



Prediksi Voltage Stability Index (VSI) Metode Artificial Neural Network (ANN) untuk Mendeteksi Tegangan Jatuh

Dimas Fajar Uman Putra¹, Aji Akbar Firdaus^{2✉}, Novian Uman Putra³, Ontoseno Penangsang⁴

^{1,4}Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

²Departemen Teknik, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia

³Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Surabaya, Indonesia

aji.akbar.firdaus11@gmail.com

Abstract

Voltage stability shows the system's ability to maintain the voltage value at a bus under normal conditions and after a disturbance occurs. If there is a disturbance in the power system network, it will cause a gradual and uncontrolled voltage drop so that the voltage on the network is unstable. Voltage instability can also be caused by a mismatch between reactive power supply and demand, namely the inability of the system to meet reactive power requirements. Voltage stability analysis is needed in the planning or operation of electric power systems. This will have an impact on decreasing the system voltage and result in a voltage collapse and will be fatal resulting in a partial or total system blackout. If there is a change in load on a line, it can cause a decrease in the voltage profile. Predicting the value of additional loading on a bus based on a voltage stability analysis can be done to detect the occurrence of a voltage drop. There are various methods for analyzing voltage stability, one of which is the point of voltage instability which can be determined using the Fast Voltage Stability Index (FVSI) method. Artificial Neural Network (ANN) is chosen in this problem to predict the value of the additional loading. Based on the prediction results, ANN provides prediction results with an average absolute percentage error (Mean Absolute Percentage Error) close to 0%. Then the results of calculating the voltage stability index using the FVSI method obtained the highest FVSI value on the channel from bus 19 to bus 20 of 0.63358 when the reactive load on bus 20 was increased to 8045.51 kVAR. This shows that the channel between bus 19 and 20 is the most critical channel.

Keywords: Prediction, Voltage Stability Index (VSI), Artificial Neural Network (ANN), Electric Power, Voltage Stability.

Abstrak

Kestabilan tegangan menunjukkan kemampuan sistem dalam menjaga nilai tegangan di suatu bus pada kondisi normal maupun setelah terjadi gangguan. Apabila pada jaringan sistem tenaga listrik terjadi gangguan, maka akan menyebabkan penurunan tegangan secara bertahap dan tidak terkendali sehingga tegangan pada jaringan mengalami ketidakstabilan. Ketidakstabilan tegangan juga dapat disebabkan karena adanya ketidaksesuaian antara suplai dan permintaan daya reaktif, yaitu ketidakmampuan sistem untuk memenuhi kebutuhan daya reaktif. Analisis stabilitas tegangan diperlukan dalam perencanaan ataupun operasi sistem tenaga listrik. Hal itu akan berdampak pada penurunan tegangan sistem dan mengakibatkan terjadinya tegangan runtuh (*voltage collapse*) dan akan berakibat fatal sehingga terjadi pemadaman sistem sebagian atau total (*blackout*). Apabila terdapat perubahan pembebanan pada suatu saluran, maka dapat menyebabkan menurunnya profil tegangan. Memprediksi nilai penambahan pembebanan pada suatu bus berdasarkan analisis stabilitas tegangan dapat dilakukan untuk mendeteksi terjadinya tegangan jatuh. Terdapat berbagai metode untuk menganalisis stabilitas tegangan, salah satunya yaitu titik ketidakstabilan tegangan dapat ditentukan dengan menggunakan metode *Fast Voltage Stability Index* (FVSI). *Artificial Neural Network* (ANN) dipilih dalam permasalahan ini untuk memprediksi nilai penambahan pembebanan. Berdasarkan hasil prediksi, ANN memberikan hasil prediksi dengan rata-rata persentase kesalahan mutlak (*Mean Absolute Percentage Error*) mendekati 0%. Kemudian hasil perhitungan indeks stabilitas tegangan dengan metode FVSI didapatkan nilai FVSI tertinggi berada pada saluran dari bus 19 ke bus 20 sebesar 0,63358 saat beban reaktif pada bus 20 ditingkatkan menjadi 8045,51 kVAR. Hal tersebut menunjukkan bahwa saluran antara bus 19 dan 20 merupakan saluran paling kritis.

Kata kunci: Prediksi, Voltage Stability Index (VSI), Artificial Neural Network (ANN), Daya Listrik, Stabilitas Tegangan.

JSISFOTEK is licensed under a Creative Commons 4.0 International License.



1. Pendahuluan

Kestabilan tegangan menunjukkan kemampuan sistem menjaga nilai tegangan di suatu bus pada kondisi normal maupun setelah terjadi gangguan. Selain disebabkan oleh gangguan, penambahan pembebanan dan perubahan konfigurasi sistem juga dapat

mempengaruhi stabilitas tegangan sistem tenaga listrik [1].

Ketidakstabilan tegangan pada Jaringan Sistem Tenaga Listrik terjadi ketika gangguan pada jaringan menyebabkan penurunan tegangan secara bertahap dan tidak terkendali. Kontingensi seperti pemadaman

saluran atau generator karena gangguan, peningkatan beban yang tiba-tiba, faktor eksternal, atau pengoperasian perangkat kontrol tegangan yang tidak tepat adalah penyebab ketidakstabilan tegangan. Ketidakstabilan tegangan juga dapat muncul di mana ada ketidaksesuaian antara suplai dan permintaan daya reaktif, yaitu ketidakmampuan sistem untuk memenuhi kebutuhan daya reaktif. Jika tindakan tidak diambil untuk memeriksa ketidakstabilan tegangan ini, hal itu akan berdampak pada penurunan tegangan sistem dan mengakibatkan terjadinya tegangan runtuh (voltage collapse) yang kemudian menyebabkan terjadinya pemadaman sistem sebagian atau total (blackout) [2], [3].

Analisis stabilitas tegangan diperlukan dalam perencanaan ataupun operasi sistem tenaga listrik. Apabila terdapat perubahan pembebanan pada suatu saluran, maka dapat menyebabkan menurunnya profil tegangan [4], [5] serta kemungkinan besarnya stabilitas tegangan sistem tidak akan sama dengan kondisi normal. Oleh sebab itu, maka dalam tugas akhir ini diusulkan sebuah metode untuk memprediksi nilai Voltage Stability Index (VSI) pada saluran akibat penambahan pembebanan pada suatu bus yang menyebabkan terjadinya drop voltage.

Penelitian ini mengusulkan sebuah metode untuk memprediksi nilai penambahan pembebanan suatu bus yang menyebabkan tegangan pada bus paling kritis mengalami drop voltage dengan menggunakan Artificial Neural Network (ANN) [6], [7]. Setelah melakukan prediksi nilai penambahan pembebanan dengan menggunakan metode ANN, maka selanjutnya adalah menganalisis nilai indeks stabilitas tegangan. Terdapat berbagai metode untuk menganalisis stabilitas tegangan, salah satunya yaitu titik ketidakstabilan tegangan dapat ditentukan dengan menggunakan Fast Voltage Stability Index (FVSI) [8], [9].

2. Metodologi Penelitian

Stabilitas tegangan umumnya dianggap sebagai suatu masalah steady-state yang cocok untuk analisis statis (power flow). Stabilitas tegangan dapat didefinisikan sebagai kemampuan sistem tenaga untuk menjaga nilai tegangan sistem, baik pada kondisi normal maupun saat ada gangguan [10], [11]. Berdasarkan waktu simulasinya, terdapat dua jenis stabilitas tegangan, yaitu stabilitas tegangan statis dan stabilitas tegangan dinamis.

Analisis dinamis digunakan untuk studi stabilitas transien untuk menelaah perilaku sistem daya seperti adanya gangguan berupa perubahan beban secara mendadak akibat terputusnya unit pembangkit atau perubahan pada jaringan transmisi, seperti: gangguan hubung singkat atau pemutusan saklar (switching). Analisis statis menggunakan persamaan aljabar yang secara komputasional lebih mudah disbanding analisis dinamis. Analisis statis lebih cocok digunakan pada

studi batas stabilitas tegangan pada kasus sebelum dan sesudah terjadi kontingensi suatu sistem. Analisis stabilitas tegangan secara statis berdasarkan perhitungan singularnya matrik Jacobian pada aliran daya.

Tegangan jatuh (*drop voltage*) adalah sebuah fenomena yang muncul ketika adanya selisih antara tegangan pada pangkal pengiriman dengan tegangan pada ujung penerimaan tenaga listrik. Tegangan jatuh terjadi bila tegangan yang beroperasi berada di bawah level operasi tegangan sewajarnya yang dipengaruhi oleh resistansi, reaktansi, dan impedansi pada saluran sehingga mengakibatkan ketidakstabilan tegangan. Beberapa gangguan yang dapat mempengaruhi tegangan jatuh (*drop voltage*), diantaranya adalah peningkatan beban secara terus menerus [12], [13].

2.1. Fast Voltage Stability Index (FVSI)

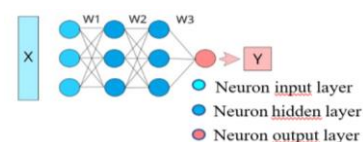
Terdapat berbagai metode untuk menganalisis stabilitas tegangan, salah satunya yaitu dengan menggunakan Fast Voltage Stability Index (FVSI). FVSI merupakan salah satu indeks kestabilan tegangan yang mengacu pada saluran sistem dimana berawal dari persamaan arus untuk membuat persamaan kuadrat daya atau tegangan [14], [15] yang disajikan pada Persamaan (1).

$$FVSI = \frac{4Z^2 Q_j}{V_i^2 X} < 1 \quad (1)$$

Dimana Z adalah impedansi saluran, X adalah reaktansi saluran, Q_j adalah daya reaktif pada sisi penerima, dan V_i adalah tegangan pada sisi pengirim. Saluran yang mempunyai nilai indeks mendekati satu (1) akan menjadi saluran yang paling kritis dari bus dan dapat memungkinkan menimbulkan skenario ketidakstabilan tegangan. FVSI juga dapat digunakan untuk menentukan bus yang paling lemah.

2.2. Artificial Neural Network (ANN)

Artificial Neural Network (ANN) adalah adalah tipe umum dari Artificial Intellegent karena cara kerjanya yang meniru saraf otak manusia dengan bantuan perintah untuk mengubah input menjadi output [16], [17]. ANN dicirikan berdasarkan pada arah aliran sinyal sebagai desain prediksi atau umpan balik. ANN terdiri dari lapisan input lapisan (input layer), lapisan tersembunyi (hidden layer), dan output. Lapisan input dan output neuron adalah fungsi aktif linier, sedangkan lapisan tersembunyi tengah memiliki fungsi aktivasi non- linier.



Gambar 1. Arsitektur ANN

Gambar 1 merupakan Multilayer Artificial Neuron Network. Setiap satuan neuron menerima input dari

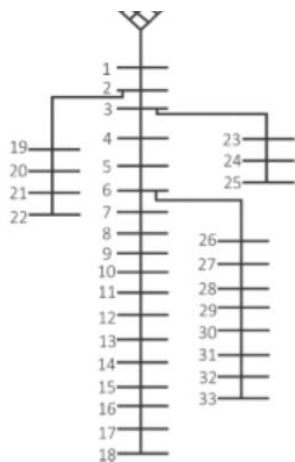
neuron pada layer sebelumnya dengan berbagai spesifikasi, fungsi, dan pembobotan masing-masing input layer. Jika dituliskan pada model matematika maka didapatkan sebuah formula untuk setiap neuron pada setiap layer yang disajikan pada Persamaan (2).

$$y(k) = F(\sum_{i=0}^m w_i(k) \cdot x_i(k) + b) \quad (2)$$

Dalam melakukan pembelajaran untuk memperbaiki nilai weight-nya (bobot), ANN melakukan backpropagation. Backpropagation adalah sebuah algoritma pembelajaran ANN yang proses perhitungannya terdapat dua tahap, yaitu proses perhitungan maju (forward propagation) yang dilakukan untuk menghitung nilai error antara output ANN dengan target yang diinginkan [18], [19]. Serta proses yang berikutnya adalah perhitungan mundur (backpropagation) dengan menggunakan error yang telah didapatkan untuk memperbaiki nilai bobot pada semua neuron yang ada.

2.3. Sistem IEEE 33 Bus

Sistem kelistrikan yang akan digunakan dalam analisis dan evaluasi kestabilan tegangan adalah sistem kelistrikan IEEE 33 Bus seperti pada Gambar 2. Untuk bus data dan line data yang digunakan pada penelitian ini juga berasal dari standar data sistem kelistrikan IEEE 33 Bus.



Gambar 2. Database Mirroring Architecture

2.4. Algoritma

Untuk memprediksi nilai penambahan beban reaktif yang menyebabkan bus paling kritis mengalami tegangan jatuh, maka harus ditentukan terlebih dahulu data yang akan digunakan untuk prediksi. Tujuan utama dalam memprediksi menggunakan metode ANN adalah untuk melatih jaringan untuk dapat memahami pola nilai yang dihasilkan dari sebuah kasus berdasarkan data yang ada untuk dapat memprediksi suatu nilai [20]. Untuk data yang akan digunakan dibagi menjadi dua, yaitu data latih (training) dan data uji (testing).

Data latih digunakan untuk mencari bobot dalam melakukan prediksi yang selanjutnya akan diujikan

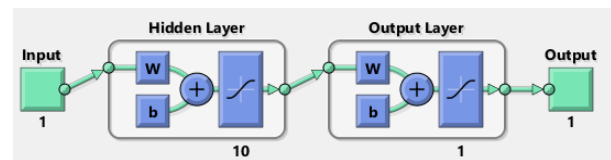
kepada data uji. Data latih yang digunakan adalah data latih beban dan data latih tegangan, dimana data latih beban sebanyak 50 data pada masing-masing bus dengan mengabaikan rating peralatan menjadi target data. Sedangkan data latih tegangan hasil simulasi menjadi input data. Untuk data uji yang digunakan adalah kondisi dimana bus paling ujung mengalami tegangan jatuh (drop voltage) dengan nilai tegangan sebesar 0,9 pu.

Pada proses prediksi menggunakan Artificial Neural Network (ANN), sebelum dilakukan pelatihan data input dan target output harus dinormalisasi terlebih dahulu [21]. Normalisasi dilakukan untuk menyesuaikan nilai data dengan range fungsi aktivasi yang digunakan dalam jaringan. Tujuannya adalah agar diperoleh interval data yang sesuai dengan fungsi aktivasi yang digunakan yaitu fungsi aktivasi sigmoid biner atau sigmoid bipolar seperti Persamaan (3).

$$x' = \frac{(b-a)(x-x_{min})}{x_{max}-x_{min}} + a \quad (3)$$

Dimana x' adalah data normalisasi, b adalah interval atas fungsi aktivasi, a adalah interval bawah fungsi aktivasi, x adalah data actual, x_{min} adalah nilai minimum data aktual keseluruhan, dan x_{max} adalah nilai maksimum data aktual keseluruhan.

Pemodelan ANN merupakan pemodelan yang akan digunakan untuk memprediksi penambahan beban yang menyebabkan bus paling kritis mengalami tegangan jatuh seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Model ANN yang digunakan

Gambar 3 menunjukkan bahwa model ANN yang digunakan terdiri dari 10 neurons pada hidden layer dan 1 neuron pada output layer. Sehingga jumlah bobot (weight) dari input layer menuju hidden layer dan jumlah bias pada hidden layer masing-masing sebanyak 10 bobot dan 10 bias. Sedangkan jumlah bobot dari hidden layer menuju output layer dan jumlah bias pada output layer masing-masing sebanyak 10 bobot dan 1 bias.

3. Hasil dan Pembahasan

Nilai prediksi penambahan beban reaktif pada masing-masing bus yang menyebabkan bus ujung mengalami tegangan jatuh (*Drop Voltage*). Terdapat empat bus paling ujung dalam sistem kelistrikan IEEE 33 Bus yaitu bus 18, 22, 25, dan 33. Sistem kelistrikan dibagi menjadi empat sub penyulang (*feeder*) dengan tujuan untuk mempermudah analisis yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pembagian Sub Penyulang pada Sistem Kelistrikan IEEE 33 Bus

Sub Penyulang	Bus
1	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18
2	19, 20, 21, 22
3	23, 24, 25
4	26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33

Jatuh tegangan pada jaringan listrik secara umum berbanding lurus dengan beban dan panjang saluran. Apabila nilai beban pada pusat beban semakin tinggi, maka jatuh tegangan juga semakin tinggi. Begitu juga dengan panjang saluran, semakin jauh jarak bus dari pusat pembangkit, maka nilai impedansi akan semakin besar yang kemudian akan memperbesar jatuh tegangan.

Dari simulasi dan analisis yang telah dilakukan maka didapatkan nilai hasil prediksi penambahan beban reaktif seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5. Adapun kondisi dimana penambahan beban pada bus 19 belum menyebabkan bus ujungnya (bus 22) mengalami *drop voltage*, namun penambahan beban tersebut sudah menyebabkan bus 18 mengalami *drop voltage*. Kondisi tersebut juga terjadi pada bus 23, 24, 26, dan 27 untuk hasil prediksi penambahan beban reaktifnya ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 2. Hasil Prediksi Penambahan Beban Reaktif yang Menyebabkan Bus 18 Mengalami *Drop Voltage*

Bus	Nilai Normalisasi Output	Nilai Denormalisasi (kVAR)
18	-0,62139	237,53150
17	-0,63082	229,83033
16	-0,56734	281,67233
15	-0,55239	293,88150
14	-0,43574	389,14567
13	-0,43896	386,51600
12	-0,31274	489,59567
11	-0,29930	500,57167
10	-0,30107	499,12617
9	-0,15516	618,28600
8	0,18282	894,30300
7	0,30254	992,07433
6	0,66611	1.288,98980
5	-0,41763	2.636,23670
4	-0,21098	3.761,33110
3	0,21374	6.073,69560
2	-0,18416	3.8983,51100

Tabel 3. Hasil Prediksi Penambahan Beban Reaktif yang Menyebabkan Bus 22 Mengalami *Drop Voltage*

Bus	Nilai Normalisasi Output	Nilai Denormalisasi (kVAR)
22	-0,11358	4291,62
21	0,23645	6197,3389
20	0,57591	8045,51
19	0,21598	60768,911

Tabel 4. Hasil Prediksi Penambahan Beban Reaktif yang Menyebabkan Bus 25 Mengalami *Drop Voltage*

Bus	Nilai Normalisasi Output	Nilai Denormalisasi (kVAR)
25	0,19675	4786,95556
24	0,74893	7192,00622
23	0,46927	14919,82889

Tabel 5. Hasil Prediksi Penambahan Beban Reaktif yang Menyebabkan Bus 33 Mengalami *Drop Voltage*

Bus	Nilai Normalisasi Output	Nilai Denormalisasi (kVAR)
33	-0,57429	453,32750
32	-0,49932	555,37000
31	-0,49589	560,03861
30	-0,01359	1216,49433
29	-0,36375	739,89583
28	-0,26209	878,26639
27	0,10424	1376,88222
26	0,20460	1513,48333

Tabel 6. Hasil Prediksi Penambahan Beban Reaktif yang Menyebabkan Bus 18 Mengalami *Drop Voltage*

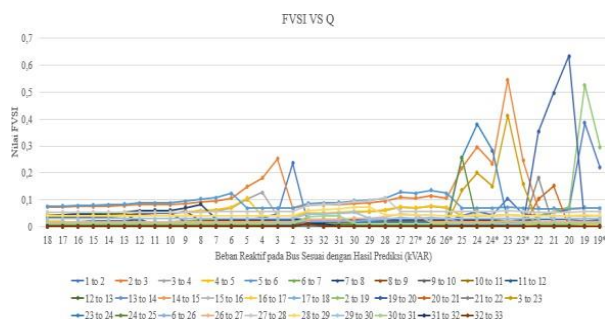
Bus	Nilai Normalisasi Output	Nilai Denormalisasi (kVAR)
27	0,022919	1266,19531
26	0,034468	1281,91478
24	0,34106	5415,50578
23	-0,36976	5783,72445
19	-0,25718	35007,9778

Nilai prediksi penambahan beban reaktif akan digunakan untuk mensimulasi aliran daya kembali dengan mengubah data beban (*load data*) menjadi hasil nilai prediksi secara bergantian pada masing-masing bus. Selanjutnya membandingkan hasil nilai tegangan pada bus ujung / kritis setelah dilakukan penambahan beban reaktif dengan target nilai tegangan pada bus ujung yaitu sebesar 0,9 pu. Tujuan membandingkan kedua nilai tegangan tersebut adalah untuk mengetahui seberapa besar persentase kesalahan mutlak (*absolute percentage error*) yang dihasilkan oleh nilai prediksi penambahan beban reaktif dengan metode *Artificial Neural Network* (ANN). Tabel 7 menunjukkan besar persentase kesalahan mutlak antara target nilai tegangan pada bus ujung dengan nilai tegangan hasil simulasi setelah mengubah beban reaktif.

Tabel 7. Persentase Kesalahan Mutlak untuk Model ANN yang digunakan

Bus	Target nilai tegangan pada bus ujung	Hasil Simulasi	Error (%)
11	0,9	0,899994086	0,0005914
10	0,9	0,900000036	0,0000036
9	0,9	0,900000413	0,0000413
8	0,9	0,899999945	0,0000055
7	0,9	0,899999906	0,0000094
6	0,9	0,899997112	0,0002888
5	0,9	0,899995190	0,0004810
4	0,9	0,900000465	0,0000465
3	0,9	0,899998452	0,0001548
2	0,9	0,899999623	0,0000377
22	0,9	0,900001331	0,0001331
21	0,9	0,900007226	0,0007226
20	0,9	0,899998305	0,0001695
19	0,9	0,900006754	0,0006754
25	0,9	0,900000014	0,0000014
24	0,9	0,899993024	0,0006976
23	0,9	0,899998285	0,0001715
33	0,9	0,900002615	0,0002615
32	0,9	0,900000184	0,0000184
31	0,9	0,900000566	0,0000566
30	0,9	0,899990894	0,0009106
29	0,9	0,900000513	0,0000513
28	0,9	0,899995354	0,0004646
27	0,9	0,899999584	0,0000416
26	0,9	0,900001386	0,0001386
27*	0,9	0,899998341	0,0001659
26*	0,9	0,900000470	0,0000470
24*	0,9	0,899999860	0,0000140
23*	0,9	0,899997125	0,0002875
19*	0,9	0,899996024	0,0003976

Pada Tabel 7 memperlihatkan bahwa persentase kesalahan mutlak pada masing-masing bus bernilai mendekati sama dengan 0%. Hasil prediksi nilai perubahan beban reaktif akan digunakan dalam perhitungan indeks stabilitas dengan menggunakan metode Fast Voltage Stability Index (FVSI). Nilai FVSI yang mendekati satu menunjukkan ketidakstabilan pada saluran. Nilai beban reaktif pada masing-masing bus ditingkatkan sesuai dengan nilai prediksinya dan didapatkan nilai stabilitas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik Nilai FVSI terhadap Perubahan BebanReaktif pada Bus Sesuai dengan Hasil Prediksi

Pada Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai FVSI tertinggi berada pada saluran dari bus 19 menuju bus 20 sebesar 0,63358. Hal tersebut terjadi saat beban reaktif pada bus 20 ditingkatkan menjadi 8045,51 kVAR.

4. Kesimpulan

Artificial Neural Network dapat digunakan untuk memprediksi penambahan beban yang menyebabkan suatu bus mengalami drop voltage. Berdasarkan hasil prediksi, ANN memberikan output yang dapat dikatakan baik dengan rata-rata persentase kesalahan mutlak (Mean Absolute Percentage Error) bernilai mendekati sama dengan 0%. Dari hasil perhitungan indeks stabilitas tegangan dengan metode FVSI, didapatkan nilai FVSI tertinggi berada pada saluran dari bus 19 menuju bus 20 sebesar 0,63358 saat beban reaktif pada bus 20 ditingkatkan menjadi 8045,51 kVAR. Hal tersebut menunjukkan bahwa saluran antara bus 19 dan 20 merupakan saluran paling kritis.

Daftar Rujukan

- [1] Pratikto, H. (2013). *Analisis Stabilitas Tegangan Sistem Tenaga Listrik 500 Kv Jawa Bali dengan Fast Voltage Stability Index (FVSI)* (Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada).
- [2] Ruzi, R. S. (2016). *Analisis dan Evaluasi Kestabilan Tegangan dengan Metode Continuation Power Flow (CPF) pada Sistem Microgrid* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- [3] Samuel, I. A., Katende, J., Awosope, C. O., & Awelewa, A. A. (2017). Prediction of voltage collapse in electrical power system networks using a new voltage stability index. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(2), 190-199.
- [4] Deb, S., Tammi, K., Kalita, K., & Mahanta, P. (2018). Impact of electric vehicle charging station load on distribution network. *Energies*, 11(1), 178. <https://doi.org/10.3390/en11010178>
- [5] Ratra, S., Tiwari, R., & Niazi, K. R. (2018). Voltage Stability Assessment in Power Systems Using Line Voltage Stability Index. *Computers and Electrical Engineering*, 70, 199-211. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2017.12.046>
- [6] Ozcanli, A.K., Yaprakdal, F., & Baysal, M. (2020). Deep Learning Methods and Applications for Electrical Power Systems : A Comprehensive review. *In International Journal of Energy Research* (Vol.44, Issue 9, pp. 7136-7157) John Wiley and Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/er.5331>
- [7] Rao, N.A.R., Vijaya, P., & Kowsalya, M. (2021). Voltage Stability indices for stability assessment: a review. *Internasional Journal of Ambient Energy* Volume 42 Issue 7. <https://doi.org/10.1080/01430750.2018.1525585>
- [8] Musirin, I., & Rahman, T.K.A (2002) Novel Fast Voltage Stability Index (FVSI) for Voltage Stability Analysis in Power Transmission System. *2002 Student Conference on Research and Development: Globalizing Research and Development in Electrical and Electronics Engineering, SCORED 2002-Proceedings*, 265-268. <https://doi.org/10.1109/SCORED.2002.103318>
- [9] Sharma, A.K., Saxena, A., Soni, B.P., & Gupta, V. (2018). Voltage Stability Assessment Using Artificial Neural Network. *2018 IEEMA Engineer Infinite Conference, EtechNXT 2018*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/ETECHNXT.2018.8385361>
- [10] Modarresi, Jawab., Eskandar, G., Amin, k. (2016). A comprehensive Review of the Voltage Stability Indices. *Elsevier* Vol.63 Hal.1-12. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.010>
- [11] Onlam, A., dkk. (2019). Power Loss Minimization and Voltage Stability Improvement in Electrical Distribution System via Network Reconfiguration and Distributed Generation

- Placement Using Novel Adaptive Shuffled Frogs Leaping Algorithm. *Energies* 12(3), hal.553. <https://doi.org/10.3390/en12030553>
- [12] Anugrah,A. Van, & Eteruddin,H. (2020). Studi Pemasangan Express Feeder Jaringan Distribusi 20kV Untuk Mengatasi Drop Tegangan Pada Feeder Sorek PT PLN (Persero) Rayon Pangkalan Kerinci. *Jurnal Sain, Teknologi & Industri*, 4(2), 65-71. <https://doi.org/10.31849/sainetin.v4i2.6338>
- [13] Mokres, S., Wang, Y., & Tiancong,. (2022). Modern Voltage stability index for prediction of voltage collapse and estimation of maximum load-ability for weak buses and critical lines identification. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 145. <https://doi.org/10.1016/j.ijpes.2022.108596>
- [14] Danish,M.S.S.,dkk. (2019). A Recap of Voltage Stability Indices in the Past Three Decades. *Energies*, 12(8), 1544. <https://doi.org/10.3390/en12081544>
- [15] Guddanti, K.P., Matavalam, A., & Weng, Y. (2022). Local Measurement Based Robust Voltage Stability Index & Identification of Voltage Collapse Onset. *EES* . <https://doi.org/10.48550/arXiv.2203.12857>
- [16] Muhammd, F., Rezha, A., & Anggoro, S. P. (2021). Pemulihan Voltage Sag Menggunakan Dynamic Voltage Restorer Pada Sistem Artificial Neural Network. *Jurnal Ilmiah Setrum* Vol. 10 No.2 Hal. 60-77. <https://doi.org/10.36055/setrum.v10i2.13094>
- [17] Rawat, M.S., & Vadhera, S. (2020). Probabilistic Approach to Determine Penetration of Hybrid Renewable DGs in Distribution Network Based on Voltage Stability Index. *Arabian Journal For Science and Engineering* 45:1473-1498. <https://doi.org/10.1007/s13369-019-04023-1>
- [18] Saadat, H. (1999). *Power System Analysis*. McGraw-Hill.
- [19] Saadat, M.N.,& Shuaib,M. (2020) Advancements in Deep Learning Theory and Applications : *Perspective in 2020 and beyond*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.92271>
- [20] Salama, H.S., & Vokony, I. (2022) Voltage Stability Indices-A Comparison and a Review. *Elsevier*, Vol.98. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.107743>
- [21] Pansini, A.J. (2005) *Power Tnasmision & Distribution*, Second Edition. *River Publishers*, 400. <https://doi.org/10.1201/9781003151203>