

Ramalan Kestabilan Cerun yang Diperkukuhkan Menggunakan Cerucuk Menggunakan Model Sistem Inferens Neuro-Fuzzy Adaptif (ANFIS) (Prediction Reinforced Slope Stability Using Pile Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) Model)

Noraida Mohd Saim^{a*} & Anuar Kasa^b

^a*School of Civil Engineering, College of Engineering, Universiti Teknologi Mara, Shah Alam Selangor, 40450 Malaysia*

^b*Jabatan Kejuruteraan Awam, Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi, Selangor, Malaysia*

*Corresponding author: aidams2000@uitm.edu.my

Received 14 September 2023, Received in revised form 20 October 2023

Accepted 20 November 2023, Available online 30 March 2024

ABSTRACT

Predictive analysis using artificial intelligence (AI) has transformed the landscape of forecasting analysis in various research fields. The advancements in AI modelling algorithms have enhanced decision-making, trend identification, and process optimization. In geotechnical engineering, AI assists in predicting soil behaviour, structural stability, and slope stability. The AI model discussed in this paper is the Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). In this study, the ANFIS model predicts slope stability by examining the Factor of Safety (FOS) value. Slope stability analyses reinforced with continuous bored pile walls generated by the numerical computation of the finite element method (FEM) in two dimensions (2D) and three dimensions (3D) are compared with the predictions of the ANFIS model. The numerical FEM computations employ PLAXIS 2D and PLAXIS 3D software. Meanwhile, the ANFIS model is designed within the MATLAB software platform involving 112 data samples. With six input pile parameters and one output, the finding shows that the ANFIS model can learn complex non-linear data and accurately predict the output. This is supported by the R^2 values of 0.9771 and 0.9965 from comparing the forecasting output with the 2D and 3D FEM outputs, respectively. Meanwhile, the low RMSE values of 0.0187 and 0.0180 each confirm this.

Keywords: Artificial intelligence; Stabilised Slope stability; Factor of safety; FEM; ANFIS

ABSTRAK

Analisis ramalan menggunakan kecerdasan buatan (AI) telah mengubah lanskap analisis ramalan di dalam pelbagai bidang penyelidikan. Kemajuan algoritma model AI meningkatkan pembuatan keputusan, mengenal pasti tren, dan mengoptimalkan proses. Manakala dalam kejuruteraan geoteknik, AI membantu meramal perilaku tanah, kestabilan struktur serta kestabilan cerun. Model AI yang dibincangkan di dalam kertas kajian ini ialah Model Sistem Inferens Neuro-Fuzzy Adaptif (ANFIS). Dalam kajian ini model ANFIS meramalkan kestabilan cerun dengan melihat nilai Faktor keselamatan (FOS). Analisa kestabilan cerun yang diperkukuhkan menggunakan dinding cerucuk konkrit terjara berterusan yang dihasilkan oleh pengiraan berangka kaedah unsur terhingga (FEM) dua dimensi (2D) dan tiga dimensi (3D) dibandingkan dengan ramalan model ANFIS. Pengiraan berangka FEM menggunakan perisian PLAXIS 2D dan PLAXIS 3D. Manakala model ANFIS direkabentuk di dalam platform perisian MATLAB melibatkan 112 sampel data. Dengan enam input parameter cerucuk dan satu output iaitu nilai FOS, model ramalan ANFIS mampu mempelajari data tak lurus yang kompleks dan menghasilkan ramalan yang tepat. Ini disokong dengan nilai R^2 iaitu 0.9771 dan 0.9965 daripada perbandingan output ramalan dengan output FEM 2D dan FEM 3D. Manakala nilai RMSE yang rendah iaitu 0.0187 dan 0.0180 setiap satunya juga merupakan indikator kepada prestasi ramalan tersebut.

Kata Kunci: Kecerdasan buatan; Kestabilan cerun diperkukuhkan; Faktor keselamatan; FEM; ANFIS

PENGENALAN

Dalam era yang menunjukkan perkembangan infrastruktur yang semakin pesat merangkumi pelbagai kawasan dan latar belakang geologi sesebuah kawasan serta apabila analisis masa nyata diperlukan dalam masa yang singkat, maka terdapat keperluan untuk memperkaya kaedah konvensional (Kaedah Keseimbangan Had, *LEM* dan Kaedah Unsur Terhingga, *FEM*) dalam menganalisa kestabilan cerun iaitu dengan teknologi perkomputeran yang lebih canggih. Pembangunan model kecerdasan buatan (AI) telah mendapat perhatian dengan kemampuannya membuat ramalan terhadap perilaku dan masalah berkaitan tanah dan batuan termasuk kestabilan cerun (Baghbani et al. 2022). Dengan memberikan input kepada sesuatu model permasalahan yang telah dilatih, hasil yang tepat dapat dihasilkan menggunakan AI. Antara rasional mengintegrasikan AI ialah kerana algoritma AI mempunyai kekuatan perkomputeran yang menawarkan kemampuan untuk mentafsirkan kod yang rumit dalam data yang tidak dapat diselesaikan menggunakan kaedah konvensional. Keupayaannya untuk memproses set data yang besar dengan cepat dapat merevolusikan analisis masa nyata, dengan itu membolehkan dapatan respon dengan lebih pantas dalam situasi kritikal (Alzubaidi et al 2021; Maulana et al. 2022; Goel et al. 2023).

ANFIS adalah gabungan Rangkaian Neural Buatan (ANN) dan *Fuzzy Logic* (FL) yang menjanjikan adaptabiliti dan ketepatan dalam pemodelan sistem yang lebih kompleks. ANFIS diperkenalkan oleh Jang (1993). Dengan menggunakan prosedur pembelajaran hibrid, ANFIS memperkembangkan parameter untuk mengoptimumkan prestasi sistem. Ini bagi memastikan bahawa sistem dapat menyesuaikan diri dan belajar daripada data, membolehkannya menangani tugas pemodelan yang kompleks dan bukan linear.

Banyak kajian yang telah dilakukan dalam mengintegrasikan model ANFIS untuk meramal kestabilan cerun dengan input pelbagai geometri cerun dan parameter kekuatan tanah (Mohamed et al. 2012; Alias et al. 2017; Omar et al. 2021; Vafaei 2021). Namun kajian tersebut lebih kepada keadaan cerun sedia ada. Berbeza dengan kertas kajian ini, yang melihat ramalan kestabilan ke atas cerun yang diperkukuhkan menggunakan dinding cerucuk konkrit berterusan. Dengan melihat pengaruh parameter cerucuk, cerun kajian ini adalah ditetapkan ke atas cerun yang dipilih berhampiran Taman Bukit Utama, Ampang Jaya, Selangor, Malaysia. Oleh itu, ciri fizikal tanah dan ciri kejuruteraan tanah adalah konsisten berdasarkan laporan penyiasatan tapak yang telah dijalankan.

Berdasarkan laporan penyiasatan tapak dan kajian literasi (Tan & Tajul 2010 dan Lim et al. 2019), didapati

latar belakang geomorfologi dan geologi kawasan kajian yang kompleks serta berada dalam jajaran Bukit Antarabangsa yang pernah mengalami kejadian tanah runtuh pada tahun 2008 memerlukan kaedah pengukuhan cerun yang dapat menjamin kestabilan jangka masa panjang dan berterusan.

Oleh itu, kaedah pengukuhan cerun yang efektif walaupun lebih mencabar dari segi kaedah pembinaan, logistik dan kos perlu dibina berbanding kaedah tembok penahan konkrit biasa, tembok graviti atau cerucuk keping. Dinding cerucuk terjara berterusan yang boleh ditambatkan jauh ke dasar lapisan tanah dapat menghalang pergerakan tanah dan bertindak sebagai dinding sekatan kedap air dan mengurangkan aliran air bawah tanah

Oleh yang demikian, analisa kestabilan terhadap cerun sedia ada dan ramalan kestabilan cerun diperkukuhkan adalah sangat penting bagi memastikan penilaian dilakukan dengan tepat dalam merekabentuk kaedah pengukuhan cerun yang paling sesuai untuk mengelakkan kejadian kegagalan cerun pada masa akan datang.

Kestabilan cerun diukur berdasarkan nilai faktor keselamatan (FOS) sesuatu cerun berdasarkan parameter tanah seperti ciri fizikal dan ciri kejuruteraan tanah. Bagi cerun yang diperkukuhkan, parameter kaedah pengukuhan turut memainkan peranan. Kaedah analisa FEM telah banyak diadaptasi dalam kestabilan cerun. Mohamed et al. (2022) menjelaskan dengan lanjut bahawa pengiraan FEM 2D dan 3D melibatkan diskritisasi cerun menjadi unsur terhingga dan mengaplikasikan model konstitutif yang sesuai untuk menggambarkan tingkah laku tanah atau batuan. Kaedah ini boleh merangkumi faktor ciri kekuatan tanah, tekanan air liang, dan parameter lain yang relevan untuk mensimulasikan tindak balas cerun dalam keadaan bebanan dan persekitaran yang berbeza. Dengan menganalisa ciri keseimbangan dan deformasi cerun, model berangka dapat menilai faktor keselamatan dan membantu dalam rekabentuk pengukuhan yang berkesan.

Menggabungkan data analisa FEM yang telah diuji dengan ketepatan dan kecekapan AI, membuka ruang untuk menentukan semula piawaian analisis kestabilan cerun serta memastikan projek infrastruktur yang lebih selamat dan mampan. Oleh itu, kajian ini mengeksplorasi kemajuan AI yang diintegrasikan dengan 2D FEM dan 3D FEM dalam analisa kestabilan cerun yang diperkukuhkan dengan cerucuk konkrit terjara berterusan di tapak bina.

KAEDAH KAJIAN

Kaedah pengukuhan cerun yang dipertimbangkan merujuk kepada latar belakang geologi dan geomorfologi kawasan kajian cerun. Rajah 1 menunjukkan lokasi kawasan kajian.



RAJAH 1. Kawasan kajian cerun

Sebanyak 112 rekabentuk cerun diperkukuhkan menggunakan cerucuk dengan mempertimbangkan parameter seperti bilangan baris cerucuk, diameter cerucuk, panjang cerucuk dan kedudukan cerucuk yang menjadi input parameter seperti yang ditunjukkan di dalam Jadual 1. Panjang cerucuk ditentukan berdasarkan nisbah L/H dan kedudukan cerucuk merujuk kepada nisbah (X_p/L_x) . Manakala parameter hasil adalah nilai FOS daripada pengiraan berangka FEM 2D dan 3D. Rajah 2 menunjukkan antara contoh lakaran skematik kedudukan cerucuk.

Kaedah dalam kajian ini dibahagikan kepada empat langkah seperti berikut;

Langkah satu: Rekabentuk cerun yang diperkukuhkan dengan pelbagai paramater cerucuk seperti yang ditunjukkan di Jadual 1.0 ke atas geometri cerun yang telah ditetapkan. Cerun kajian sedia ada telah dikenalpasti mempunyai nilai FOS kurang daripada 1.30 iaitu nilai minima yang dibenarkan bagi cerun tanpa pengukuhan di Malaysia berdasarkan garis panduan rekabentuk cerun oleh Jabatan Kerja Raya, Malaysia (JKR, 2010). Oleh itu kaedah pengukuhan cerun perlu dilakukan bagi mengelakkan berlakunya kegagalan cerun.

Langkah dua: Melakukan pengiraan berangka kaedah FEM 2D dan 3D bagi mendapatkan nilai FOS menggunakan perisian komputer iaitu PLAXIS yang terkenal dengan kebolehannya mengoptimumkan tugas kejuruteraan (Hemeda 2022). PLAXIS membolehkan pengguna

memodelkan tanah, struktur, dan beban dengan mewakili mereka dengan elemen terHINGGA.

Langkah ketiga: Selepas menjalankan analisis kestabilan, ANFIS telah digunakan untuk merumus pemetaan dari input yang diberikan kepada hasil yang dijana. Pemetaan tersebut kemudian memberikan asas di mana keputusan boleh dibuat, atau tren dapat dikenal pasti.

Langkah keempat: Pembentukan model ANFIS untuk menguji kestabilan cerun yang diperkukuhkan. Nilai FOS ramalan model ANFIS dibandingkan dengan nilai FOS yang dihasilkan FEM 2D dan FEM 3D. Prestasi ramalan model ANFIS dinilai dengan membandingkan nilai hasil ramalan dengan nilai sasaran menggunakan pekali penentuan (R^2) dan ralat punca min kuasa dua (RMSE).

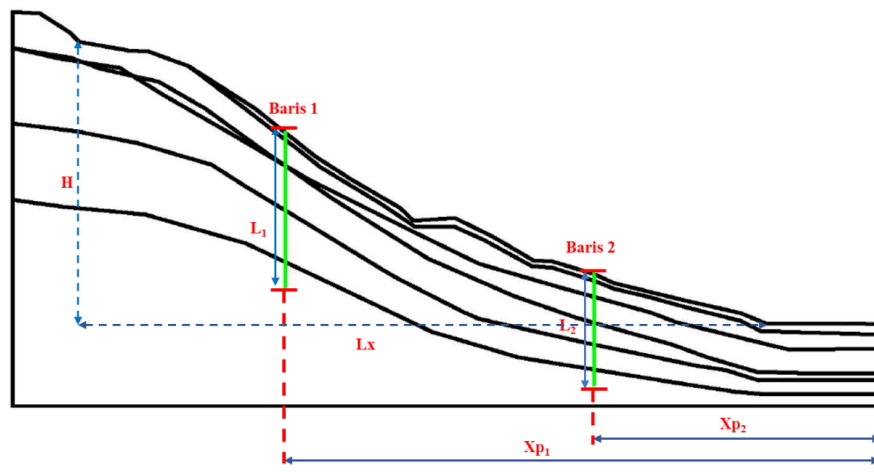
Model ANFIS dalam kajian diadaptasi menggunakan MATLAB ANFIS Editor Toolbox versi 2023a. Dengan menggunakan set data input dan hasil, ANFIS membina FIS (*Fuzzy Inference System*) dengan menggunakan parameter FIS jenis Sugeno. Set data dimuatkan menggunakan kaedah petakan grid (*grid partition*). Pada bahagian input, fungsi keanggotaan (MF) jenis *gbellmf* bersama-sama dengan bilangan MF sebanyak dua telah dipilih untuk digunakan. MF jenis linear digunakan di bahagian output. Struktur model ANFIS yang digunakan adalah seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3. Sistem ini mempunyai enam input, dua belas MF input, 64 peraturan dan 64 MF output untuk menghasilkan satu hasil.

JADUAL 1 Parameter input, definisi dan julat nilai

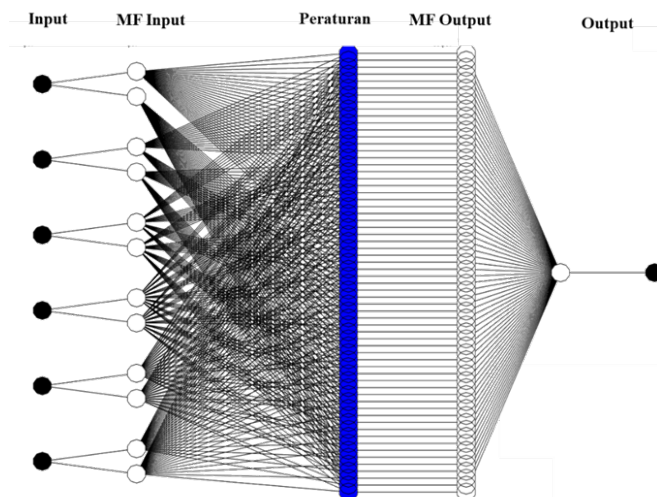
Input	unit	Julat nilai
Bilangan baris cerucuk	nombor	1-2
Diameter cerucuk	m	0.80 – 1.50
Panjang cerucuk 1 (L_1)	m	Nisbah $L/H = 0.30 - 0.75$
Kedudukan cerucuk 1 (Xp_1) (dari kaki cerun)	m	Nisbah $Xp_1/Lx = 0.00 - 1.00$
Panjang cerucuk 2 (L_2)	m	Nisbah $L/H = 0.30 - 0.75$
Kedudukan cerucuk 2 (Xp_2) (dari kaki cerun)	m	Nisbah $Xp_2/Lx = 0.00 - 1.00$

Model ANFIS dilatih menggunakan algoritma pembelajaran hibrid iaitu dengan menggabungkan kaedah kuasa dua terkecil dan kaedah *backpropagation gradient descent* dalam sebuah rangkaian. Bilangan ralat had-terima untuk pembelajaran ditetapkan kepada sifar dan bilangan

epoch (iterasi) ditetapkan kepada 100. Model ANFIS dilatih melalui proses latihan data (*training*) dan kemudian diuji (*test*) serta di buat pegesahan (*validation*) terhadap set data yang dilatih bagi memastikan model tersebut dapat membuat ramalan yang tepat.



RAJAH 2. Lakaran skematik kedudukan cerucuk

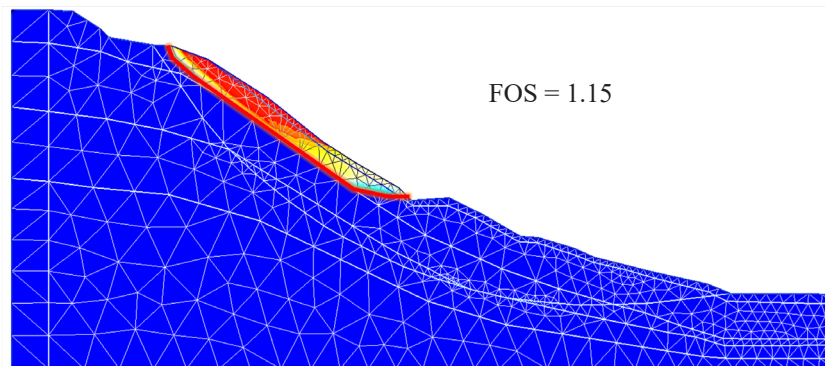


RAJAH 3. Skruktur ANFIS

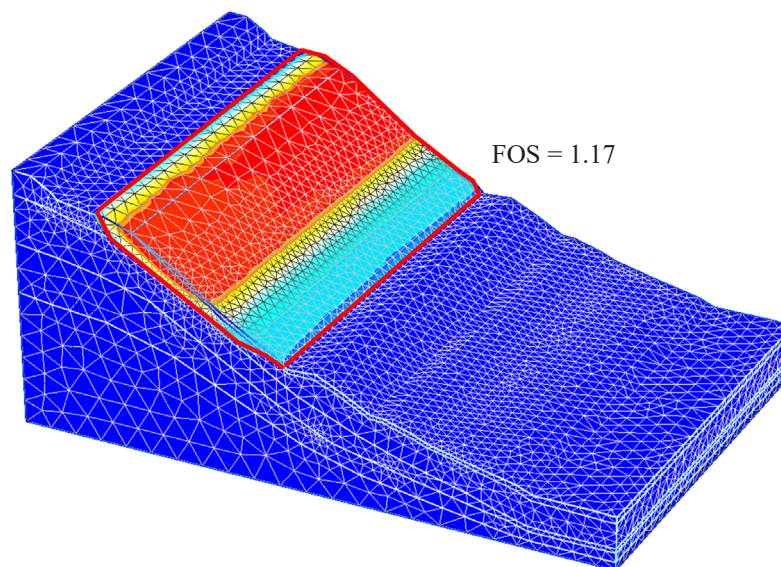
KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Nilai FOS bagi cerun sedia ada yang belum diperkukuhkan terlebih dahulu ditentukan dengan menganalisa kestabilan cerun menggunakan pengiraan berangka FEM 2D dan 3D. Rajah 4 menunjukkan permukaan gelinciran kritikal dan nilai FOS bagi cerun sedia ada. Dengan menjana saiz

jejaring halus keatas geometri cerun, nilai FOS yang dihasilkan ialah 1.15 (FEM 2D) dan 1.17 (FEM 3D). Oleh kerana nilai FOS cerun sedia ada lebih rendah daripada 1.30, maka kaedah pengukuhan cerun perlu dilakukan. Ralat antara keduanya sebanyak 1.7%. Dapatan ini selari dengan kajian oleh Mohamed et al. (2022) dan laporan oleh Liu Jie-Qun and Liu Jin-Long (2012) dimana FEM 3D menghasilkan nilai FOS yang lebih besar berbanding FEM 2D.



(a) Permukaan gelinciran kritikal cerun sedia ada dan nilai FOS yang dihasilkan pengiraan FEM 2D

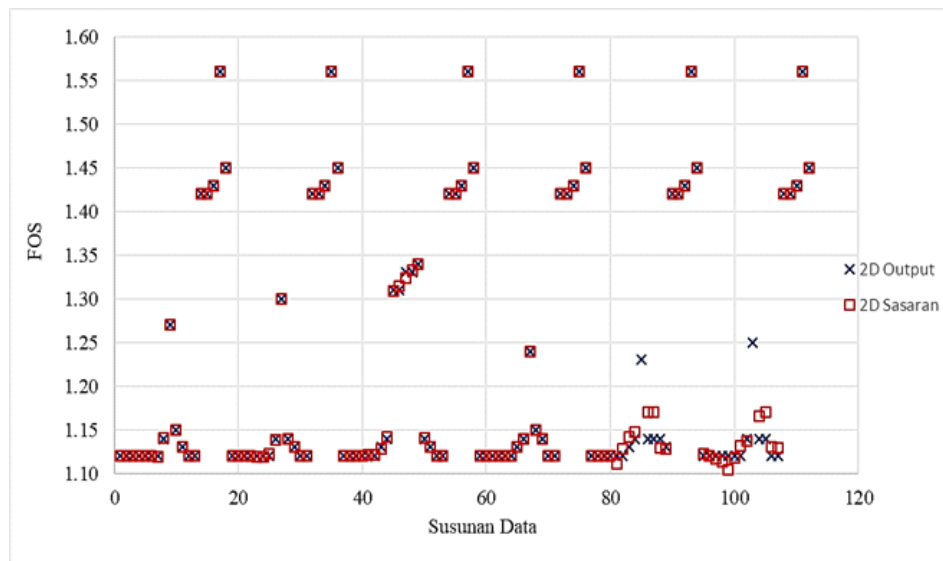


(b) Permukaan gelinciran kritikal cerun sedia ada dan nilai FOS yang dihasilkan pengiraan FEM 3D

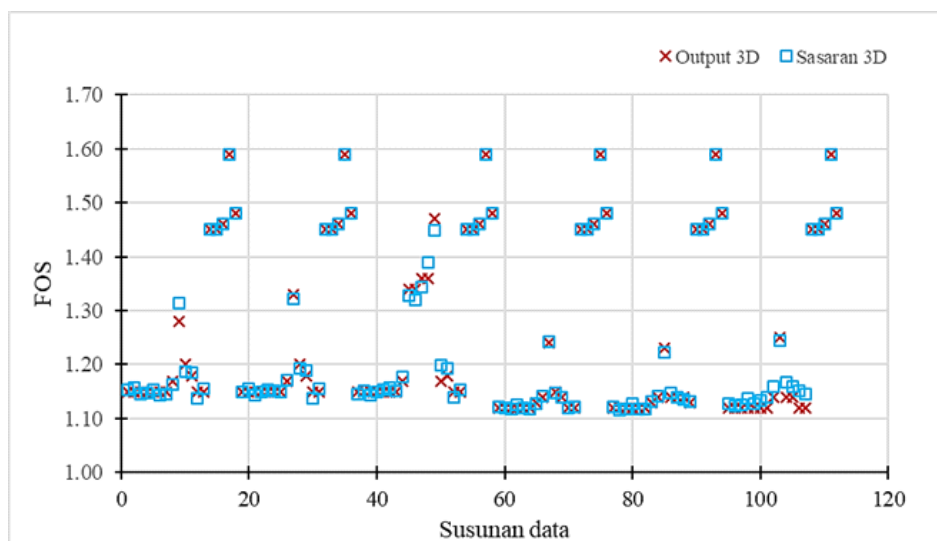
RAJAH 4. Permukaan gelinciran krtitikal dan nilai FOS cerun sedia ada.

Seterusnya, bagi memastikan rekabentuk pengukuhan cerun yang stabil, pelbagai parameter cerucuk dianalisa. Dapatan nilai FOS daripada pengiraan FEM 2D dan 3D

FEM dibandingkan dengan ramalan model ANFIS. Rajah 5 dan Rajah 6 menunjukkan hasil ramalan model ANFIS dengan plot hasil nilai FOS FEM 2D dan nilai FOS FEM 3D.



RAJAH 5. Hasil ramalan model ANFIS dengan hasil FEM 2D



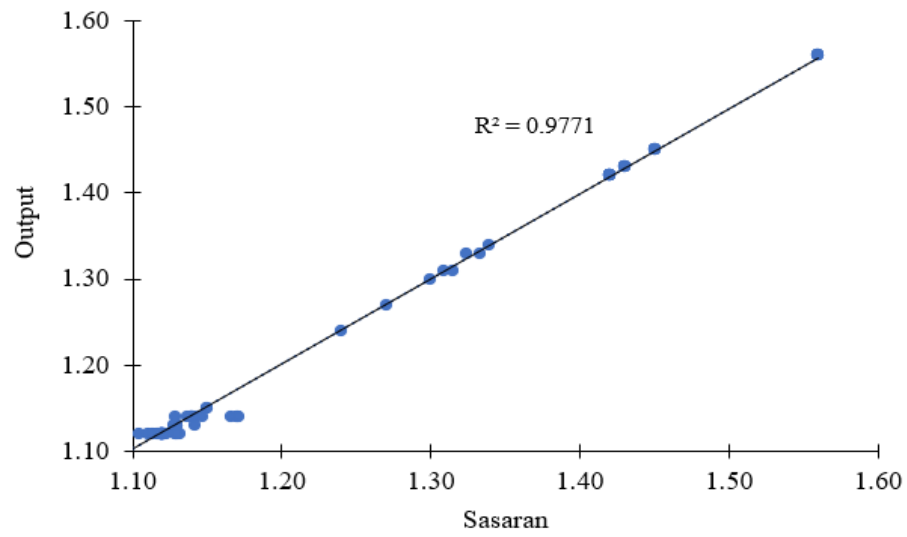
RAJAH 6. Hasil ramalan model ANFIS dengan hasil FEM 3D

Berdasarkan Rajah 5 dan Rajah 6, dapat dilihat kebanyakan data sasaran (ramalan) adalah bertindihan dengan data hasil FEM 2D dan tren yang sama juga melibatkan data hasil FEM 3D. Ini merupakan antara indikator ketepatan ramalan model ANFIS.

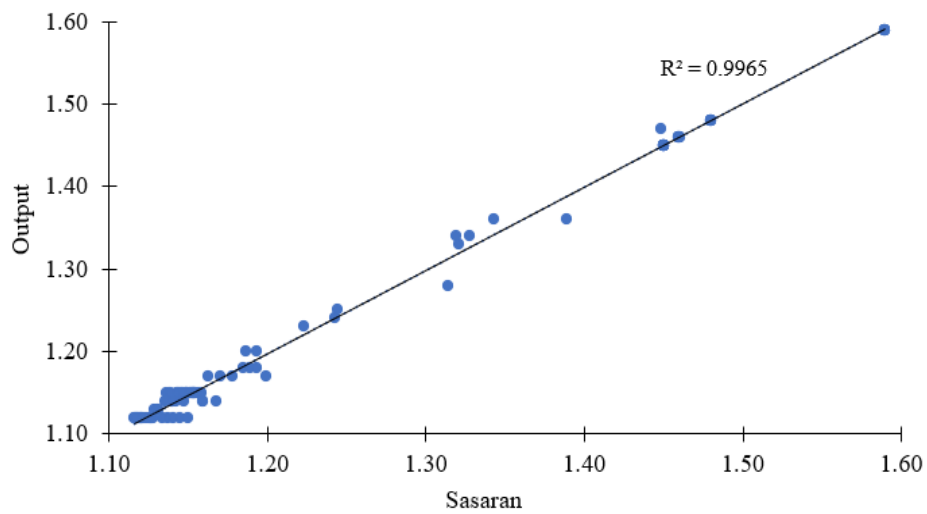
Pretasi ini disokong dengan nilai pekali penentuan, R^2 yang dihasilkan antara keduanya seperti yang ditunjukkan pada Rajah 7 dan Rajah 8. Nilai R^2 adalah petunjuk kekuatan hubungan antara model dan data sebenar. Julat nilai R^2 adalah dari 0 hingga 1 (Mottaghi et al. 2022). Nilai

R^2 yang dihasilkan keduanya melebihi 0.96 iaitu 0.9771 dan 0.9965 masing-masing bagi perbandingan model ANFIS dengan hasil FEM 2D dan FEM 3D. Nilai R^2 yang menghampiri 1.00 menunjukkan hasil ramalan ANFIS menghampiri nilai sebenar hasil.

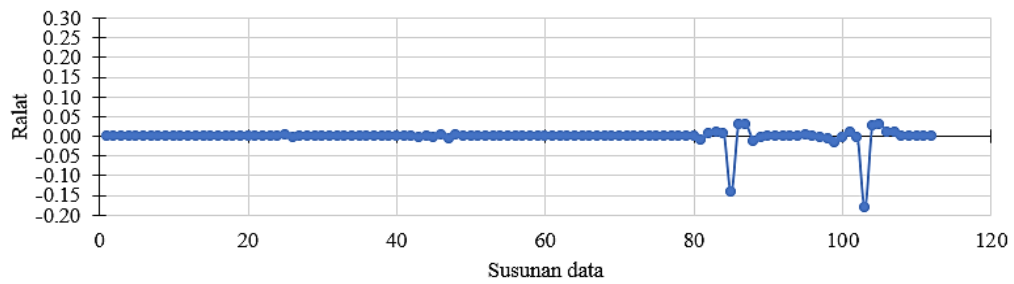
Seterusnya nilai ralat punca min kuasa dua (RMSE) melihat ralat daripada perbandingan hasil ramalan model ANFIS dan hasil FEM. Nilai RMSE adalah ukuran yang menunjukkan seberapa besar ralat antara nilai yang diramalkan oleh model dan nilai sebenar.



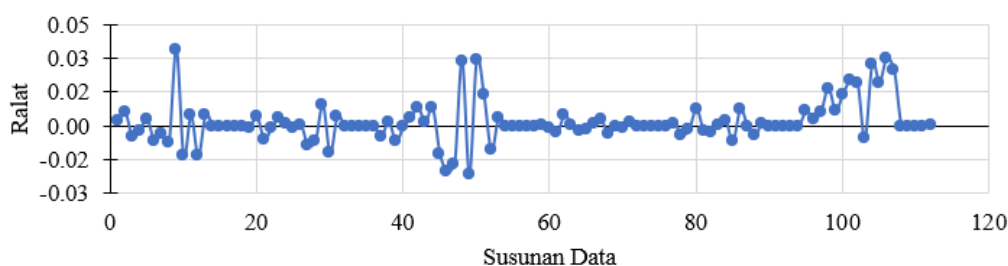
RAJAH 7. Perbandingan nilai FOS sasaran melawan nilai hasil FOS FEM 2D



RAJAH 8. Perbandingan nilai FOS sasaran melawan nilai hasil FOS FEM 3D



RAJAH 9. Ralat hasil ramalan model ANFIS nilai hasil FOS FEM 2D



RAJAH 10. Ralat hasil ramalan model ANFIS nilai hasil FOS FEM 2D

Rajah 9 dan Rajah 10 menunjukkan plot ralat. Jumlah ralat bagi keseluruhan bilangan data tersebut kemudiannya dipunca min kuasa duakan untuk memberi nilai RMSE. Perbandingan data hasil dan ramalan bagi FEM 2D dan FEM 3D ialah RMSE bersamaan 0.0187 dan RMSE bersamaan 0.0180 bagi setiap satu. Nilai RMSE yang kecil menunjukkan nilai ramalan dan nilai hasil yang sebenar tidak mempunyai perbezaan yang besar (Rohman et al. 2015).

Dengan merujuk kepada pekali penentuan R^2 dan nilai RMSE, dapatan ini dilihat selari dengan hasil kajian oleh Alaneme et al. 2021 dan Omar et al. 2021 dalam melihat kemampuan ramalan menggunakan model ANFIS. Secara keseluruhannya, model ANFIS yang digunakan dalam kajian ini dapat membuat ramalan FOS cerun yang diperkukuhkan dengan baik berdasarkan indeks prestasi yang sangat memuaskan.

KESIMPULAN

Secara keseluruhannya, kertas kajian ini berkaitan dengan ramalan kestabilan cerun diperkukuhkan menggunakan dinding cerucuk konkrit terjara berterusan. Kaedah analisa geoteknikal konvensional walaupun terbukti dan boleh diharapkan, namun kadangkala berhadapan dengan kesukaran apabila melibatkan keadaan struktur geologi yang kompleks. Oleh itu, memerlukan penekanan terhadap penyelesaian yang lebih inovatif dengan mengeksplorasi kemajuan AI dalam analisa kestabilan cerun samada cerun semulajadi atau cerun buatan bagi tujuan tertentu dalam kerja-kerja pembinaan.

Integrasi model ANFIS dengan output FOS FEM 2D dan 3D dalam meramalkan kestabilan cerun menunjukkan kemampuan model ANFIS memahami dan mempelajari hubungan enam input yang berbeza dalam menghasilkan output yang tepat. Berdasarkan nilai pekali penentuan R^2 dan nilai RMSE, boleh disimpulkan model ANFIS didalam kajian ini mampu menghasilkan ramalan nilai FOS yang tepat bagi cerun diperkukuhkan menggunakan dinding cerucuk konkrit terjara berterusan.

PENGHARGAAN

Pengarang ingin mengucapkan terima kasih kepada Universiti Teknologi Mara dan Universiti Kebangsaan Malaysia di atas bantuan dana dalam menjayakan projek ini.

PENGISYTIHARAN KEPENTINGAN BERSAING

Tiada

RUJUKAN

- Alaneme, G. U., Mbadike, E. M., Iro, U. I., Udousoro, I. M., & Ifejimalu, W. C. 2021. Adaptive neuro-fuzzy inference system prediction model for the mechanical behaviour of rice husk ash and periwinkle shell concrete blend for sustainable construction. *Asian Journal of Civil Engineering*, 22, 959–974.
- Alias, R., Kasa, A., & Matlan, S. J. 2017. Comparison of ANN and ANFIS models for stability prediction of cantilever reinforced concrete retaining walls. *International Journal of Engineering Advanced Technology*, 7(2), 165–167.
- Alzubaidi, L., Zhang, J., Humaidi, A. J., Al-Dujaili, A., Duan, Y., Al-Shamma, O., ... & Farhan, L. 2021. Review of deep learning: Concepts, CNN architectures, challenges, applications, future directions. *Journal of Big Data*, 8, 1–74.
- Baghbani, A., Choudhury, T., Costa, S., & Reiner, J. 2022. Application of artificial intelligence in geotechnical engineering: A state-of-the-art review. *Earth-Science Reviews*, 228, 103991.
- Goel, A., Goel, A. K., & Kumar, A. 2023. The role of artificial neural network and machine learning in utilizing spatial information. *Spatial Information Research*, 31(3), 275–285.

- Hemeda, S. 2022. Geotechnical modelling and subsurface analysis of complex underground structures using PLAXIS 3D, *International Journal of Geo-Engineering*, 13(1), 9.
- Jabatan Kerja Raya, JKR Malaysia. 2010. Guidelines for Slope Design, Jan 2010 ed. Slope Engineering Branch
- Jang, J. S. 1993. ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. *IEEE transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 23(3), 665–685.
- Lim, C. S., Jamaluddin, T. A., & Komoo, I. 2019. Tanah runtuh cetusan manusia di Bukit Antarabangsa, Hulu Kelang, Selangor (Human-induced landslides at Bukit Antarabangsa, Hulu Kelang, Selangor). *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 67, 9–20.
- Liu Jie-Qun and Liu Jin-Long. 2012. Slope Stability Comparatively Analyzed with 2D and 3D FEM, *Applied Mechanics and Materials, Applied Mechanics and Materials Online: 2012-11-12* ISSN: 1662–7482, Vols. 220–223, pp 2908-2911.
- Mohamed, T., Kasa, A., & Taha, M. R. 2012. Fuzzy logic system for slope stability prediction. *International Journal of Advanced Science Engineering Information Technology*, 2(2), 38.
- Mottaghi, S.; Nazari, M.; Fattahi, S.M.; Nazari, M.; Babamohammadi, S. 2020. Droplet size prediction in a microfluidic flow-focusing device using an adaptive network based fuzzy inference system. *Biomed. Microdevices*, 22, 61.
- Omar, M. B. H. C., Che Mamat, R., Abdul Rasam, A. R., Ramli, A., & Samad, A. (2021). Artificial intelligence application for predicting slope stability on soft ground: A comparative study. *International Journal of Advanced Technology Engineering Exploration*, 8, 362–370.
- PLAXIS 3D Reference Manual, Last updated June 2020, ver. March 2020, Bentley.
- Rohman, F. S., Sata, S. A., & Aziz, N. 2015. Application of Derivative-Free Estimator for Semi Batch Autocatalytic Esterification Reactor: Comparison Study of Unscented Kalman Filter, Divided Difference Kalman Filter and Cubature Kalman Filter. In *Computer Aided Chemical Engineering* (Vol. 37, pp. 329–334). Elsevier.
- Tan Siang Fei dan Tajul Anuar Jamaluddin. 1999. Geologi kejuruteraan kawasan Taman Bukit Utama, Ulu Kelang-Ampang. *Warta Geologi*, 25(3).
- Vafaei, B. 2021. Prediction of Critical Factor of Safety in Soil Slopes Using Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System (ANFIS). <https://doi.org/10.31219/osf.io/txkrc>
- Wang, W., & Lu, Y. 2018. Analysis of the mean absolute error (MAE) and the root mean square error (RMSE) in assessing rounding model. In *IOP conference series: materials science and engineering* (Vol. 324, p. 012049). IOP Publishing.