

DESAIN PEMODELAN KONSEP WIDE AREA PROTECTION (WAP) DI SISTEM TRANSMISI TENAGA LISTRIK

M Rois Khumaini¹⁾, Azriyenni Azhari Zakri²⁾

^{1,2)}Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya, Jl. H. R. Soebrantas Km. 12,5 Simpang Baru, Panam
Pekanbaru 28293

Email: roiskhumaini17@gmail.com; azriyenni@eng.unri.ac.id

ABSTRACT

This study will be suggested to gather information in very wide area for appropriate decision making to overcome a fault. Some important things are implementing the Wide Area Protection (WAP) system using Measurement Phasor Unit (PMU) and Artificial Neural Networks (ANN) on the IEEE 14 bus electric power system. This 14 bus system is modeled using Matlab/Simulink. Then, the fault detection location runs on the electric power transmission line with a wide area of the system that has been modeled. The purpose of this study is to design WAP system on the IEEE 14 bus system based on the PMU and ANN. PMU functions to convert voltage and current waves into phasor forms, magnitude and angle of voltage and current function to identify the location of three-phase short circuit faults. PMU via Matlab/Simulink works well and, it can read the magnitude value and the angle of current and voltage on the entire bus. The simulation is performed on variations on ANN input data current and voltage. The results of the training and testing of ANN gave an accurate value of the input current of 89%, a voltage of 85% and a combination of current and voltage of 78%.

Keywords: ANN, fault location, PMU, short circuit, WAP

I. PENDAHULUAN

WAP meliputi penggunaan sistem pengumpulan informasi dalam lingkup wilayah yang sangat luas untuk melakukan pengambilan keputusan secara tepat mengenai tindakan yang harus dilakukan untuk mengatasi propagasi suatu gangguan. WAP secara otomatis dapat meningkatkan kendalan sistem karena dapat mempercepat proses perbaikan atau pemulihan, dengan demikian juga dapat menghemat waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan dan juga dapat meminimalisir kerugian materi yang terjadi.

Wide Area Protection (WAP) merupakan teknologi baru yang di desain untuk memproteksi sistem transmisi tenaga listrik. WAP adalah sistem proteksi yang menggunakan informasi area yang luas untuk meningkatkan kinerja proteksi sekaligus memonitor stabilitas sistem tenaga listrik. Disamping itu, WAP juga digunakan untuk mentransfer data dalam bentuk tegangan, arus dan perintah sinyal setiap relai (Siriwatworasakul, 2013).

Saeed A, dkk, telah menggunakan algoritma *Wavelet Packet Transform* (WPT) yang bertujuan untuk mengembangkan dan menerapkan

WAP pada sistem tenaga listrik yang dilengkapi dengan PMU. Artikel ini fokus pada gangguan sistem transmisi seperti *High Impedance Faults* (HIF) yang memiliki karakteristik khusus untuk mencakup frekuensi tinggi. Artikel ini menggunakan sistem 39 bus pada jaringan listrik yang berada di *new england* dan dijalankan pada simulasi gangguan dalam keadaan yang berbeda seperti ; sudut awal lokasi gangguan dan jenis gangguan (Asgharigoavr, 2017).

Jac W L, dkk, telah menyajikan skema untuk estimasi area gangguan dengan menggunakan PMU dan teori *traveling wave*. Tujuan artikel ini yaitu untuk merumuskan skema gangguan estimasi area gangguan dengan menghitung perkiraan lokasi kegagalan berdasarkan teori *traveling wave* pada sistem transmisi tenaga listrik 119 bus dengan tegangan 765 kv dan 5 bus dengan tegangan 765 kv yang berada dikorea selatan (Lee, 2016).

Fengqun Z dkk, telah mengembangkan proteksi integrasi dan kontrol WAP pada *Smart Grid* di masa yang akan datang. Tujuan jurnal ini yaitu untuk melindungi dan mengontrol tenaga listrik pada area luas dan regional (*substation*)

serta menghubungkan saluran interkoneksi antara area luas dan substation (Z Fengqun Zhou, Shengming Ge, et al, 2014).

Dari beberapa isu diatas, maka penelitian ini akan mengembangkan sebuah WAP untuk mendeteksi lokasi gangguan pada sistem 14 bus IEEE via Matlab/Simulink. Penelitian ini akan dijalankan dengan WAP menggunakan Matlab/Simulink versi 2016a untuk memonitor gangguan yang terjadi di sistem 14 bus IEEE. Kemudian, akan divalidasi Jaringan Syaraf Tiruan (JST) pada pemrograman pada matlab 2016a.

WAP

WAP adalah istilah yang pertama kali dikenalkan oleh Birtil Ingelsson pada tahun 1997, bertujuan untuk menghindari drop tegangan. Birtil mengemukakan bahwa proteksi konvensional hanya menggunakan data dari setiap alat untuk melindungi alat dan menggunakan proteksi *backup* untuk mencadangkan proteksi utama. Sedangkan, WAP sudah menggunakan informasi area luas untuk mengklasifikasi proteksi dan meningkatkan koordinasi antara setiap kawasan yang diproteksi dan memberikan proteksi keamanan serta stabilitas (Siriwatworasakul, 2013).

PMU

Phasor Measurement Unit (PMU) adalah peralatan yang menggunakan penyelarasan sinyal satelit dari *Global Positioning System* (GPS). PMU mampu mengukur fasor tegangan pada bus yang dipasang PMU serta fasor arus dari semua cabang yang dimiliki oleh bus ini. Hasil pengukuran diberikan secara terus menerus. Kemampuan tersebut menjadikan PMU sebagai peralatan yang dibutuhkan dalam sistem kelistrikan (Amrulloh, 2013).

Discrete Fourier Transform (DFT)

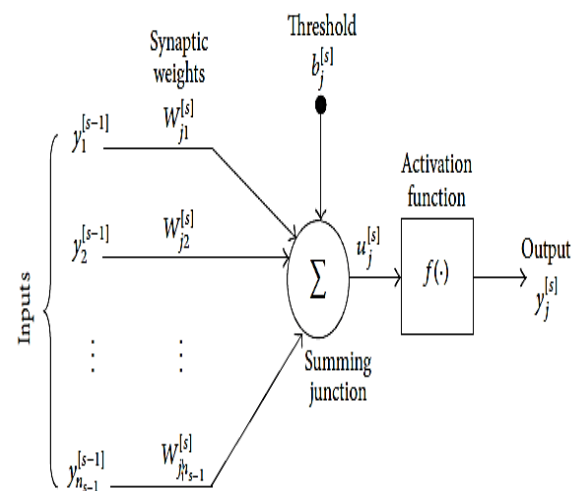
Dalam domain waktu, sinyal digambarkan dengan bentuk gelombang dimana sumbu-x menunjukkan waktu dan sumbu-y menunjukkan besarnya *amplitude* tiap waktu. Bentuk ini kadang kurang informatif, karena tidak bisa mengetahui besarnya *magnitude* tiap waktu. Oleh karena itu, diperlukan sebuah transformasi yang mampu mengubah bentuk gelombang menjadi *spectrum*, dimana komponen frekuensi akan terlihat jelas. *Fourier transform* merupakan transformasi yang dapat melakukan hal ini (Ismaya, 2011).

Jaringan Saraf Tiruan (JST)

Jaringan syaraf tiruan adalah prosesor tersebar parallel (*parallel distributed processor*) yang sangat besar yang memiliki kecendrungan untuk menyimpan pengetahuan yang bersifat pengalaman dan membuatnya siap untuk digunakan. JST terdiri dari kumpulan-kumpulan sel syaraf (neuron) yang disusun dalam grup, yang disebut dengan lapisan (*layer*) (Suyanto,2007). Pada dasarnya Lapisan-lapisan penyusun JST dapat dibagi menjadi tiga, yaitu lapisan masukan yang biasa disebut *input layer*, lapisan tersembunyi yang biasa disebut *hidden layer* dan lapisan keluaran yang biasa disebut *output layer*. Setiap neuron pada lapisan tertentu dihubungkan dengan neuron lain dengan suatu link koneksi, yang dipresentasikan sebagai *weight* atau bobot. Metoda untuk menentukan nilai bobot yang dapat memberikan nilai *output* yang benar disebut dengan pembelajaran.

Model Sebuah Neuron

Sel syaraf (Neuron) adalah unit pemrosesan informasi yang merupakan dasar dari operasi JST (Suyanto,2007).



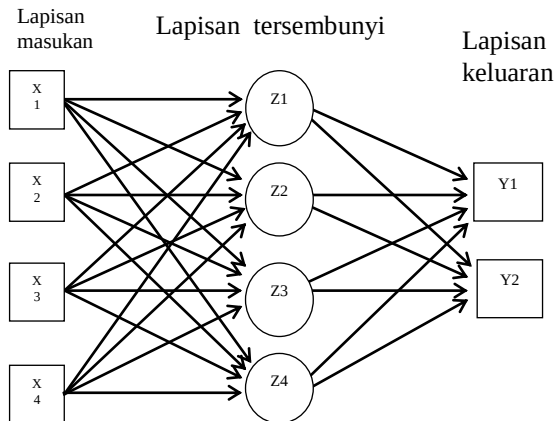
Gambar 1. Model dari sebuah neuron (Hessine, 2014)

Pada Gambar 1 secara matematis kita bisa menggambarkan sebuah neuron dengan persamaan 1 sebagai berikut (Hessine, 2014) :

$$y_j^{[s]} = f \left(b_j^{[s]} + \sum_{i=1}^{N_{s-1}} w_{ji}^{[s]} y_i^{[s-1]} \right) \quad (1)$$

Multi-layer Feedforward Networks

Multi-layer feedforward networks adalah jaringan yang memiliki satu atau lebih lapisan tersembunyi dengan arah koneksi dimulai dari lapisan masukan menuju ke arah lapisan keluaran tanpa adanya koneksi balik. Gambar 2 mengilustrasikan *multi-layer feedforward networks* untuk kasus satu *hidden layer*.



Gambar 2. Arsitektur *multi-layer feedforward neural networks*

Algoritma Pelatihan Backpropagation

Algoritma pelatihan untuk jaringan dengan satu layer tersembunyi (dengan fungsi aktivasi sigmoid biner) adalah sebagai berikut : (Siang, 2007)

Langkah 0 : Inialisasi semua bobot dengan bilangan acak kecil

Langkah 1 : Jika kondisi penghentian belum terpenuhi, lakukan langkah 2-9

Langkah 2 : Untuk setiap pasang data pelatihan, lakukan langkah 3 -8

Langkah 3 : tiap unit masukan menerima sinyal dan meneruskannya ke unit tersembunyi diatasnya.

Langkah 4 : Hitunglah Semua Keluaran di unit tersembunyi z_j ($j= 1, 2, \dots, p$)

$$z_{netj} = v_{j0} + \sum_{i=1}^n x_i v_{ji} \quad (2)$$

$$z_j = f(z_{netj}) = \frac{1}{1 + e^{-z_{netj}}} \quad (3)$$

Langkah 5 : Hitung semua keluaran jaringan di unit y_k ($k=1, 2, \dots, m$)

$$y_{netk} = w_{k0} + \sum_{j=1}^n z_j w_{kj} \quad (4)$$

$$y_k = f(y_{netk}) = \frac{1}{1 + e^{-y_{netk}}} \quad (5)$$

Langkah 6 : Hitung faktor δ unit keluaran berdasarkan kesalahan di setiap unit keluaran y_k ($k= 1, 2, \dots, m$)

$$\delta_k = (t_k - y_k) f'(y_{netk}) \quad (6)$$

Hitung suku perubahan bobot w_{kj} (yang akan dipakai nanti untuk merubah bobot w_{kj}) dengan laju percepatan α

$$\Delta w_{kj} = \alpha \delta_k z_j \quad (7)$$

Langkah 7 : Hitung faktor δ unit tersembunyi berdasarkan kesalahan di setiap unit tersembunyi z_j

$$\delta_{netj} = \sum_{k=1}^m \delta_k w_{kj} \quad (8)$$

Faktor δ unit tersembunyi :

$$\delta_j = \delta_{netj} f'(z_{netj}) \quad (9)$$

Hitung suku perubahan bobot v_{ji}

$$\Delta v_{ji} = \alpha \delta_j x_i \quad (10)$$

Langkah 8 : Hitung semua perubahan bobot Perubahan bobot garis yang menuju ke unit keluaran :

$$w_{kj}(\text{baru}) = w_{kj}(\text{lama}) + \Delta w_{kj} \quad (11)$$

$$v_{ji}(\text{baru}) = v_{ji}(\text{lama}) + \Delta v_{ji} \quad (12)$$

Langkah 9 : Uji syarat Berhenti

Fungsi Aktivasi

Fungsi aktivasi yang biasanya digunakan untuk algoritma pelatihan backpropagation adalah :

Fungsi sigmoid biner ini digunakan untuk JST yang dilatih dengan metoda *backpropagation*. Memiliki *range* dari 0 hingga 1 dan didefinisikan sebagai berikut (Budiharto, 2014) :

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (13)$$

dengan turunan

$$f'(x) = f(x)(1 - f(x)) \quad (14)$$

Fungsi sigmoid bipolar memiliki bentuk yang mirip dengan fungsi sigmoid biner, tapi dengan *range* (-1,1), dapat didefinisikan sebagai (Siang, 2007):

$$f(x) = \frac{2}{1+e^{-x}} - 1 \quad (15)$$

dengan turunan

$$f'(x) = \frac{(1+f(x))(1-f(x))}{2} \quad (16)$$

Mean Square Error

MSE adalah metode untuk mengevaluasi metode peramalan. Masing-masing kesalahan atau sisa dikuadratkan. Rumus untuk menghitung MSE dapat dihitung menggunakan persamaan 17. (margi, 2015)

$$MSE = \frac{|y_i - y_i'|^2}{N} \quad (17)$$

dimana:

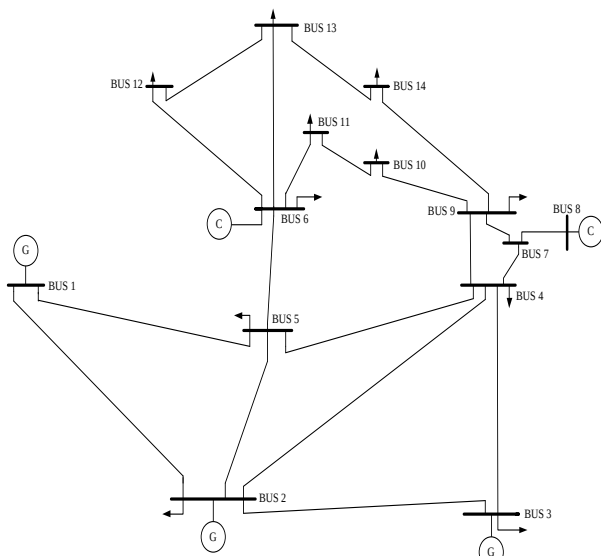
y_i = Nilai target sebenarnya

y_i' = Nilai keluaran prediksi

N = Jumlah data

II. METODA PENELITIAN

Adapun sistem tenaga yang digunakan, yaitu rangkaian segaris sistem 14-bus IEEE yang digunakan dalam objek penelitian. Sistem tenaga tersebut seperti yang terlihat pada Gambar 3.

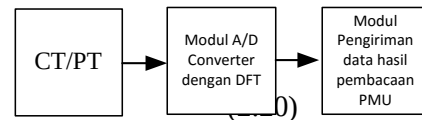


Gambar 3. Rangkaian segaris sistem Tenaga IEEE 14 bus

Sistem tenaga tersebut dimodelkan pada software Matlab/Simulink 2016a, Kemudian disimulasikan terjadi gangguan di sepanjang saluran transmisi dengan jenis gangguan hubung singkat 3 fasa dan jarak yang bervariasi. kemudian data gelombang arus dan tegangan hasil simulasi gangguan dibaca oleh PMU pada masing-masing bus dan kemudian diolah dengan menggunakan

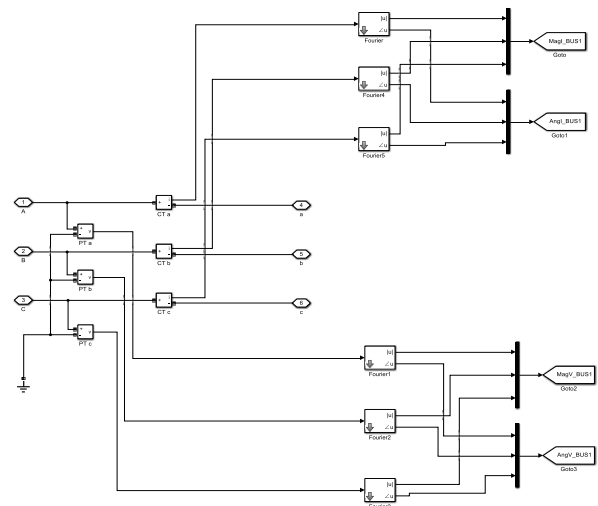
discrete fourier transform (DFT) dan normalisasi. Pengolahan sinyal untuk masukan JST.

Pada penelitian ini menggunakan PMU sebagai pengubah gelombang tegangan dan arus yang berbentuk sinusoidal kebentuk fasor yang berupa magnitud dan sudut dari tegangan dan arus kemudian data tersebut dikirim kepusat control dan monitoring.



Gambar 4. Blok diagram pemodelan PMU.

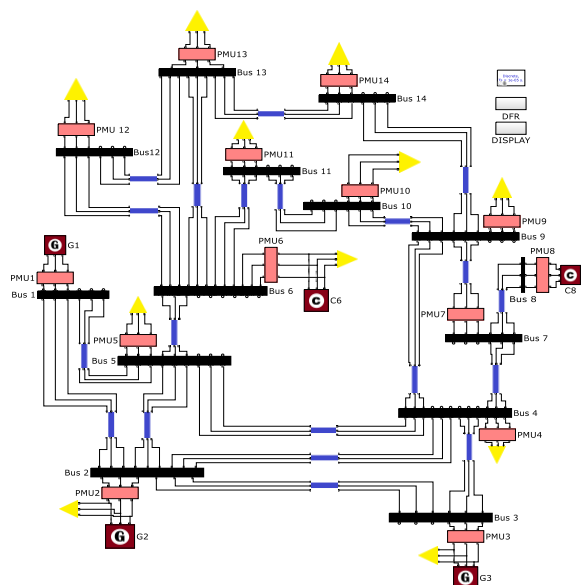
Pada Gambar 4 Transformator arus (CT) dan transformator tegangan (PT) digunakan untuk merasakan atau membaca arus dan tegangan pada fasa a, b dan c. Hasil pembacaan tersebut akan masuk keblok DFT untuk dilakukan pengolahan sinyal yang awalnya berada dalam domain waktu kedalam domain frekuensi dengan demikian hasil keluaran dari DFT tersebut berupa nilai magnitud dan sudut pada frekuensi yang telah ditentukan. Hasil pengolahan DFT tersebut kemudian dikirimkan kemodul tampilan dan modul DFR dapat dilihat pada Gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5. Pemodelan PMU dalam Matlab / Simulink

PMU yang telah dirancang dan dimodelkan pada matlab Simulink digunakan untuk melakukan pemantauan terhadap fasor arus dan tegangan pada masing-masing bus disistem 14 bus IEEE yang telah dimodelkan sebelumnya.

Berikut ini adalah gambar 6 peletakan PMU pada masing-masing bus di matlab Simulink.



Gambar 6. Pemodelan penerapan WAP berbasis PMU di sistem 14-bus IEEE pada Simulink

Pada penelitian ini JST digunakan sebagai proteksi yang akan mengisolasi saluran yang terganggu dengan cara memberikan keluaran berupa posisi line yang terganggu (antara bus satu dengan yang lainnya). Atau bisa dikatakan jst ini digunakan untuk mendeteksi lokasi gangguan.

Arsitektur JST yang dipakai adalah *feed-forward multi-layer neural network* yang mempunyai 2 lapisan tersembunyi dengan fungsi aktivasi yang digunakan secara berurutan adalah fungsi sigmoid bipolar, sigmoid biner dan sigmoid biner. Adapun masukan yang akan digunakan pada JST divariasikan seperti tabel 1.

Tabel 1 Variasi masukan JST deteksi lokasi gangguan

Kategori	Kode Nama Jaringan	Struktur	Keterangan Masukan
1.1	JSTV	42-100-50-14	Tegangan 3 fasa pada semua bus
1.2	JSTI	42-100-50-14	Arus 3 fasa pada semua bus
1.3	JSTVI	84-100-50-14	Tegangan dan arus 3 fasa pada semua bus

Pelatihan JST dilakukan dengan 220 pasang sampel masukan dan target (10 Variasi jarak pada setiap saluran, yang mana sistem ini memiliki saluran yang berjumlah 20). Keluaran dari JST yang mendeteksi lokasi gangguan tersebut adalah suatu kondisi 'ya' atau 'tidak' (0 atau 1) pada masing masing bus yang berjumlah 14 bus, yang mana hal tersebut menjelaskan posisi gangguan berada diantara bus mana. Tabel 2 adalah tabel pemilihan data yang digunakan dalam proses pelatihan dan pengujian JST deteksi lokasi gangguan.

Tabel 2 Pemilihan data pelatihan dan pengujian modul JST deteksi lokasi gangguan

Parameter	Kondisi gangguan	Jarak Gangguan
Pelatihan	ABC	0%, 10%, 20%, 30% , ..., 100% (11 Jarak yang berbeda)
Pengujian	ABC	5%, 25%, 45% 65%, 85% (5 Jarak yang berbeda)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan sistem transmisi dengan metode WAP menggunakan PMU dan JST. Sistem tenaga listrik harus dapat diandalkan dan aman untuk memenuhi kebutuhan energi listrik dengan pasokan energi listrik yang berkelanjutan. Pemadaman listrik kemungkinan dapat terjadi dan terus meningkat dengan permasalahan sistem tenaga listrik yang semakin kompleks. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu sistem WAP untuk membuat sistem daya lebih aman, efisien dan dapat diandalkan untuk pemantauan, perlindungan, dan sistem kontrol.

PMU adalah bagian terintegrasi dari pemantauan, perlindungan dan sistem kontrol yang dapat diterapkan pada area geografis yang luas. PMU memberi sinkronisasi pengukuran fasor tegangan dan arus dan dapat dengan mudah dan dikendalikan bahkan gangguan kecil dalam sistem tenaga listrik dapat dipantau untuk melindungi sistem tenaga listrik dari pemadaman listrik yang akan terjadi (Waqar et al., 2018).

Data yang diperoleh oleh PMU diberbagai titik BUS direkam dan kemudian kumpulan, data tersebut diolah dan digunakan oleh JST untuk mendeteksi lokasi gangguan. dengan demikian

sistem WAP dapat dengan cepat mengetahui saluran yang mengalami hubung singkat.

Hasil pelatihan JST deteksi lokasi gangguan

Sebelum digunakan JST harus dilatih agar dapat digunakan sebagai pendeteksi lokasi gangguan. Pada penelitian ini dirancang 3 JST dengan variasi masukan yang digunakan, yaitu JST dengan masukan tegangan saja, JST dengan masukan arus saja dan JST dengan masukan arus dan tegangan.

Tabel 3 hasil pelatihan dari ketiga JST

Jenis JST	Waktu Pelatihan	Jumlah Iterasi	MSE
Tegangan	617.77	1000	0.8897
Arus	582.81	1000	0.8778
Tegangan dan Arus	692.07	1000	0.8811

Dari tabel 3 dapat dilihat bahwa JST yang memberikan akurasi terbaik selama pelatihan adalah JST dengan masukan arus saja, hal itu terlihat dari nilai MSE yang didapat selama pelatihan lebih kecil dari pada JST lainnya, yaitu sebesar 0,8778. Sedangkan untuk JST dengan masukan tegangan saja memiliki MSE sebesar 0,8897 dan untuk JST masukan tegangan dan arus memiliki MSE sebesar 0,8811.

Sedangkan untuk lama waktu pelatihan JST dengan masukan arus saja memiliki waktu tercepat dibandingkan JST lainnya, yaitu dengan waktu pelatihan sebesar 582,81 detik sedangkan untuk JST dengan masukan tegangan memiliki waktu pelatihan sebesar 617,77 dan untuk JST masukan tegangan dan arus memiliki waktu pelatihan sebesar 692,07. JST dengan masukan tegangan dan arus memiliki waktu pelatihan terlama dikarenakan memiliki lebih banyak jumlah masukan dari pada JST lainnya. Dimana jika semakin besar jumlah masukan maka akan semakin besar pula jumlah bobot yang ada pada JST tersebut, yang akan berdampak pada semakin lamanya waktu pelatihan.

Hasil pengujian JST deteksi lokasi gangguan

Setelah JST dilatih dengan menggunakan data pelatihan, untuk melihat generalisasi dari JST maka perlu dilakukan pengujian terhadap JST tersebut dengan menggunakan data data baru yang belum diujikan sebelumnya. Seperti pelatihan sebelumnya, pengujian JST juga dilakukan dengan

tiga struktur JST yang memiliki masukan berbeda yang telah dilatih sebelumnya. Dari lampiran B, dengan menghitung jumlah pembacaan bus yang benar di bagi perjumlah data percobaan pengujian dapat dibuat Tabel 4 yang berisi akurasi dari masing-masing bus.

Tabel 4 Akurasi dari masing-masing bus.

Jenis masukan		Tegangan	Arus	Tegangan dan Arus
Akurasi masing-masing bus	BUS 1	95%	96%	95%
	BUS 2	98%	97%	96%
	BUS 3	99%	100%	99%
	BUS 4	99%	96%	93%
	BUS 5	99%	98%	98%
	BUS 6	97%	99%	97%
	BUS 7	100%	99%	99%
	BUS 8	100%	100%	99%
	BUS 9	98%	100%	98%
	BUS 10	99%	100%	99%
	BUS 11	99%	99%	99%
	BUS 12	99%	99%	99%
	BUS 13	96%	98%	97%
	BUS 14	100%	100%	100%

Dapat dilihat dari Tabel 4 bahwa akurasi dari masing-masing bus pada JST dengan masukan tegangan memiliki akurasi diatas nilai 95%, JST dengan masukan arus memiliki akurasi diatas nilai 96% sedangkan JST dengan masukan tegangan dan arus memiliki akurasi diatas nilai 93%. Sedangkan untuk pembacaan akurasi 100% pada JST dengan masukan tegangan terjadi sebanyak 3 kali yaitu pada bus 7,8 dan 14. pembacaan akurasi 100% pada JST dengan masukan arus terjadi sebanyak 5 kali yaitu pada bus 3,8,9,10 dan 14. pembacaan akurasi 100% pada JST dengan masukan tegangan

dan arus terjadi sebanyak 1 kali yaitu pada bus 14. Dengan demikian nilai akurasi permasing masing bus paling akurat adalah dengan menggunakan masukan JST arus.

Pengaruh masukan terhadap akurasi JST

Untuk akurasi kebenaran prediksi lokasi gangguan diperlukan keluaran JST yang memberikan nilai benar pada semua titik bus. Oleh karena itu dilihat hasil pengujian yang memberikan nilai benar disemua keluaran bus, jika terdapat salah satu bus yang salah dari ke 14 bus tersebut maka akan dihitung salah. Tabel 5 adalah hasil akurasi pengujian JST.

Tabel 5. Hasil akurasi pengujian masing-masing JST.

	Tegangan	Arus	Tegangan dan Arus
Akurasi keseluruhan JST	85%	89%	78%

Dari Tabel 5 dapat dilihat akurasi keseluruhan masing masing masukan JST, akursi keseluruhan masukan JST tegangan saja sebesar 85% dan akurasi keseluruhan dengan masukan JST arus saja sebesar 89% sedangkan akurasi keseluruhan dengan JST masukan tegangan dan arus sebesar 78%.

Jumlah pengujian total dari masing masing jenis masukan adalah 100 kali. Sehingga dari tabel diatas dapat di artikan JST dengan masukan tegangan memberikan nilai benar untuk semua bus sebanyak 85 pengujian dari 100 total pengujian, JST dengan masukan arus memberikan nilai benar untuk semua bus sebanyak 89 pengujian dari 100 total pengujian. Sedangkan JST dengan masukan tegangan dan arus memberikan nilai benar untuk semua bus sebanyak 78 pengujian dari 100 total pengujian. dari hasil akurasi keseluruhan JST diatas, dengan demikian akurasi keseluruhan JST dengan masukan arus yang paling akurat.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan analisa JST sebagai deteksi lokasi gangguan di saluran transmisi IEEE 14 Bus dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu; Hasil perancangan WAP memberikan sistem WAP yang dapat membaca dan merekam tegangan dan arus pada sistem

kelistrikan yang memiliki area luas (14 bus) secara *realtime* dengan menggunakan PMU. WAP juga dapat memprediksi lokasi gangguan yang terjadi dengan menggunakan JST. Hasil pembacaan PMU memberikan nilai magnitud tegangan dan arus yang sama dengan nilai puncak gelombang sinusoidal tegangan dan arus begitu juga dengan sudut fasa. Jenis masukan yang efektif untuk mempercepat pelatihan JST deteksi lokasi gangguan adalah jenis masukan yang berupa arus yaitu dengan waktu pelatihan sebesar 582,81 detik sedangkan untuk JST dengan masukan tegangan memiliki waktu pelatihan sebesar 617,77 dan untuk JST masukan tegangan dan arus memiliki waktu pelatihan sebesar 692,07. Jenis masukan yang memberikan akurasi tertinggi adalah jenis masukan yang berupa arus yaitu memiliki akurasi sebesar 89%, masukan JST tegangan sebesar 85%, sedangkan akurasi JST masukan tegangan dan arus sebesar 78 %.

Daftar Pustaka

- Amrullah Yunan helmy et al, (2013) “Penempatan Optimal Phasor Measurement Unit (PMU) dengan Integer Programming” JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 2, No. 2 Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- Asgharigoavr Saeed, Heresh Seyedi,(2017). “Development of PMU-based backup wide area protection for power systems considering HIF detection” *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences Faculty of Electrical & Computer Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.*
- Budiharto, Widodo., Suhartono, Derwin. (2014). *Artificial Intelligence Konsep dan Penerapannya.* Jakarta : Andi.
- Fengqun Zhou et al, , (2014) “Architecture Design for Integrated Wide Area Protection and Control Systems” *Journal of Power and Energy Engineering, Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing, China.*
- Hessine, Moez Ben., Saber, Souad Ben .(2014). *Accurate Fault Clasifier and Locator for EHV Transmission Lines Based on Artificial Neural Networks.*Hindawi Publishing Corporation.
- Ismaya, Hesti Widya. (2011). *Analisis Perbedaan Kualitas Spektrum Soundcard pada 4 Tipe*

Notebook dengan Sampling Rate 44100 Hz dan Bit Depth 16 Bit Menggunakan Spektrum Analyzer. Makalah Tugas Akhir Sarjana, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta.

- Kristien Margi S, Sofian Pendawa W (2015) *Analisa Dan Penerapan Metode Single Exponential Smoothing* untuk prediksi Penjualan Pada Periode Tertentu (Studi Kasus : PT. Media Cemara Kreasi) Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknologi dan Desain, Universitas Bunda Mulia.
- Lee Jac Won et al, (2016) *“Fault area estimation using traveling wave for wide area Protection” Department of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, Republic of Korea.*
- Puspitaningrum, Diyah. (2006). *Pengantar Jaringan Saraf Tiruan.* Bengkulu : Andi.
- Siang, Jong Jek. (2007). *Jaringan Syaraf Tiruan & Pemrogramannya Menggunakan MATLAB.* Yogyakarta : Andi.
- Siriwatworasakul Weeraya et al, (2013). *“Concept Design of Wide Area Protection in Transmission System,” Department of Electrical Engineering, Chulalongkorn University.* Bangkok Thailand.
- Suyanto . (2007). *Artificial Intellegence.* Bandung: Informatika.