LR, KNN dan NB. Metode terbaik yang terpilih ialah metode *Decision Tree*. Metode ini terpilih menjadi yang terbaik dikarenakan mendapatkan nilai akurasi dari *training* dan *validating* sebesar 96% dan nilai akurasi prediksi sebesar 83%
2. Peta kerentanan likuefaksi kota Palu dibuat berdasarkan data LPI dan magnitudo 7.5 yang dilakukan dengan metode *machine learning* menggunakan *Supervised machine learning* yaitu metode DT, RF, SVM, LR, KNN dan NB. Metode terbaik yang terpilih ialah metode *Random Forest*. Metode ini terpilih menjadi yang terbaik dikarenakan mendapatkan nilai akurasi dari

training dan *validating* sebesar 85% dan nilai akurasi prediksi sebesar 83%.

3. Dari keempat fitur yang digunakan, Vs30 yang memiliki faktor penting dalam pembuatan model peta kerentanan likuefaksi Kota Palu hal ini disebabkan likuefaksi hanya terjadi pada tanah lunak atau *soft soil* dilanjutkan oleh muka air tanah, percepatan tanah maksimum dan kemiringan lereng.

Berikut merupakan saran untuk penelitian ini :

1. Sebaiknya proporsi dataset klasifikasi dari lpi memiliki jumlah data yang proporsional antar klasifikasinya, agar terhindar dari *imbalanced dataset*.
2. Sebaiknya saat pengerjaan *Supervised machine learning* yang terdiri dari DT, RF, SVM, LR, KNN dan NB, penulis mempelajari lebih lanjut mengenai parameter-parameter apa yang digunakan di masing-masing metode agar hasil akurasi dari metode-metode tersebut menjadi lebih baik dan akurat.

Daftar Referensi

- [1] Kramer, S.L. (1996). Geotechnical Earthquake Engineeri. Prentice-Hall civil engineering and mechanics series, 653 pages.
- [2] Gandomi dkk., (2013). Decision Tree Approach for Soil Liquefaction Assessment, Hindawi Publishing Corporation, 8 pages.
- [3] Nejad dkk., (2018). Evaluation of Liquefaction Potential Using Random Forest Method and Shear Wave Velocity Results. International Conference on Applied Mathematics & Computational Science.
- [4] Ahmad, Abu. (2017). Mengenal Artificial Intelligence, Machine Learning, Neural Network, dan Deep Learning.
- [5] Kasih, Patmi. (2019). Pemodelan Data Mining Decision Tree Dengan Classification Error Untuk Seleksi Calon Anggota Tim Paduan Suara.

[6] Breiman, Leo., Friedman, Jerome H., Oshlen, Richard A., Stone, Charles J. 1996. Classification and Regression Tree. Statistics Departement, University of California.

[7] Kodoatie, Robert J dan Sarief Roestam., 2012. Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu. Yogyakarta: Penerbit Andi.

[8] Van Zuidam, R. A. 1985. Aerial Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphological Mapping. Smith Publisher, The Hague.

[9] Kramer, S.L. (1996). Geotechnical Earthquake Engineeri. Prentice-Hall civil engineering and mechanics series, 653 pages.

[10] Linkimer. 2008. Relationship Between Peak Ground AccelerationAnd Modified Mercalli Intensity In Costa Rica. Revista Geológica de América Central, 38ISSN: 0256-7024. Hal : 81-94.

[11] Indra dkk., (2018). ESTIMASI KECEPATAN GELOMBANG GESER BAWAH PERMUKAAN PADA LAPISAN DANGKAL MENGGUNAKAN DATA MIKROTREMOR DI DAERAH MAMBORO. Vol. 17. ISSN : 1412-2375.

[12] Iwasaki, T., Tokida, K., & Tatsuoka, F. (1981). Soil Liquefaction Potential Evaluation with Use of the Simplified Procedure. Paper presented at the International Conferences on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics.

[13] Sukarasa, I Ketut. (2017). "ANALISA GEMPABUMI DENGAN MENGGUNAKAN DATA PERCEPATAN GETARAN TANAH". Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Udayana.

[14] Bowles, J. E. (1984). Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah. Jakarta: Penerbit Erlangga.

[15] Athanasius, Cipta dan Akhmad Solikhin. (2018). Pendugaan VS30 Berdasarkan Klasifikasi geomorfologi. https://www.researchgate.net/publication/322971554_Pendugaan_VS30_berdasarkan_Klasifikasi_Geomorfologi. Diakses pada 4 Juli 2021.