

ANALISIS RUGI – RUGI DAYA PADA PENAMBAHAN PEMBANGKIT *DISTRIBUTED GENERATION* DI SISTEM KELISTRIKAN BAU – BAU DAN RAHA

Widya Astriyani, Iwa Garniwa

Manajemen Energi dan Ketenagalistrikan, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik,
Universitas Indonesia, Kampus UI Salemba, 10430
widyaast@gmail.com

Abstrak

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan sistem kelistrikan terbagi – bagi di setiap pulau. Studi kali ini menjadikan Sistem Kelistrikan Bau – Bau dan Raha sebagai obyek studi dimana kedua pulau tersebut memiliki sistem kelistrikan yang saling terkoneksi. Sehingga dalam aplikasinya Sistem Bau – Bau dan Sistem Raha termasuk ke dalam sistem terdistribusi. Dalam memenuhi kebutuhan beban di Sistem Bau – Bau dan Sistem Raha maka hal yang paling memungkinkan saat ini adalah penambahan pembangkit-pembangkit baru. Penambahan pembangkit baru di dalam suatu sistem distribusi saat ini lebih dikenal sebagai *distributed generation* (DG). Penambahan *distributed generation* baru di dalam sistem distribusi tentunya akan mempengaruhi kondisi rugi – rugi teknis (*losses*) pada sistem tersebut. Studi ini menggunakan ETAP Power Station versi 16.0.0 sebagai media untuk menghitung rugi - rugi sistem yang diakibatkan adanya *distributed generation* baru pada Sistem Bau – Bau dan Sistem Raha. Perhitungan *losses* sistem dibagi atas dua skenario dimana skenario pertama adalah saat pembangkit listrik *distributed generation* dikoneksikan dengan bus 20 kV gardu induk di Bau – Bau, sedangkan untuk skenario kedua adalah pembangkit *distributed generation* akan dikoneksikan kepada salah satu bus 20 kV terujung penyulang. Setelah dilakukan kalkulasi hasil rugi - rugi sistem pada skenario pertama adalah sebesar 8,735% sedangkan rugi – rugi sistem yang dihasilkan dari simulasi skenario kedua adalah sebesar 8,443%.

Kata kunci : Rugi – Rugi Daya, *Distributed Generation*, Pembangkit Listrik

Abstract

Indonesia is an archipelago with a divided electrical system in each island. This study chose Bau – Bau System and Raha System as the object of study the two islands have interconnected electrical system. The *distributed system* is applicated in Bau – Bau System and Raha System. Bau – Bau System and Raha System load will be fulfilled with adding new power plants into the system. The addition of new power plants in a distribution system is currently known as *distributed generation* (DG). The addition of a new *distributed generation* in the distribution system affected the condition of *losses* system. This study used ETAP Power Station version 16.0.0 to calculate *losses* system due to new *distributed generation* in Bau – Bau System and Raha System. The *losses* system calculation divided into two scenarios i.e the first scenario is when the *distributed generation* power plant is connected to a 20 kV bus substation in the Bau – Bau System, while for the second scenario the *distributed generation* power plant will be connected to one of 20 kV bus at the end of the feeder. The results of calculated in first scenario is 8,735% and the *losses* system the second scenario simulation is 8,443%. The *losses* system in Bau – Bau System and Raha System is higher if the additional *distributed generation* power plant is placed in a location that far from the center load.

Keywords : *Losses*, *Distributed Generation*, Power Plant

PENDAHULUAN

Sistem *distributed generation* (DG) merupakan suatu sistem distribusi tenaga listrik dimana sistem tersebut menggunakan berbagai sumber pembangkit tenaga listrik dengan skala kecil yang terkoneksi langsung pada beban. Dalam pemanfaatan sistem DG sering digunakan sumber energi baru terbarukan (EBT), seperti pemanfaatan air, angin, matahari, biomassa, biogas, maupun limbah sampah (*waste energy*). Hal ini dikarenakan jenis pembangkit yang memanfaatkan sumber energi tersebut lebih banyak berskala kecil sehingga akan cocok bila ditempatkan dekat dengan beban listrik. Menurut IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineer*) *Distributed generation* (DG) adalah pembangkitan yang menghasilkan energi dalam kapasitas yang lebih kecil dibandingkan pusat-pusat pembangkit konvensional dan dapat dipasangkan hampir pada setiap sistem tenaga listrik.

DG memiliki beberapa klasifikasi menurut kapasitasnya, yaitu :

- a. *Micro Distributed Generation* dengan kapasitas $1 \text{ W} < 5 \text{ kW}$;
- b. *Small Distributed Generation* dengan kapasitas $5 \text{ kW} < 5 \text{ MW}$;
- c. *Medium Distributed Generation* dengan kapasitas $5 \text{ MW} < 50 \text{ MW}$; dan
- d. *Large Distributed Generation* dengan kapasitas $50 \text{ MW} < 300 \text{ MW}$.

Indonesia merupakan negara kepulauan, sehingga akses pendistribusian listrik yang merata menjadi lebih sulit. Hal ini dikarenakan apabila sumber listrik hanya diletakkan pada satu titik pusat beban maka suplai listrik ke daerah – daerah terjauh dari pusat beban tidak maksimal. Dalam proses distribusi listrik maka terdapat rugi-rugi (*losses*) teknis dan *losses* yang sangat mempengaruhi dalam distribusi listrik adalah *losses* jaringan. Apabila pelanggan listrik berada jauh dari pusat beban maka akan mempengaruhi kualitas daya dan kualitas tegangan pada pelanggan tersebut.

Keuntungan memanfaatkan DG adalah sebagai berikut :

- a. Mengurangi rugi-rugi (*losses*) jaringan transmisi maupun distribusi;
- b. Ramah lingkungan karena memanfaatkan energi terbarukan;

- c. DG dapat meningkatkan keandalan suatu sistem.

Sistem kelistrikan yang sering digunakan di Indonesia adalah dengan menempatkan pembangkit listrik terpusat dan mentransmisikan energi listrik menuju konsumen listrik dengan jarak yang cukup jauh.

Hal ini dikarenakan pembangkit-pembangkit listrik yang digunakan di Indonesia adalah pembangkit berkapasitas besar sehingga sulit diinstalasi di pusat beban dimana berada di tengah kota.

Dengan memanfaatkan sistem DG untuk melayani suplai energi listrik ke pelanggan, maka diharapkan akan mengurangi *losses* jaringan pada sistem.

Pada studi kali ini penulis memilih sistem kelistrikan di Pulau Buton dan Muna, Sulawesi Tenggara (sistem kelistrikan Bau – Bau dan Raha). Nilai beban puncak pada sistem kelistrikan Bau – Bau dan Raha yang terukur pada bulan Mei 2017 adalah sebesar 26,62 MW. Dalam menyuplai kebutuhan demand pada Pulau Buton dan Pulau Muna pihak PT. PLN (Persero) menyediakan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dan Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM) serta tambahan suplai dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).

Perhitungan *losses* sistem dibagi atas dua skenario dimana skenario pertama adalah saat pembangkit listrik *distributed generation* dikoneksikan dengan bus 20 kV rencana gardu induk di Sistem Bau – Bau, sedangkan untuk skenario kedua adalah pembangkit *distributed generation* akan dikoneksikan kepada salah satu bus 20 kV terujung penyulang. Guna mengetahui nilai *losses* pada saat penyisipan pembangkit energi baru terbarukan (EBT) pada sistem kelistrikan Bau – Bau dan Raha maka dilakukan kalkulasi menggunakan ETAP 16.0.0 pada kedua skenario.

Distributed generation (DG) atau sistem terdistribusi memanfaatkan sumber listrik dari pembangkit-pembangkit listrik kecil yang terpasang di dekat beban listrik. Kelebihan yang didapat dengan memanfaatkan sistem DG adalah sistem kelistrikan tidak hanya mengandalkan pembangkit-pembangkit listrik besar yang terpusat. Sering ditemukan pada sistem kelistrikan di Indonesia, pembangkit listrik

diletakkan jauh dengan pusat beban sehingga membutuhkan jalur transmisi yang panjang.

Apabila jalur transmisi maupun distribusi listrik panjang maka hal ini akan menimbulkan rugi-rugi atau losses teknik yang ada pada jalur konduktor.

Pembangkit-pembangkit listrik yang digunakan dalam mengimplementasikan DG adalah jenis pembangkit listrik yang memanfaatkan energy terbarukan (*renewable energy*).

A. Perhitungan Rugi – Rugi pada Jaringan

Dalam sebuah sistem kelistrikan rugi – rugi terbagi atas dua jenis yaitu rugi – rugi (*losses*) teknik dan rugi – rugi (*losses*) non teknik. *Losses* non teknik diantaranya seperti pencurian listrik dan bencana alam. Sedangkan untuk losses teknik contohnya seperti kerusakan pada perangkat dan kesalahan yang disebabkan human error.

Dalam menghitung *losses* teknik yang terdapat pada jaringan distribusi maka dikalkulasikan sebagai berikut :

$$P_{loss} = 3 \cdot I_{beban}^2 \cdot R_{jaringan} \quad (1)$$

Dimana :

P_{loss} adalah *losses* (rugi-rugi) daya aktif (W)

I_{beban} adalah arus beban (A)

$R_{jaringan}$ adalah resistansi pada jaringan distribusi (Ω)

3 adalah menunjukkan bahwa jaringan distribusi 3 fasa

Sedangkan untuk menghitung nilai *losses* teknik pada transformator, perhitungan yang digunakan sebagai berikut :

$$P_{loss} = 3 \cdot I^2 \cdot R_{Cu} \quad (2)$$

Dimana :

P_{loss} adalah *losses* (rugi-rugi) daya aktif (W)

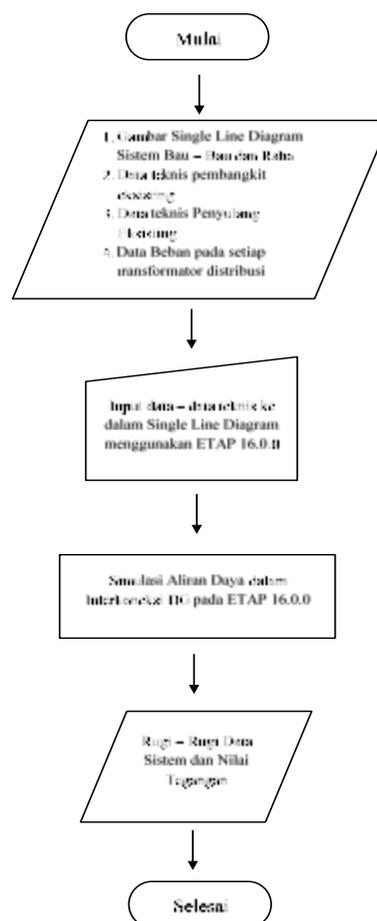
I adalah arus beban (A)

R_{Cu} adalah resistansi pada transformator (Ω)

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penulisan penelitian kali ini, peneliti melakukan analisis *losses* teknik pada sistem kelistrikan Bau – Bau dan Raha menggunakan ETAP 16.0.0. Gambar 1 menunjukkan diagram

alir dalam penelitian perhitungan losses 3 teknik penyisipan DG pada sistem Bau – Bau dan Raha :



Gambar 1 Diagram Alir Simulasi Aliran Daya Sistem Bau - Bau dan Raha

Dalam penelitian kali ini pemasangan pembangkit DG dibuat dalam dua skenario yaitu pembangkit DG disambungkan ke dalam sistem kelistrikan Bau – Bau dan Raha melalui Gardu Induk (GI) Bau-Bau yang berada di pulau Buton.

A. Studi Kasus

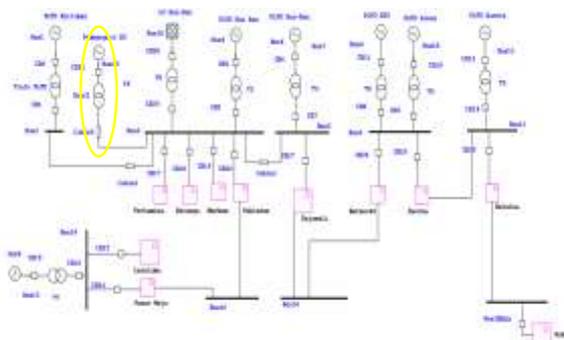
Penelitian kali ini memilih Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm) sebagai pilihan, hal ini dikarenakan pada Pulau Buton dan Pulau Muna terdapat banyak limbah – limbah hasil pengelolaan kayu dan masih banyaknya lahan untuk dijadikan hutan energi. Kapasitas PLTBm yang digunakan dalam simulasi kali ini adalah sebesar 6 MW.

Skenario yang dilakukan dalam simulasi aliran daya di sistem kelistrikan Bau – Bau dan Raha dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Skenario Penempatan DG

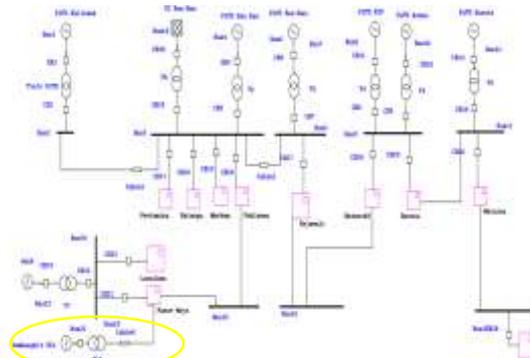
Skenario	POC (Point of Connection)	Penjelasan
Skenario I	Penyambungan Pembangkit DG (PLTBm) ke Rencana GI Bau – Bau 60 MVA di Pulau Buton	- Jarak antara pembangkit DG dengan GI Bau – Bau adalah 4 km.
Skenario II	Penyambungan Pembangkit DG (PLTBm) pada busbar 20 kV di gardu hubung Pasar Wajo	- Pada Gardu Hubung Pasar Wajo terdapat bus 20 kV dengan nilai tegangan masih dibawah 18 kV (standar PLN untuk tegangan pada sistem distribusi)

Gambar 2 menjelaskan posisi *point of connection* pembangkit DG yang dikoneksikan dengan busbar 20 kV GI Bau – Bau.



Gambar 2 *Point of Connection* berada di GI Bau – Bau

Gambar 3 menggambarkan posisi *point of connection* pembangkit DG yang dikoneksikan dengan busbar 20 kV di Penyulang Pasar Wajo.

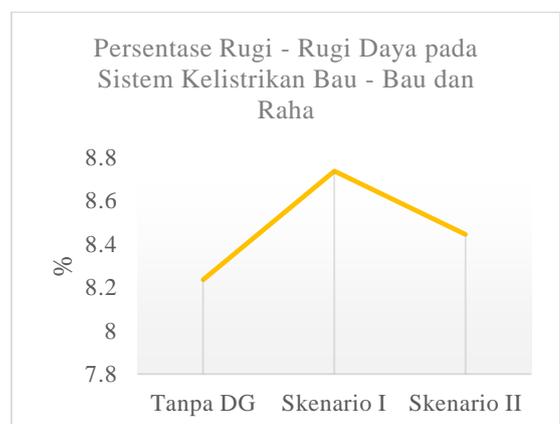


Gambar 3 *Point of Connection* berada di Penyulang Pasar Wajo

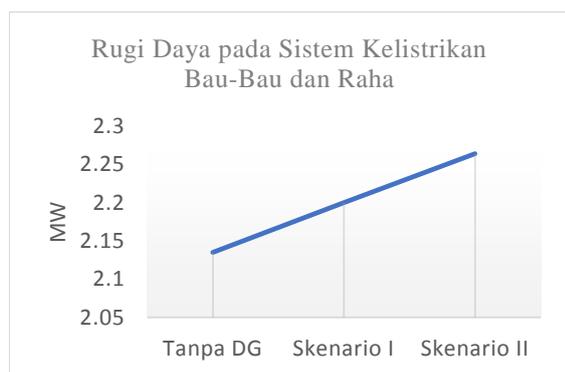
Tabel 2 adalah hasil simulasi dari analisis rugi-rugi daya pada sistem kelistrikan di Pulau Buton dan Pulau Muna pada saat sebelum dan setelah adanya pembangkit DG

Tabel 2 Nilai Rugi - Rugi Daya

Skenario	Rugi – Rugi Teknik pada Sistem			
	Tanpa Pembangkit DG		Dengan Pembangkit DG	
	MW	%	MW	%
Skenario I	2,135	8,235	2,200	8,735
Skenario II			2,264	8,443



Gambar 4.a Persentase Rugi - Rugi Daya Sistem Kelistrikan Bau - Bau dan Raha



Gambar 4.b Rugi - Rugi Daya Sistem Kelistrikan Bau - Bau dan Raha berdasarkan Simulasi ETAP 16.0.0

Berdasarkan tabel 2 didapatkan nilai rugi – rugi daya pada sistem kelistrikan Bau – Bau dan Raha adalah sebesar 8,235% sebelum adanya penambahan pembangkit DG. Pada Skenario I pembangkit DG dikoneksikan dengan busbar 20 kV disisi Gardu Induk (GI) Bau-Bau, pemilihan pemasangan pembangkit DG yang dikoneksikan ke GI adalah agar suplai daya dari pembangkit DG langsung diserap oleh beban yang ada. Hal ini juga berkaitan karena posisi rencana GI berada didekat pusat beban. Nilai losses pada sistem kelistrikan Bau – Bau dan Muna pada Skenario I mencapai 8,735% atau sama dengan 2,2 MW.

Pada Skenario II pembangkit DG dikoneksikan pada gardu hubung (GH) yang ada pada Penyulang Pasar Wajo, pemilihan penyisipan pembangkit di salah satu penyulang dikarenakan untuk memperbaiki nilai tegangan busbar pada penyulang terujung. Besar nilai losses pada sistem kelistrikan Bau – Bau dan Muna apabila pembangkit DG disisipkan pada salah satu penyulang mencapai 8,443% atau sama dengan 2,264 MW.

B. Nilai Tegangan Ujung Penyulang

Berdasarkan simulasi analisis aliran daya (*load flow analysis*) pada ETAP 16.0.0 nilai tegangan pada ujung setiap penyulang adalah sebagai berikut :

Tabel 5 Nilai Tegangan Ujung Penyulang
Nilai Tegangan Ujung Penyulang (kV)

Penyulang	Tanpa Sisipan Pembangkit DG		
	Skenario I	Skenario II	Skenario II
Murhum	19,62	19,63	19,64
Pertamina	19,39	19,40	19,41
Pahlawan	18,27	18,28	20,53
Batauga	17,37	17,38	19,59
Rajawali	19,57	19,58	20,68
Baruta	20,67	20,67	20,27
Pasar Wajo	17,93	17,94	19,70
Lasalimu	17,48	17,49	17,49
Watulea	19,29	19,29	19,29

Saat sistem kelistrikan tidak ada penambahan pembangkit DG pada ujung penyulang Batauga, Pasar Wajo, dan Lasalimu mengalami nilai tegangan dibawah standar PLN (SPLN Nomor 1 Tahun 1995 tentang Tegangan – Tegangan Standar). Nilai tegangan standar yang sesuai dengan standar PLN pada sistem distribusi adalah sebesar 18 kV – 20 kV.

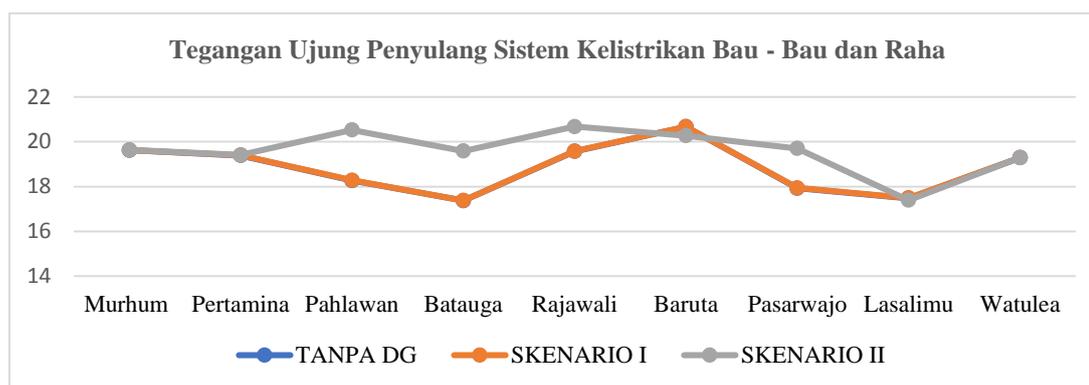
Hal yang sama juga terjadi saat pembangkit DG dikoneksikan langsung pada GI Bau – Bau, nilai tegangan pada ujung penyulang yaitu penyulang Batauga, Pasar Wajo, dan Lasalimu memiliki nilai dibawah standar.

Namun, pada Skenario II nilai tegangan pada ujung penyulang Batauga dan Pasar Wajo berubah menjadi diatas 18 kV, hal ini dikarenakan adanya penambahan DG yang dikoneksikan pada penyulang Pasar Wajo.

Hasil nilai tegangan ujung pada skenario II terlihat lebih baik bila dibandingkan dengan posisi tanpa adanya pembangkit DG dan skenario I. Hal ini dikarenakan posisi titik penyambungan (*point of connection*) dekat dengan ujung penyulang dimana nilai tegangannya dibawah 18 kV.

Pada gambar 5 terlihat bahwa kondisi sistem saat tanpa adanya pembangkit DG dan skenario II perbaikan tegangan – tegangan ujung tidak terlihat signifikan.

Namun pada saat pembangkit DG dikoneksikan ke penyulang Pasar Wajo nilai ujung tegangan pada penyulang naik.



Gambar 5 Nilai Tegangan Ujung Penyulang pada Sistem Bau - Bau dan Raha

Nilai ujung tegangan pada penyulang Pasar Wajo dan Batauga pada kondisi tanpa adanya penambahan DG bernilai 17,94 kV dan 17,38 kV menjadi naik ketika menggunakan skenario II dimana pembangkit DG dikoneksikan di penyulang Pasar Wajo. Saat melakukan simulasi di skenario II nilai tegangan pada ujung penyulang Pasar Wajo dan Batauga menjadi 19,70 kV dan 19,59 kV.

Hal ini menunjukkan adanya perbaikan tegangan ujung saat adanya penyisipan pembangkit DG di penyulang Pasar Wajo.

SIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan simulasi yang sudah dilaksanakan maka didapatkan nilai rugi – rugi daya pada simulasi penempatan DG pada dua kondisi *point of connection* yang berbeda, maka dapat disimpulkan bahwa nilai rugi – rugi daya dan nilai tegangan pada ujung penyulang dalam hasil simulasi skenario II lebih baik bila dibandingkan skenario I.

Dimana persentase rugi – rugi daya pada skenario II mencapai 8,443% sedangkan pada skenario I persentase rugi – rugi daya sistem sebesar 8,735%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Permana, Surya Fajar. 2016. *Analisis Pengaruh Pemasangan Distributed Generation Pada Jaringan Distribusi Pusdiklat Migas Cepu*. Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta
- [2] Nizam, Muhammad. 2008. *Pembangkit Listrik Terdistribusi (Distributed Generation) Sebagai Upaya Pemenuhan Kebutuhan Energi Listrik Di Indonesia*. Surakarta : Universitas Negeri Sebelas Maret

- [3] Putra, Rizky Pratama, dkk. 2012. *Analisa Penempatan Distributed Generation pada Jaringan Distribusi 20 kV*. Jurnal Teknik Its Vol. 1, No. 1

- [4] Nusaman, I Made Gusmara, dkk. 2015. *Analisis Pengaruh Interkoneksi Distributed Generation (PLTSA Suwung) Terhadap Rugi-Rugi Daya Dan Keandalan Pada Penyulang Serangan*. Teknologi Elektro, Vol. 14, No.2

- [5] Goop, Joel, Odenberger, Mikael, dan Johnson, Filip, “Distributed Solar and Wind Power – Impact on Distribution Losses,” *Energy* Volume 112, 2016, hlm. 271-284.

- [6] Dulau, Lucian Ioan, dkk, “Optimal Location of Distributed Generator for Power Losses Improvement,” *Procedia Technology*, Volume 22, 2016, hlm 734-739 .

- [7] Dri, Adrianus, “Meminimalkan Rugi-Rugi Pada Sistem Distribusi Tegangan Menengah Dengan Pemasangan Kapasitor,” *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, Volume 1, No.1, 2013.

- [8] Sitanggang, Van den Bosch, Ervianto, Edi. 2017. *Studi Rugi Daya Pada Transformator 20 Kv/690 Volt Pada Industri Kertas Saat Terjadi Gangguan 1 Fasa Ke Tanah*. Riau : Universitas Riau

- [9] Chiandone, M., Campaner, R., dkk. “Impact of Distributed Generation on Power Losses on an Actual Distribution Network,” *3rd International Conference on Renewable Energy Research and Applications*, 2014.

- [10] SPLN Nomor 1 Tahun 1995 tentang Tegangan – Tegangan Standar.

- [11] Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik Perusahaan Listrik Negara tahun 2018 – 2027

[12] Barker, P.P., De Mello, R.W,
“Determining the Impact of Distributed
Generation on Power Systems: Part 1 - Radial
Distribution Systems,” IEEE, 2000.