

PREDIKSI STABILITAS LERENG MENGGUNAKAN ADAPTIVE NEURO-FUZZY METODE HYBRID

Riksa Faisal¹⁾, Niken Silmi S.²⁾, Setiono³⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret,

^{2),3)}Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret.

Jln Ir.Sutami 36 A, Surakarta 57126; Telp 0271-634524

Email: riksa.faisal@outlook.co.id

Abstrack

Problems that occur in nature, dominated almost 80% non linear problems or maybe more. This problem is often encountered in natural disasters such as landslides. Sometimes in the application of a method, not in accordance with the design. External factors that are not taken into account in planning, become the main contributor to the problem. A variety of approach methods are used in solving the problem. This research will analyze the slope stability by using one method of Neuro-Fuzzy approach there is ANFIS. Data source used is a natural slope obtained from some previous research. This research uses ANFIS hybrid method to get SF prediction. Fine tuning is using on rule and membership function to get the valid output value. Using amount of varied data: 60 Data, 50 Data, 40 Data, 30 Data, 20 Data in different variant i.e. Odd, Even, Multiplier, SF, Differences Height, Differences Cohesion. Results checked using RMSE and Matrix Confusion tests. Results show that the prediction between SF ANFIS and true SF is influenced by membership function, rule, data quantity, data randomization, output result and distance value from input. The most optimal ANFIS prediction is 20 data in SF variant which yields Recall value of 1, Precision of 1, Accuracy of 1, and Error Rate of 0.

Keywords: slope, non-linear, Neuro-Fuzzy, ANFIS, hybrid method

Abstrak

Permasalahan yang terjadi di alam, didominasi hampir 80% permasalahan *non linier* atau mungkin lebih. Permasalahan ini sering ditemui pada bencana alam seperti tanah longsor. Terkadang dalam pengaplikasian suatu metode, tidak sesuai dengan yang direncanakan. Faktor-faktor luar yang tidak diperhitungkan dalam perencanaan, menjadi penyumbang utama permasalahan. Berbagai metode pendekatan digunakan dalam menyelesaikan permasalahan tersebut. Penelitian ini akan menganalisis stabilitas lereng dengan menggunakan salah satu metode pendekatan dari *Neuro-Fuzzy* yaitu ANFIS. Sumber data yang digunakan merupakan lereng alami yang didapatkan dari beberapa penelitian sebelumnya. Penelitian ini menggunakan metode *hybrid* ANFIS untuk mendapatkan prediksi SF. *Fine tuning* dilakukan pada *rule* maupun *membership function* untuk mendapatkan nilai keluaran yang tepat. Digunakan sejumlah data yaitu: 60 Data, 50 Data, 40 Data, 30 Data, 20 Data yang divariasikan dalam bentuk Ganjil, Genap, Kelipatan, SF, Beda Tinggi, Beda Kohesi. Pengecekan hasil menggunakan pengujian RMSE dan *Matrix Confusion*. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa predkisi antara SF ANFIS dan SF asli dipengaruhi oleh *membership function, rule*, jumlah data, pengacakan data, hasil *output* serta nilai jarak dari *input*. Prediksi ANFIS paling optimal terjadi pada 20 Data Varian SF yang menghasilkan nilai *Recall* sebesar 1, *Precision* sebesar 1, *Accuracy* sebesar 1, serta *Error Rate* sebesar 0.

Kata kunci : lereng, *non linier*, *Neuro-Fuzzy*, ANFIS, metode *hybrid*

PENDAHULUAN

Permasalahan dalam ilmu geoteknik terdapat ketidakpastian dan ketidaktelitian. Hal tersebut disebabkan karena terdapat banyak faktor atau parameter yang tidak diketahui dengan pasti, maka dari itu penggunaan model matematik konvensional pada masalah geoteknik menjadi sulit (Surjandari et al., 2010). Salah satu permasalahan tersebut ialah kelongsoran lereng. Kelongsoran lereng dapat mengakibatkan kerugian, baik kerugian kepada lingkungan maupun kepada manusia. Suatu longsor akan terjadi jika lereng tak bisa menahan beban atau SF kurang dari yang dipersyaratkan. Terdapat beberapa faktor untuk menentukan SF yaitu: kondisi tanah, geometri lereng, serta faktor luar.

Penanganan menggunakan pendekatan *non linier* dengan *software* mulai banyak digunakan. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian menggunakan CI (*Computer Intelligence*), berbeda dengan AI (*Artificial Intelligence*), CI adalah program yang memiliki sifat seperti manusia. Metode CI yang digunakan merupakan perpaduan antara jaringan syaraf tiruan (JST) dan logika *fuzzy* yaitu *Neuro-Fuzzy*. Semakin berkembangnya teknologi membuat *soft computing* (seperti *Neuro-Fuzzy*) semakin banyak digunakan sebagai metode alternatif permasalahan dikarenakan sederhana.

Soft Computing mulai digunakan dalam klasifikasi stabilitas lereng (Fattahi, 2017) untuk menggantikan cara-cara *scientific* yang tidak mampu memecahkan masalah geologi kompleks yang sulit dipecahkan (Kostic et al.,2016). Sistem tersebut memiliki kelebihan yaitu menampilkan perubahan secara dinamis pada lingkungannya (Rong et al.,2016) daripada *different equation* yang tak bisa digunakan untuk sistem yang tidak jelas dan tidak dimengerti (Jang, 1993). Kelebihan JST adalah tidak diperlukan asumsi awal tentang hukum fisik asalkan tersedia sejumlah data selain itu semakin banyak data, maka kemampuan memprediksi dapat ditingkatkan (Surjandari et al.,2010). Selain itu JST sangat cocok untuk bidang geoteknik dimana matematika klasik dan cara tradisional gagal dalam menyelesaikan masalah yang kompleks. JST juga merupakan pemodelan matematika untuk memprediksi parameter batuan dan tanah (Goh,1999, Penumedu et al.,1999, Itani et al.,2001, Kurup et al.,2002, Kurup et al.,2006). Perbedaan antara JST dengan metode perhitungan lain (FEM, BEM, dll) adalah mekanisme pemetaan model. Metode FEM, dll menggunakan metode *one-to-one* sementara JST tidak (Jing et al.,2002, Jing,2003, Sakellariou et al.,2005).

Stabilitas dari lereng alami tergantung pada kondisi geologi yang ada dan keadaan alam disekitarnya serta kondisi dari lereng alami dan keadaan alam di sekitarnya tak bisa dinyatakan dalam angka (Ni et al.,1996). Untuk mencegah terjadinya longsor dan mengetahui stabilitas lereng dibutuhkan pengertian serta evaluasi akan sifat dari lereng. (Wang et al.,2005).

Tak ada model teknik yang bisa memperlihatkan hubungan partikular yang akurat dikarenakan ketidakentuan yang ada saat permasalahan tersebut berkembang. Faktor utama dari ketidakentuan tersebut karena banyaknya variabel *input* data dan asumsi yang disederhanakan saat proses berkembangnya model (Silva, 2016). Berbeda dengan material sipil lain seperti beton, baja dan kayu. Material geoteknik yaitu batu dan tanah menunjukkan ketidakentuan serta sifat yang bervariasi dikarenakan ketidaktepatan serta kompleksitas proses fisik yang berhubungan dengan struktur geomaterial tersebut (Jaksa,1995, Shahin et al.,2001, Cabalar,2011).

DASAR TEORI

Lereng

Lereng merupakan sebuah bentuk geometri dari kumpulan material-material, tanah, air, dan lainnya, yang terbentuk melalui beberapa proses baik itu proses buatan atau alami selama beberapa kurun waktu. Suatu lereng dikatakan stabil jika gaya tanah dapat menahan gaya longsor tanah. Fungsi dari stabilitas lereng digunakan untuk menentukan faktor aman lereng terhadap longsor (Herman,2017). Longsor adalah perpindahan lereng yaitu batu, puing,dan tanah ke bawah oleh gravitasi (Das et al.,2012, Denhavi et al.,2015). Penyebab dari longsor adalah karena perpindahan tanah tak stabil secara massal pada regangan lokal yang tersiri dari 4 faktor karakteristik (Skempton et al.,1969, Choobasti et al.,2009). Karakteristik sesungguhnya dari longsor meliputi 1.*initial geometry* dari massa tanah yang tak stabil,2.distribusi tekanan pori yang berdasarkan lokasi dari permukaan *freatik*,3.bentuk dari deformasi, dan 4.kecepatan pergerakan lereng. Aspek tersebut tergantung oleh sifat mekanik kerangka tanah dan fraksi jenuh dari air tanah. Faktor aman didefinisikan sebagai nilai banding antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan (Herman,2017) yaitu:

$$SF = \frac{\tau}{\tau_d} \dots \dots \dots (1)$$

dengan:

- τ = tahanan geser maksimum yang dapat dikerahkan oleh tanah
- τ_d = tegangan geser yang terjadi akibat gaya tanah yang akan longsor
- SF = faktor aman

Walaupun sederhana tetapi saat di lapangan hal tersebut bisa berubah karena sifat tanah yang *uncertain*, serta analisis stabilitas yang teliti akan cukup rumit. Penyebab utama hal tersebut terbagi menjadi 2, yaitu: Pertama, bahwa longsor dapat terjadi pada berbagai tempat di permukaan tanah yang miring. Kedua, bahwa kekuatan geser yang terjadi dalam tanah dapat berubah setiap saat, antara lain dapat disebabkan oleh air air tanah ataupun faktor pengubah lainnya (Surendro,2015).

Jaringan Syaraf Tiruan

Jaringan syaraf tiruan (JST) merupakan sebuah model matematika yang didasarkan dari karakteristik jaringan syaraf biologi. Terlebih lagi jaringan syaraf tiruan merupakan sistem komputasi yang didasarkan atas pemodelan sistem syaraf biologis (*neurons*) melalui pendekatan dari sifat-sifat biologis (*biological computation*) (Sekarwati,2005, Edo,2015).

JST berperilaku seperti jaringan syaraf makhluk hidup dan terdiri dari *neuron-neuron* yang saling terhubung. *Neuron* tersebut akan mengirim informasi yang diterima melalui sambungan keluarannya menuju *neuron* yang lain, hubungannya ini dikenal dengan bobot. Pada JST informasi atau *input* dikirim ke tiap *neuron* dengan bobot kedatangan tertentu yang kemudian diproses oleh suatu fungsi perambatan yang akan menjumlahkan nilai bobot yang datang. Hasil penjumlahan kemudian akan dibandingkan dengan suatu nilai ambang tertentu melalui fungsi aktivasi.

Neuron-neuron tersebut nanti akan dikumpulkan dalam lapisan (*layer*) yang disebut dengan lapisan *neuron (neuron layer)*. Informasi yang diberikan pada jaringan akan dirambatkan ke tiap lapisan dari *input* sampai *output* melalui lapisan lain, yang disebut lapisan tersembunyi (*hidden layer*) menurut algoritma pembelajaran yang dipilih.

JST terdiri dari beberapa jenis tergantung fungsi penggunaan serta ciri jaringan, (Fausett,1994 ,Bernardo et al. ,2005 ,Tsangratos et al.,2013) membagi ciri jaringan dalam 3, yaitu:

- 1 Cara *neuron* saling berhubungan yang disebut arsitektur jaringan
- 2 Metode yang digunakan untuk menentukan nilai dari *weights*, yang disebut *training* atau *learning algorithm* (algoritma pembelajaran)
- 3 Jenis aktivasi yang digunakan

Terdapat beberapa perbedaan dalam menentukan banyaknya data dan jumlah *layer* dalam sebuah jaringan, menurut (Shahin et al.,2001, Surjandari et al.,2008) tidak ada metode pasti untuk menentukan jumlah *neuron* di lapisan tersembunyi pada jaringan. Sesuai dengan prinsip model JST, dengan bertambahnya jumlah *neuron* di lapisan tersembunyi akan memberikan peluang untuk mengembangkan suatu penyelesaian masalah. Akan tetapi dengan besarnya jumlah *neuron* pada lapis tersembunyi akan berakibat pada lamanya proses perhitungan pada jaringan, baik pada tahap *training* maupun pada saat jaringan tersebut digunakan.

Meskipun begitu banyaknya *hidden layer* dalam satu *layer* tergantung oleh banyaknya data, nilai *input*, serta *output*, sejalan dengan hal tersebut (Hyun,2011) menyatakan banyaknya *hidden layer* tergantung oleh kompleksitas antara nilai *input* dan *output*. Beberapa kasus hanya akan membutuhkan satu *hidden layer*, tetapi jika hubungan antara *input* dan *output* linier maka tidak membutuhkan *hidden layer*. Semakin banyak *hidden layer* maka membutuhkan data yang dikompres, karena itu (Hyun,2011) menyarankan rumus (Hect-Nelson,1987) yaitu banyaknya *hidden neuron* adalah *input* dan *output* dibagi oleh dua, yaitu:

$$h = \frac{i + o}{2} \dots \dots \dots (2)$$

dengan:

h = banyaknya *hidden layer*

i = banyaknya *input*

o = banyaknya *output*

Banyaknya atau kurangnya sebuah data terkadang akan merusak hasil penelitian, hal tersebut didukung oleh (Hyun ,2011) banyaknya data dalam JST terkadang membuat *training* data atau validasi data menjadi tidak valid. Ia menambahkan, untuk menghindari itu ia menyarankan *layer of thumb* dari (Lawrence and Fredrickson,1988) yaitu:

$$2(i + h + o) \leq N \leq 10(i + h + o) \dots \dots \dots (3)$$

dengan:

N = banyaknya data

Fuzzy

Logika *Fuzzy* adalah sebuah algoritma matematika yang memecah sebuah ukuran dari salah (bernilai=0) sampai benar (bernilai=1). Penggunaan *Fuzzy* biasa digunakan untuk sistem pengambilan keputusan. Akan tetapi fungsi sebenarnya lebih kompleks lagi. Logika *Fuzzy* adalah sebuah logika yang menggunakan *fuzzy set* untuk memperlihatkan banyaknya nilai dan hasil yang menggambarkan kecerdasan manusia dalam bahasa matematika (Viharos et al.,2015). Karena itu, pengalaman manusia bisa mengendalikannya dengan *control value* yang didapat dari banyaknya pengalaman dan ditunjukkan dengan bahasa yang intuitif. Logika *fuzzy* sendiri terdiri dari 3 tahap, yaitu:

1. Fuzzifikasi yaitu tahap saat nilai *input* dipetakan oleh fungsi berdasarkan derajat komparabilitas dari logika *fuzzy* tersebut.
2. Sistem *fuzzy* memproses *layers* berdasarkan kekuatan dari data masukan
3. Defuzzifikasi yaitu tahap hasil dari nilai *fuzzy* berubah menjadi angka kembali.

Terdapat 4 keluaran dari *Matrix Confussion* yaitu :

Recall berfungsi untuk mengetahui proporsi kasus positif yang yang diidentifikasi dengan benar.

Precision berfungsi untuk mengetahui proporsi kasus dengan hasil prediksi positif yang benar.

Accuracy berfungsi untuk membandingkan kasus yang diidentifikasi benar dan salah tetap dengan jumlah kasus yang ada.

Error Rate berfungsi untuk membandingkan kasus yang diidentifikasi berubah dengan jumlah kasus yang ada.

METODE PENELITIAN

Data yang digunakan merupakan data sekunder yang didapat dari beberapa penelitian sebelumnya. Data-data yang dipakai tersebut memiliki parameter-parameter yang nanti akan digunakan. Data-data yang akan digunakan adalah data yang diambil dari beberapa penelitian sebelumnya yaitu: Matsui et al. (1992), Dawson et al. (1999), Wang et al. (2005), Hardiyatmo (2010), (Sah et al, Bray et al, Lin et al, Hudson, dan Madzic) dalam Fattahi (2017).

Parameter Lereng

Faktor pembentuk lereng terdiri dari 2 faktor, luar dan dalam. Faktor dalam adalah sifat tanah dan fisik lereng yaitu: γ , C , φ , β dan H selain menjadi parameter lereng, faktor tersebut juga menjadi parameter *SF*, hal tersebut didukung oleh (Wang et al,2005) parameter tersebut merupakan faktor utama yang mempengaruhi dalam keamanan (*SF*) lereng. Selain itu, faktor dari luar seperti beban juga mendukung. Faktor beban bisa berasal dari berat sendiri, curah hujan, aktivitas, vegetasi, dan faktor lain. Penggunaan faktor tersebut tidak digunakan dalam penelitian ini, karena: Penelitian sebelumnya tidak menggunakan faktor luar, Sifat data bersifat acak jika ingin menggunakan faktor luar harus data dengan asal yang sama. Penggunaan faktor luar akan sangat berguna untuk menentukan sifat lereng. Akan tetapi dikarenakan berbeda daerah akan membuat hasil menjadi tidak maksimal, maka dari itu tidak digunakan faktor luar.

Parameter tersebut akan digunakan sebagai parameter *Membership Function*serta *input* dalam *neuro fuzzy. Membership Function* yang telah dibuat berdasarkan literatur yang ada. Bui et al (2012) menambahkan kemampuan ANFIS dalam memprediksi tergantung oleh *Membership Function* yang digunakan.

Parameter Jaringan

Jaringan yang dibuat berisi 60 data yang didapat dari data sekunder. (Bui et al,2012) model ANFIS bergantung banyaknya data yang ada, tetapi tidak ada *rule of thumb*, sehingga untuk menentukan banyaknya data merupakan hal yang sulit. Hal serupa juga diutarakan (Sulewska,2011) jika data untuk *training* dan *testing* JST tidak mencukupi maka akan membatasi fungsi jaringan tersebut. (Kanungo et al.,2006 ,Dou et al.,2015) menambahkan bahwa dengan data yang cukup JST mempunyai prediksi yang tinggi untuk mengklasifikasi permasalahan *non-linier*. Bentuk jaringan adalah *feed-forward hybrid* dengan menggunakan 6 *layer*, *input* berupa parameter lereng sementara *output* adalah *SF* dari lereng.

Parameter Membership Function

Penentuan *Membership Function* harus memperhatikan literatur yang ada serta banyaknya data yang digunakan hal tersebut didukung oleh (Jang,1993) dalam menentukan *Membership Function* bergantung kepada penggunaannya, jika banyaknya sebuah data cukup besar, maka *fine-tuning* dari *Membership Function* akan diterapkan sejak penentuan *Membership Function* berbeda tiap orang ke orang dan dari waktu ke waktu, oleh karena itu *Membership Function* tidak terlalu optimal dalam membuat output yang diinginkan. Tetapi, jika data terlalu sedikit, informasi yang didapatkan saat perhitungan tidaklah banyak. Saat keadaan tersebut terjadi, *Membership Function* berdasarkan manusia memperlihatkan pentingnya pengetahuan yang didapatkan melalui pengalaman para ahli dan tak bisa tercermin pada kumpulan data saja ,oleh karena itu *Membership Function* harus tetap terjaga sepanjang proses pembelajaran, (Sdao et al,2013) menambahkan *Fuzzy Neural Network* tidak memerlukan *knowledge* dari hubungan input-output tetapi *heuristic rule*.

Pemodelan ANFIS

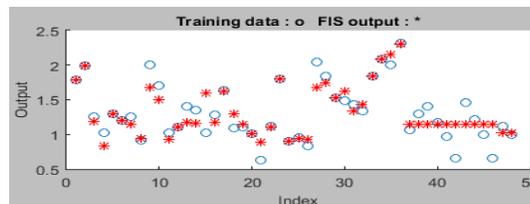
Pemodelan yang dilakukan menggunakan 2 data yaitu *training* dan juga *checking*, *training* digunakan untuk melatih data sementara *checking* digunakan untuk memvalidasi data. Pembagian data untuk *training* dan *checking* menggunakan prosentase 80% data *training* dan 20 % data *checking*, pembagian tersebut didasarkan dari penelitian sebelumnya.

(Dieu et al ,2012) menyatakan ANFIS memiliki kelebihan baik dari Logika Fuzzy maupun JST dan merupakan metode yang kuat, tetapi sangat sensitif terhadap *over-fitting*, karena itu dalam studinya, ia membagi menjadi 2 *training database* yaitu *training set* (80%) dan *checking set* (20%). *Training set* digunakan untuk mengkalibrasi model ANFIS, sementara *checking set* digunakan sebagai pengendalian terhadap *over-fitting* saat tahap *training*. Sejalan dengan itu (Fattahi,2017) juga menggunakan asumsi yang sama untuk menentukan *degree of accuracy* dan ketahanan jaringan. (Kurup et al,2006) menambahkan jika sebuah jaringan terlatih sempurna, maka dia akan belajar unruk memodelkan *unknown function* yang menghubungkan antara variable input kepada output.

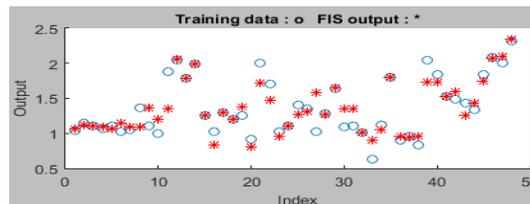
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil ANFIS

Pemodelan pertama dilakukan dengan 60 data yang terbagi dalam 2 variasi, perbedaan variasi terdapat pada pemilihan data *checking* dan *training*. Variasi pertama menggunakan data awal sebagai *checking* sementara variasi 2 menggunakan data akhir untuk *checking*. Hasil dari pemodelan ANFIS :



Gambar 1. Error 0,1889

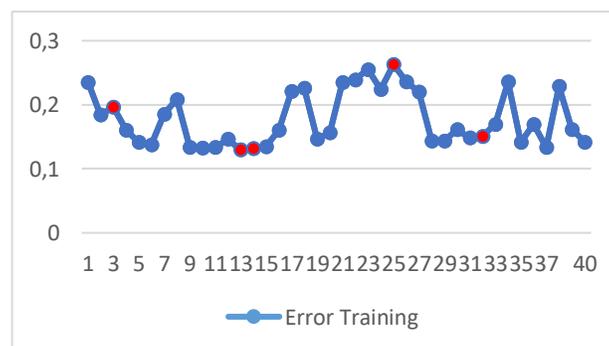


Gambar 2. Error 0,1776

Berdasarkan Gambar 1-2. didapatkan hasil ANFIS dengan prediksi yang kurang baik. Oleh karena itu dilakukan *fine-tunning* untuk mendapatkan prediksi yang lebih baik, dilakukan *trial and error membership function* guna mencari *heuristic rule* dengan cara menambah besaran *rule* dan menambah jumlah *rule*.

Trial and Error Membership Function

Menambah besaran Rule dilakukan guna mencari nilai *error* minimal, data yang digunakan adalah pembagian 1. Hasil teradapat pada Gambar 3:



Gambar 3. Grafik *Trial and Error Membership Function*

Dipilih 5 hasil berdasarkan Gambar 3 pemilihan didasarkan dari nilai tertinggi ke terendah, adapun titik merah menandakan titik yang terpilih. Hasil ditampilkan pada Tabel 1 berikut:

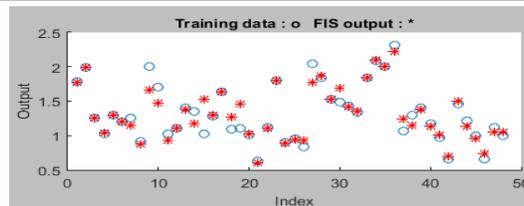
Tabel 1. Hasil Percobaan

Percobaan	Error
25	0,2631
3	0,1967
32	0,1507
14	0,1320
13	0,1295

Digunakan percobaan ke-14(pada Gambar 4), hal tersebut dikarenakan *Intersection* yang tidak terlalu besar. Dikarenakan konsep logika *fuzzy* adalah logika matematika, jika nilai *Intersection* besar maka hasil yang didapatkan semakin baik. Akan tetapi jika diimplementasikan kepada geoteknik membuat *rule* yang digunakan tidak valid salah satu faktor tersebut dikarenakan nilai negatif seperti pada Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Rule γ

$\gamma(\text{KN}/\text{m}^3)$	Keterangan
<45	Lunak
>-5	Padat



Gambar 4. Percobaan ke-14 Error 0,1320

Selanjutnya dilakukan penambahan *rule* menjadi 3 seperti pada Tabel 3. sebagai berikut:

Tabel 3. Penambahan *Rule*

<i>Rule</i>	Keterangan		
	Rendah	Sedang	Tinggi
Elevasi(m)	<105	$45 < x < 105$	>45
Sudut($^{\circ}$)	<65	$25 < x < 65$	>25
$\varphi(^{\circ})$	<50	$20 < x < 50$	>20
$\gamma(\text{KN}/\text{m}^3)$	<30	$10 < x < 30$	>10
c(Kpa)	<75	$25 < x < 75$	>25

Hasil nilai *error* didapatkan 0,039218. Penemabahan *rule* menjadi 4 dilakukan akan tetapi terjadi *error* sehingga batas *rule* yang digunakan adalah 3.

Hasil ANFIS Variasi

Hasil ANFIS selanjutnya divariasi berdasarkan jumlah data dan jenis. Hal tersebut dilakukan untuk mencari nilai pengujian *Matrix Confussion* adapun variasi tersebut adalah ; 50, 40, 30, 20 data serta variasi ganjil, genap, kelipatan, SF, beda tinggi, beda kohesi. Hasil ditampilkan pada Tabel 4-7 berikut:

Tabel 4. ANFIS 50 Data

50 Data		
Data	Error	Epoch
Ganjil	0,0203	200
Genap	0,0155	200

Kelipatan 5	0,0291	250
-------------	--------	-----

Tabel 5. ANFIS 40 Data

40 Data		
Data	Error	Epoch
Ganjil	0,0961	100
Genap	0,0097	200
Kelipatan 4	0,0970	50

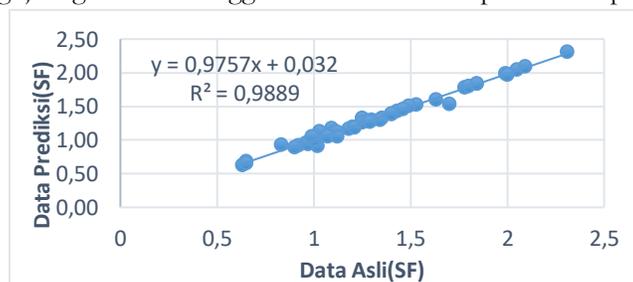
Tabel 6. ANFIS 30 Data

30 Data		
Data	Error	Epoch
Ganjil	0,1104	350
Genap	0,0008	50
Kelipatan 3	0,0357	50

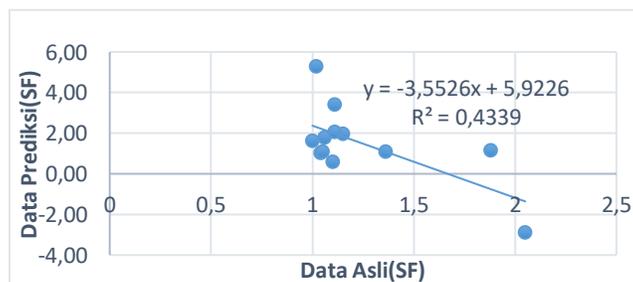
Tabel 7. ANFIS 20 Data

20 Data		
Data	Error	Epoch
Ganjil	0,1359	200
Genap	0,0001	1050
SF	0,0003	200
Beda Tinggi	0,0001	150
Beda Kohesi	0,0001	100

Selanjutnya dilakukan pengujian grafik R^2 menggunakan 60 data didapatkan hasil pada Gambar 5-6:



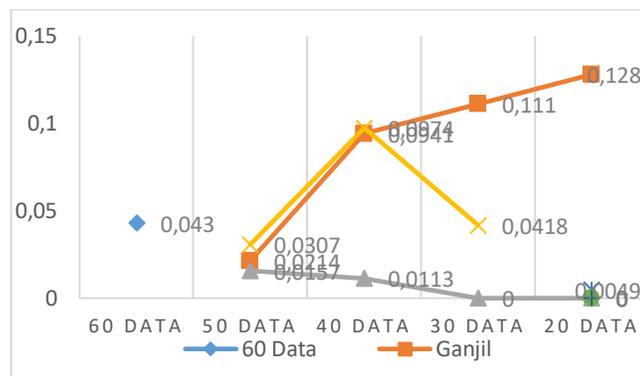
Gambar 5. Grafik Pengujian *Training*



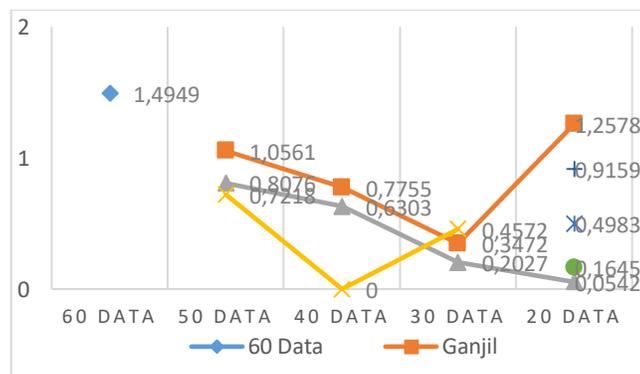
Gambar 6. Grafik Pengujian *Checking*

Gambar 5-6 memperlihatkan hasil dari *training* dan *checking*, didapatkan nilai linier yaitu persamaan dan nilai R^2 dari hasil antara SF asli dan prediksi. Hasil antara *training* dan *checking* didapat perbedaan nilai R^2 yang tinggi, yang mengindikasikan bahwa *training* yang dilakukan bekerja dengan baik, akan tetapi tidak pada *checking*.

Pengecekan RMSE



Gambar 7. Grafik Hasil RMSE *Trainig*



Gambar 8. Grafik Hasil RMSE *Checking*

Pengecekan Matrix Confussion

Tabel 8. Pengecekan Matrix *Confussion*

Data	Nilai			
	<i>Recall</i>	<i>Precision</i>	<i>Accuracy</i>	<i>Error Rate</i>
Data 60	0,893	0,806	0,85	0,15
Data 50				
Ganjil	0,84	0,875	0,86	0,14
Genap	0,87	0,952	0,92	0,08
Kelipatan	0,955	0,875	0,92	0,08

Data 40				
Ganjil	0,889	0,8	0,85	0,15
Genap	0,941	0,889	0,925	0,075
Kelipatan	1	0,95	0,975	0,025
Data 30				
Ganjil	1	0,761	0,833	0,167
Genap	0,917	0,688	0,80	0,20
Kelipatan	0,846	1	0,933	0,067
Data 20				
Ganjil	0,889	0,8	0,85	0,15
Genap	1	0,857	0,95	0,05
SF	1	1	1	0
Beda Tinggi	0,571	1	0,85	0,15
Beda Kohesi	0,778	0,875	0,85	0,15

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil pembahasan serta analisis sebagai berikut:

1. Prediksi ANFIS paling optimal terjadi pada 20 Data Varian SF yang menghasilkan nilai *Recall* sebesar 1, *Precision* sebesar 1, *Accuracy* sebesar 1, serta *Error Rate* sebesar 0.
2. Banyaknya data yang digunakan dalam penelitian berpengaruh terhadap hasil prediksi dari ANFIS.
3. Hasil prediksi antara SF asli terhadap prediksi tergantung oleh *rule* dan *Membership Function*.
4. Pengacakan data mempengaruhi hasil dari prediksi SF ANFIS.
5. Perhitungan akurasi *Matrix Confussion* menunjukkan bahwa data dengan SF lebih dari 1,25 memiliki akurasi tertinggi, dengan hasil *error* terendah.

REFERENSI

- _____. Confussion.www2.cs.uregina.ca/~dbcd/cs831/notes/confusion_matrix.html. Diakses pada 1-Oktober-2017
- Ahangar-Asr, Alireza; Faramazi, Asaad; Javalidi, Akbar A.;2010. *A new approach for prediction of the stability of soil and rock slopes. Engineering Computation: International Journal for Computer-Aided engineering and Softwre* Vol.27 No.7 pp 878-893
- Brassington, Gary; 2017. *Mean absolute error and roor mean square error: which is the metric for assesing model performance?. Geophysical Research Abstracts Vol. 19.* 3574
- Bui, Dieu Tien; Pradhan, Biswajeet; Lofman, Owe; Revhaug, Inge; Dick, Oystein.B; 2012. *Landslide susceptibility mapping at Hoa Binh province (Vietnam) using an adaptive neuro-fuzzy inference system and GIS. Computer and Geosciences* 45. 199-211
- Cabalar, Ali Firat; Cevik, Abdulkadir; Gokceoglu, Candan; 2012. *Some applications of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) in geotechnical engineering. Computers and Geotechnics* 40. 14-33
- Choi, J.;Lee, Y.K.;Lee, M.J.;Kim, K.;Park, Y.;Kim, S.;Goo, S.;Cho, M.;Sim, J.;Won, J.S.;2011. *Landslide Susceptibility Mapping By Using An Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System(ANFIS)*. IGARS 2011. 1989-1992
- Choobbasti, A.J.;Farrokhzad, F; Barari, A;2009. *Prediction of slope stability using artificial neural network (case study:Noabad,Mazandaram,Iran)*. *Arab Jurnal Geosciene* 2. 311-319
- Dawson, E.M.; Roth, W.H.;Drescher, A.; 1999. *Slope stability by strength reduction. Geotechnique* 49 No. 6, 835-840
- Dehnavi, Alireza; Aghdam, Iman Nasiri; Pradhan, Biswajeet; Varzandeh, Mohammad Hossein Morshed; 2015. *A new hybrid model using step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA) technique and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) for regional landslide hazard assessment in Iran. Catena* 135 (2015) 122-148

- Dou, Jie; Yamagishi, Hiromitsu; Pourghasemi, Hamid Reza; Yunus, Ali P.; Song, Xuan; Xu, Yueren; Zhu, Zhongfan; 2015. *An integrated artificial neural network model for the landslide susceptibility of Osado Island, Japan*. Springer
- Fattahi, H.; 2017. *Prediction of slope stability using adaptive neuro-fuzzy inference system based on clustering methods*. *Journal of Mining and Environment* vol.8 no.2 163-177
- Gong, Wenping; Wang, Lei; Khosnevisan, Sara; Juang, C. Hsein; Huang, Hongwei; Zhang, Jie; 2014. *Robust Geotechnical Design of Earth Slopes Using Fuzzy Sets*. *Jurnal Geotech Geoenviron Enggining*. 1-9
- Herman. Bahan Ajar Mekanika Tanah. www.sisfo.itp.ac.id. Diakses pada 28-Mei-2017
- Jang, Jyh-Shing Roger; 1993. ANFIS: *Adaptive-Neuro-Based Fuzzy Inference System*. *IEEE Transaction on System, Man, and Cybernetic Vol. 23 No. 3*. 665-685
- Kayacan, Erdal; Khanesar, Motjaba Ahmadi; 2016. *Fuzzy Neural Network For Real Time Control Applications*. Elsevier
- Kostic, Srdan; Vasovic, Nebojsa; Todorovic, Kristina; Samcovic, Andreja; 2016. *Application of artificial neural network for slope stability analysis in geotechnical practice*. *13th Symposium on Neural Networks and applications (Neural)*. 16-22
- Kurup, Pradeep U.; Griffin, Errin P.; 2006. *Prediction of Soil Composition from CPT Data Using General Regression Neural Network*. *Journal of Computing in Civil Engineering* 20. 281-289
- Kusumadewi, Sri; 2003. *Artificial Intelligence*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Kusumadewi, Sri; Hartini, Sri; 2010. *Neuro-Fuzzy Integrasi Sistem Fuzzy dan Jaringan Syaraf*. Graha Ilmu.
- Matsui, Tamotsu; San, Ka-Ching; 1992. *Finite Element Slope Stability Analysis by Shear Strength Reduction Technique*. *Soil and Foundation Vol. 32 No. 1*. 59-70
- Naba, Agus; 2009. *Belajar Cepat dan Mudah FUZZY Logic Menggunakan MATLAB*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Ni, S.H.; Lu, P.C.; Juang, C.H.; 1996. *A Fuzzy Neural Network Approach to Evaluation of Slope Failure Potential*. *Microcomputer in Civil Engineering* 11. 59-66
- Park, Hyun Il; 2011. *Study for Application of Artificial Neural Networks in Geotechnical Problems*. www.intechopen.com. Diakses tanggal 8-Juni-2017
- Rong, Hai-Jun; Yang, Zhao-Xu; Wong, Pak Kin; Vong, Chi Man; Zhao, Guang-She; 2016. *A Novel Meta-Cognitive Fuzzy-Neural Model with Backstepping Strategy for Adaptive Control of Uncertain Nonlinear System*. *Neurocomputing*.
- Sakellariou, M.G.; Ferentinou, M.D.; 2005. *A study of slope stability prediction using neural networks*. *Geotechnical and Geological Engineering* 23. 419-445
- Sdao, F.; Lioi, D.S.; Pascale S.; Caniani D.; Mancini I.M.; 2013. *Landslide susceptibility assesment by using a neuro fuzzy model : a case study in the Rupestarian heritage rich area of Matera*. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 13. 395-407
- Silva, Amanda Viera e; Neto, Silvrano Adonias Dantas; Filho, Franssco de Assis de Sousa; 2016. *A Simplified Method fo Risk Assesment i Slope Stability Analysis of Earth Dams Using Fuzzy Numbers*. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering Bund. 10*. 3607-3624
- Sulewska, Maria J.; 2011. *Applying Artificial Neural Networks for analysis of geotechnical problems*. *Computer Assisted Mechanics adn Engineering Sciences* 18. 231-241
- Surendro, Bambang; 2015. *Mekanika Tanah Teori, Soal, dan Penyelesaian*. Penerbit Andi
- Surjandari, Niken Silmi.; Djajaputra, A. Aziz.; Prabandayani R.W, Sri; 2010. *Artificial Neural Network Model For Analysis Ultimit Bearing Capacity Of Single Pile*. *Dinamika Teknik Sipil* vol. 10. 227-232

Surjandari, Niken Silmi; Setiono; 2008. Model *Artificial Neural Network* Untuk Perhitungan Daya Dukung Ultimit Pondasi Tiang. Universitas Sebelas Maret

Tayfur, Gokmen; Erdem, Tahir Kemal, Kirca, Onder; 2014. *Strength Prediction of High-Strength Concrete by Fuzzy Logic and Artificial Neural Network*. *Jurnal Material Civil Enggining* 26.1-7

Tsangaratos ,P.; Benardos, A.;2013. *Applying artificial Neural Network in Slope Stability Related Phenomena*. *Bulletin of the Geological Society of Greece vol. XLVII* 2013

Viharos, Dr. Zs.J. ; Kis, K. B.; 2015. *Survey on Neuro-Fuzzy Systems and their Appication in Technical Diagnostics and Measurement*. *Measurement vol. 67*. 126-136

Wang, H.B.; Xu, W.Y.; Xu, R.C.; 2005. *Slope stability evaluation using Back Propagation Neural Networks*. *Engineering Geology* 80. 302-315