

Penetrasi PV dan Ketidakseimbangan Beban Pada Feeder 1 Gardu Induk Wirobrajan

Desrita Pardi, S.T., M. Eng

Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Sumatera Barat
Jalan Joni Anwar No. 85, Lapai Padang
Sumatera Barat, Indonesia

Email: *desritapardi@mail.ugm.ac.id, desritapardi@gmail.com*

ABSTRACT

The generation of electricity using fossil fuels can increase global warming. To reduce the use of fossil fuels, it can be overcome by developing and utilizing Renewable Energy (EBT). The example of this EBT is Photovoltaic (PV). The addition of PV with varying penetration and placement has different effects on the power flow. On the other hand, the load unbalanced results in the appearance of a current in the neutral of the transformer. The current that flows in the neutral of this transformer causes losses, namely losses due to a neutral current in the transformer neutral conductor and losses due to a neutral current flowing to the ground. The aim of this research is to see the effect of PV entry into the system with different penetrations. PV addition at the near end of the load with penetration of 10%, 20% and 30% at 0.38 kV caused losses to rise by 3.5 kW, 30.8 kW and 101.6 kW, while PV additions in the middle of circuit with penetrations of 10%, 20% and 30% at 20 kV helped reduce losses by 9.4 kW, 11.4 kW and 13 kW. In addition, to see the system load flow when there is a load unbalanced on Wirobrajan substation feeder 1 which consists of 4 distribution areas, namely Ngestiharjo-pakuncen, Tegalrejo, Bumijo A and Bumijo B using ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) 12.6.0.

Keywords : *power flow, load unbalanced, losses, penetration, PV*

ABSTRAK

Pembangkitan listrik dengan menggunakan bahan bakar fosil dapat meningkatkan pemanasan global. Untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil tersebut dapat diatasi dengan pengembangan dan pemanfaatan Energi Baru Terbarukan (EBT). Salah satu contoh dari EBT tersebut adalah *Photovoltaic* (PV). Penambahan PV dengan penetrasi dan penempatan yang bervariasi memiliki pengaruh yang berbeda-beda terhadap aliran daya. Disisi lain, ketidakseimbangan beban mengakibatkan munculnya arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya *losses* (rugi-rugi), yaitu *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah. Tujuan penelitian ini adalah untuk melihat pengaruh masuknya PV ke sistem dengan penetrasi yang berbeda-beda. Penambahan PV di ujung dekat beban dengan penetrasi 10 %, 20% dan 30 % pada tegangan 0,38 kV menyebabkan *losses* naik sebesar 3,5 kW, 30,8 kW dan 101,6 kW, sedangkan Penambahan PV di tengah saluran dengan penetrasi 10 %, 20% dan 30 % pada tegangan 20 kV membantu mengurangi *losses* sebesar 9,4 kW, 11,4 kW dan 13 kW. Selain itu, untuk melihat *load flow* sistem saat terjadi ketidakseimbangan beban pada Wirobrajan *substation feeder* 1 yang terdiri dari 4 area penyaluran yaitu Ngestiharjo-pakuncen, Tegalrejo, Bumijo A dan Bumijo B dengan menggunakan ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*) 12.6.0.

Kata kunci—aliran daya, ketidakseimbangan beban , losses, penetrasi, PV.

1. PENDAHULUAN

Saat ini Indonesia sedang melaksanakan pembangunan di segala bidang. Seiring dengan laju pertumbuhan pembangunan maka dituntut adanya sarana dan prasarana yang mendukungnya seperti ketersediaan tenaga listrik. Sehingga, tenaga listrik merupakan kebutuhan yang utama, baik untuk kehidupan sehari-hari maupun untuk kebutuhan industri. Penyediaan tenaga listrik yang stabil dan kontiniu merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik [1]. Dari kapasitas listrik yang dibangkitkan saat ini, sebagian besar energi listrik dibangkitkan dari sumber energi konvensional seperti batu bara, minyak bumi dan gas alam. Akibatnya, dengan semakin meningkatnya kebutuhan energi listrik di Indonesia maka kebutuhan akan sumber energi fosil juga turut meningkat secara eksponensial. Padahal di sisi lain, sumber energi fosil jumlahnya terbatas dan semakin lama akan habis sehingga membahayakan ketersediaan energi di masa depan dan memperbesar risiko melemahnya ketahanan energi di Indonesia [2].

Penggunaan bahan bakar fosil juga meningkatkan emisi gas rumah kaca yang dapat menyebabkan pemanasan global. Untuk mengatasi masalah tersebut, diperlukan solusi jangka panjang yang berkelanjutan dan ramah lingkungan. Salah satunya adalah dengan pemanfaatan energi terbarukan. Pengembangan pemanfaatan energi terbarukan merupakan upaya yang harus didukung penuh oleh seluruh lapisan masyarakat. Ketergantungan akan energi fosil yang semakin menipis cadangannya akan membuat Indonesia mengalami krisis energi. Sejatinya, antisipasi terhadap krisis energi bisa diatasi yaitu dengan terus melakukan pemanfaatan terhadap EBT [3].

Tulisan ini membahas tentang penetrasi dan ketidakseimbangan beban di sistem tenaga listrik pada wilayah Yogyakarta yaitu wilayah kerja Wirobrajan *substation feeder* 1 yang terdiri dari 4 area penyaluran yaitu Ngestiharjo-pakuncen, Tegalrejo, Bumijo A dan Bumijo B dengan total daya *input feeder* untuk *feeder* sebesar 6,4 MW dan beban sebesar 6,8 MW. Untuk memenuhi kelebihan bebannya, Wirobrajan *substation* terinterkoneksi dengan GDN *Substation* sebagai penyumbang daya yang kurang.

Yogyakarta merupakan salah satu kota yang berada di Negara Indonesia, merupakan negara tropis dengan potensi energi surya yang sangat besar karena wilayahnya yang terbentang melintasi garis khatulistiwa, dengan besar radiasi penyinaran 4,80 kWh/m²/hari [4] dengan kuat penyinaran tersebut diharapkan Indonesia dapat memanfaatkan radiasi tersebut dan menambah

kapasitas instalasi PV di seluruh dunia yang telah melampaui 300 GW [5].

Pada tulisan ini pemasangan dan penambahan PV yang dilakukan sangat tergantung terhadap tingkat penetrasinya, lokasi instalasi PV, jenis, kapasitas dan topografi jaringan [6], [7]. Menghitung persenan penetrasi PV sangat diperlukan. Ini diharapkan dapat memenuhi kebutuhan beban dalam waktu dekat. PV dengan penetrasi yang tinggi, tidak boleh terjadi karena dapat membahayakan operasi yang stabil dari sistem daya.

Saat ini, integrasi sumber daya energi terbarukan dalam jaringan distribusi telah meningkat pesat. Instalasi *Distributed Generation* (DG) di jaringan distribusi memiliki banyak manfaat seperti mengurangi kemacetan jaringan, mengurangi kerugian dan meningkatkan efisiensi sistem. Namun, meningkatkan penetrasi DG khususnya PV atau *photovoltaic* dan sistem angin atau PLTBayu menyebabkan banyak masalah teknis dalam sistem distribusi yang mempengaruhi kualitas daya dan keandalan jaringan [8]. Penetrasi PV yang tinggi menyebabkan banyak masalah tegangan termasuk kenaikan tegangan karena aliran daya yang terbalik dan kondisi beban yang rendah, fluktuasi tegangan karena perubahan kondisi cuaca, dan ketidakseimbangan tegangan karena perbedaan konfigurasi PV [7]-[10].

Namun, dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik tersebut, terjadi pembagian beban-beban yang pada awalnya seimbang menjadi tidak seimbang karena ketidakserempakan waktu penyaluran beban-beban tersebut, maka menimbulkan hasil ketidakseimbangan beban yang berdampak pada penyediaan tenaga listrik.

Tujuan penelitian ini adalah untuk melihat pengaruh masuknya PV ke sistem dengan penetrasi yang berbeda-beda. Selain itu, untuk melihat *load flow* sistem saat terjadi ketidakseimbangan beban pada Wirobrajan *substation feeder* 1 yang terdiri dari 4 area penyaluran yaitu Ngestiharjo-pakuncen, Tegalrejo, Bumijo A dan Bumijo B dengan menggunakan ETAP (*Electrical Transient Analyser Program*) 12.6.0

2. METODE PENELITIAN

2.1 Penetrasi PV

Salah satu tantangan integrasi PV pada jaringan distribusi adalah kemampuan sistem dalam menyalurkan energi PV dengan tetap menjaga standar layanan dan operasi. Kapasitas maksimal PV yang diintegrasikan dinyatakan sebagai besar penetrasi, yaitu rasio kapasitas terpasang PV terhadap beban puncak sistem. Faktor pembatas utama penetrasi adalah

Penetrasi PV dan Ketidakseimbangan Beban pada Feeder 1

pembebanan lebih pada saluran dan transformator serta kenaikan tegangan sistem.

Penempatan pada beberapa lokasi secara tersebar dapat meningkatkan batas penetrasi PV. Penetrasi PV dapat menurunkan rugi-rugi daya sistem, akan tetapi pada penetrasi yang tinggi rugi-rugi daya cenderung menjadi lebih besar.

Penelitian ini menggunakan beberapa metode, yaitu:

1. Penambahan pembangkitan *intermitten* (PLTS/PV) di ujung dekat beban dengan penetrasi 10 %, 20% dan 30 % pada tegangan 0,38 kV.
2. Penambahan pembangkitan *intermitten* (PLTS/PV) di tengah saluran dengan penetrasi 10 %, 20% dan 30 % pada tegangan 20 kV.
3. Penambahan pembangkitan *intermitten* (PLTS/PV) di pangkal saluran dengan penetrasi 10 %, 20% dan 30 % pada saluran 20 kV.

2.2 Ketidakseimbangan Beban

Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa pada pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut muncullah arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya *losses* (rugi-rugi), yaitu *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah.

Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, fasa S, fasa T) mengalirlah arus di netral trafo. Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo ini menyebabkan *losses* (rugi- rugi). *Losses* pada penghantar netral trafo ini dapat dirumuskan pada persamaan 1.

$$PN = IN^2 \times RN \quad (1)$$

dimana:

- PN = *losses* pada penghantar netral trafo (watt)
 IN = arus yang mengalir pada netral trafo (A)
 RN = tahanan penghantar netral trafo (Ω)

Sedangkan *losses* yang diakibatkan karena arus netral yang mengalir ke tanah (*ground*) dapat dihitung dengan perumusan persamaan 2.

$$PG = IG^2 \times RG \quad (2)$$

dimana:

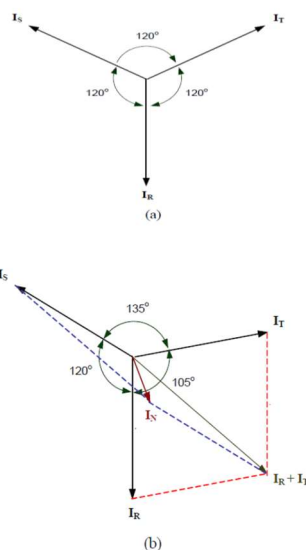
- PG = *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah (watt)
 IG = arus netral yang mengalir ke tanah (A)
 RG = tahanan pembumihan netral trafo (Ω)

Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan di mana :

1. Ketiga vektor arus / tegangan sama besar.
2. Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain.

Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada 3 yaitu:

1. Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
2. Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.
3. Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.



Gambar 1(a) dan 1 (b). Vektor Diagram Arus

Gambar 1(a), menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan seimbang, dimana terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R , I_S , I_T) adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral (I_N). Sedangkan pada Gambar 1(b), menunjukkan vektor diagram arus yang tidak seimbang, dimana terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya (I_R , I_S , I_T) tidak sama dengan nol sehingga muncul sebuah besaran yaitu arus netral (I_N) yang besarnya bergantung dari seberapa besar faktor ketidakseimbangannya [1].

Untuk Penelitian ini digunakan beberapa metode, yaitu:

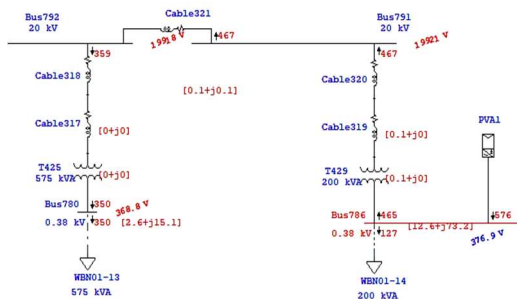
1. Ketidakseimbangan beban pada salah satu fasa tanpa PLTS/PV.
2. Ketidakseimbangan beban pada salah satu fasa dengan PLTS/PV.

Penetrasi PV dan Ketidakseimbangan Beban pada Feeder 1

1. HASIL DAN PEMBAHASAN

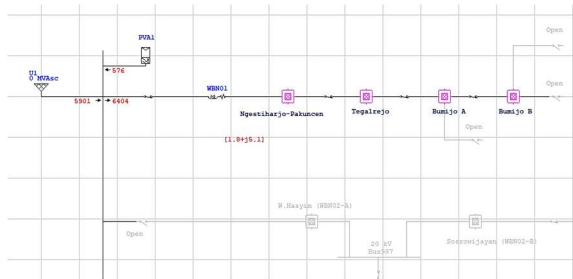
3.1 Penetrasi PV

- 1 Penetrasi 10% di ujung beban dengan daya lebih kurang 640 watt dengan efisiensi 90%. Sehingga didapatkan hasil sebesar 576 W.



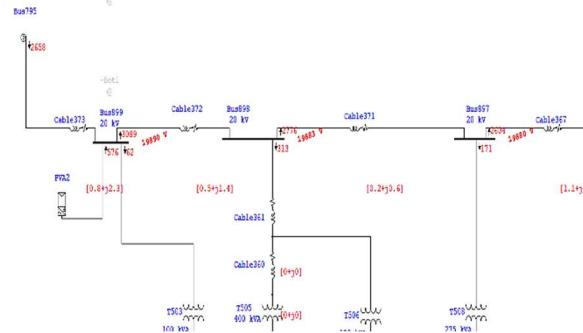
Gambar 2. Penetrasi 10% di ujung beban

- 2 Penetrasi 10 % di pangkal *feeder* dengan daya lebih kurang 640 watt dengan efisiensi 90%. Sehingga didapatkan hasil sebesar 576 W.



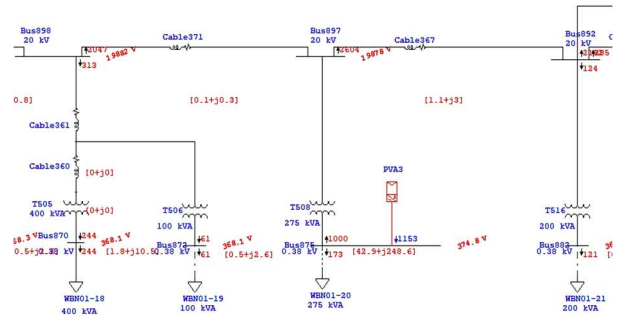
Gambar 3. Penetrasi 10% di pangkal *feeder*

- 3 Penetrasi 10% di tengah *feeder* dengan daya lebih kurang 640 watt dengan efisiensi 90%. Sehingga didapatkan hasil sebesar 576 W.



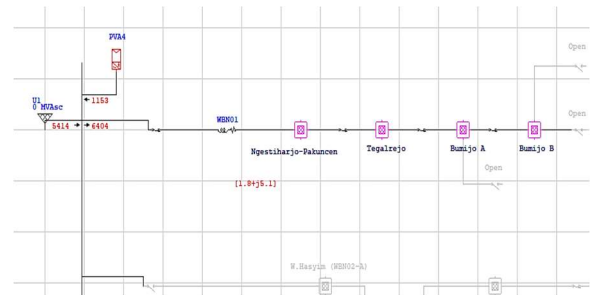
Gambar 4. Penetrasi 10% di tengah *feeder*

- 4 Penetrasi 20% di ujung beban dengan daya lebih kurang 1280 watt dengan efisiensi 90%. Sehingga didapatkan hasil sebesar 1153 W.



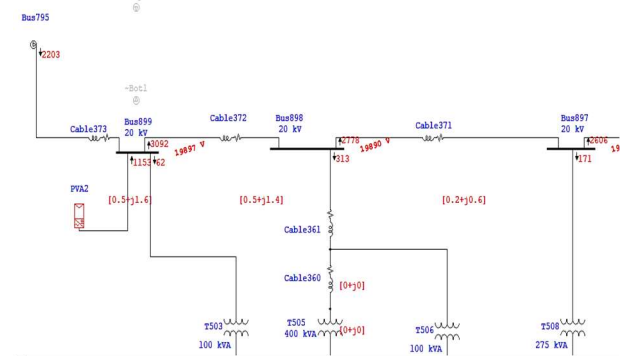
Gambar 5. Penetrasi 20% di ujung beban

- 5 Penetrasi 20% di pangkal *feeder* dengan daya lebih kurang 1280 watt dengan efisiensi 90%. Sehingga didapatkan hasil sebesar 1153 W.



Gambar 6. Penetrasi 20% di pangkal *feeder*

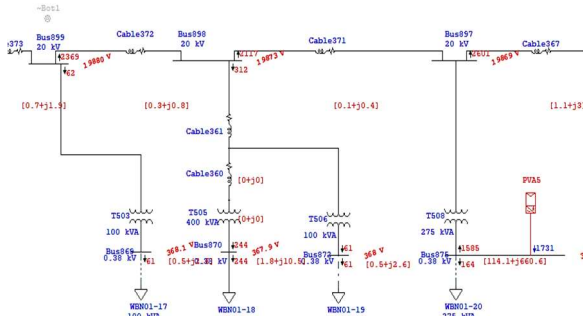
- 6 Penetrasi 20% di tengah *feeder* dengan daya lebih kurang 1280 watt dengan efisiensi 90%. Sehingga didapatkan hasil sebesar 1153 W.



Gambar 7. Penetrasi 20% di tengah *feeder*

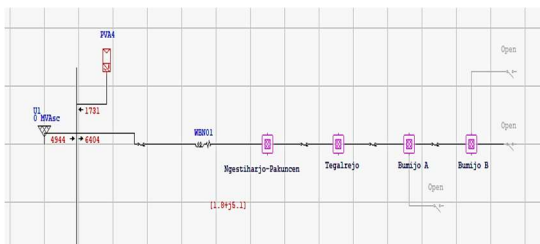
- 7 Penetrasi 30% di ujung beban dengan daya lebih kurang 1920 watt dengan efisiensi 90%. Sehingga didapatkan hasil sebesar 1728 W.

Penetrasi PV dan Ketidakseimbangan Beban pada Feeder 1



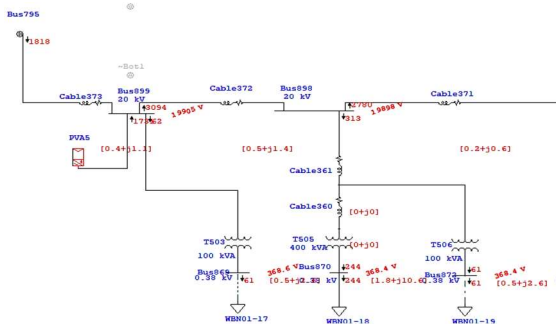
Gambar 8. Penetrasi 30% di ujung beban

- 8 Penetrasi 30% di pangkal *feeder* dengan daya lebih kurang 1920 watt dengan efisiensi 90%. Sehingga didapatkan hasil sebesar 1728 W.



Gambar 9. Penetrasi 30% di pangkal *feeder*

- 9 Penetrasi 30% di tengah *feeder* dengan daya lebih kurang 1920 watt dengan efisiensi 90%. Sehingga didapatkan hasil sebesar 1728 W.



Gambar 10. Penetrasi 30% di pangkal *feeder*

Total daya *input feeder* untuk *feeder* 1 Wirobrajan Substation sebesar 6,4 MW dengan beban sebesar 6,8 MW. Untuk memenuhi kebutuhan kelebihan beban tersebut, Wirobrajan *substation* di interkoneksi dengan GDN *Substation* sebagai penyumbang daya yang kurang, tetapi yang terjadi adalah *underloaded* (pembebanan yang kurang pada sistem) yang merupakan salah satu penyebab terjadi *over voltage* pada sistem.

Dari hasil penelitian diatas, dapat kita analisa bahwa :

1. Penambahan pembangkitan *intermitten* (PLTS/PV) di ujung dekat beban dengan penetrasi 10 %, 20% dan 30 % pada tegangan 0,38 kV menyebabkan *losses* naik karena daya yang dimanfaatkan lebih kecil dari daya yang dihasilkan, akibatnya PLTS berfungsi sebagai pemberi daya reaktif, sehingga sisa daya dialirkan ke saluran 20 kV dan menyebabkan *losses*.

Tabel 1. Kondisi sistem dengan PLTS di ujung dekat beban

Kondisi sistem	Losses	
	P (kW)	Q (kVar)
Normal	67,4	340,1
Penetrasi 10 %	70,9	369,1
Penetrasi 20 %	98,2	535,6
Penetrasi 30 %	169	946,6

2. Penambahan pembangkitan *intermitten* (PLTS/PV) di tengah saluran dengan penetrasi 10 %, 20% dan 30 % pada tegangan 20 kV membantu mengurangi *losses*. Semakin tinggi persen penetrasi, semakin kecil *losses*.

Tabel 2. Kondisi sistem dengan PLTS di tengah saluran

Kondisi sistem	Losses	
	P (kW)	Q (kVar)
Normal	67,4	340,1
Penetrasi 10 %	58	298,6
Penetrasi 20 %	56	292,9
Penetrasi 30 %	54,4	288,4

3. Penambahan pembangkitan *intermitten* (PLTS/PV) di pangkal saluran dengan penetrasi 10 %, 20% dan 30 % pada saluran 20 kV membantu mengurangi *losses*. Kenaikan penetrasi tidak terlalu signifikan terhadap penurunan *losses*.

Tabel 3. Kondisi sistem dengan PLTS di pangkal saluran

Kondisi sistem	Losses	
	P (kW)	Q (kVar)
Normal	67,4	340,1
Penetrasi 10 %	60,5	305,5
Penetrasi 20 %	60,5	305,5
Penetrasi 30 %	60,5	305,5

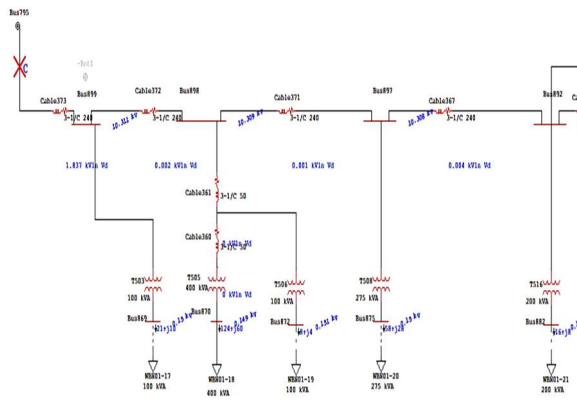
3.2 Ketidakseimbangan Beban

Langkah awal untuk membuat keadaan tidak seimbang pada kasus Feeder 1 WBN 01 pada ETAP adalah dengan mengubah *setting* nilai MVAsc pada menu *power grid* editor dengan input nilai kA sebesar 16 kA (standar nilai arus

Penetrasi PV dan Ketidakseimbangan Beban pada Feeder 1

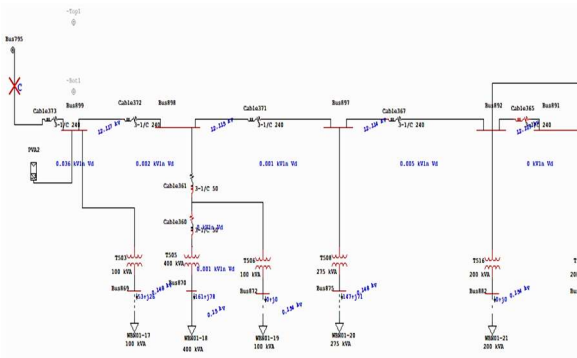
hubung singkat di sisi 20 kV) dan input nilai X/R dengan nilai 10.

1. Terjadi ketidakseimbangan beban pada fasa C pada bus 795 (Tanpa PLTS)



Gambar 11. ketidakseimbangan beban pada fasa C tanpa PLTS

2. Terjadi ketidakseimbangan beban pada fasa C pada bus 795 (Dengan PLTS)



Gambar 12. ketidakseimbangan beban pada fasa C dengan PLTS

Dari hasil penelitian diatas, dapat kita analisa bahwa :

1. Terjadi ketidakseimbangan beban pada fasa C pada bus 795 (Tanpa PLTS). *Losses* Menjadi Sangat Besar, ini terjadi karena adanya ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo, sehingga arus muncul pada netral trafo. Dapat dilihat pada Gambar 13. *Losses* menjadi 118,9 kW.
2. Terjadi ketidakseimbangan beban pada fasa C pada bus 795 (Dengan PLTS). *Losses* Menjadi Sangat Besar jika dibandingkan dengan beban seimbang, tetapi jika dibandingkan dengan tanpa PLTS beban tidak seimbang *losses*nya lebih kecil. Dapat dilihat pada Gambar 14. *Losses* menjadi 113,1 kW

Ckt / Branch	Phase	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses		% Bus Voltage		% Drop in Vmag	Aspect is Neutral Winding
		MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar	From	To		
T676	A	0.000	0.047	-0.089	-0.043	0.7	4.2	104.2	104.6	2.58	0.00
	B	0.091	0.048	-0.090	-0.044	1.5	4.7	105.0	102.0	3.07	0.00
	C	0.091	0.048	-0.091	-0.044	0.0	3.9	104.7	102.4	2.24	0.00
T678	A	0.044	0.081	-0.133	-0.065	-0.5	16.7	104.2	96.5	7.70	0.00
	B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	105.0	104.6	0.44	0.00
	C	0.095	0.002	0.000	0.000	92.8	2.1	104.7	105.1	0.40	0.00
T680	A	0.019	0.000	0.000	0.000	18.5	0.4	104.2	104.2	0.04	0.00
	B	0.009	0.016	-0.027	-0.013	-17.9	3.4	105.0	96.8	8.21	0.00
	C	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	104.7	105.1	0.40	0.00
T681	A	0.010	0.005	-0.010	-0.005	0.1	0.5	104.2	104.6	2.58	0.00
	B	0.010	0.005	-0.010	-0.005	0.2	0.5	105.0	102.0	3.07	0.00
	C	0.010	0.005	-0.010	-0.005	0.0	0.4	104.7	102.4	2.24	0.00
T684	A	0.020	0.011	-0.020	-0.010	0.1	0.9	104.2	104.6	2.57	0.00
	B	0.020	0.011	-0.020	-0.010	0.3	1.0	105.0	102.0	3.07	0.00
	C	0.020	0.011	-0.020	-0.010	0.0	0.9	104.7	102.4	2.24	0.00
T686	A	0.037	0.001	0.000	0.000	37.1	0.8	104.2	104.2	0.05	0.00
	B	0.018	0.033	-0.054	-0.026	-35.8	6.8	105.0	96.8	8.21	0.00
	C	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	104.7	105.1	0.40	0.00
T687	A	0.009	0.016	-0.027	-0.013	-17.9	3.3	104.2	96.5	7.70	0.00
	B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	105.1	104.6	0.44	0.00
	C	0.019	0.000	0.000	0.000	18.6	0.4	104.7	105.1	0.40	0.00
						118.9	636.6				

Gambar 13. Ketidakseimbangan beban tanpa PLTS

T678	A	0.044	0.081	-0.134	-0.065	-0.5	16.8	104.3	96.6	7.70	0.00
	B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	105.1	104.7	0.44	0.00
	C	0.095	0.002	0.000	0.000	93.0	2.1	104.8	105.2	0.40	0.00
T680	A	0.019	0.000	0.000	0.000	18.6	0.4	104.3	104.3	0.05	0.00
	B	0.009	0.016	-0.027	-0.013	-17.9	3.4	105.1	96.9	8.21	0.00
	C	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	104.8	105.2	0.39	0.00
T681	A	0.010	0.005	-0.010	-0.005	0.1	0.5	104.3	104.7	2.58	0.00
	B	0.010	0.005	-0.010	-0.005	0.2	0.5	105.1	102.1	3.07	0.00
	C	0.010	0.005	-0.010	-0.005	0.0	0.4	104.8	102.5	2.25	0.00
T684	A	0.020	0.011	-0.020	-0.010	0.1	0.9	104.3	104.7	2.57	0.00
	B	0.020	0.011	-0.020	-0.010	0.3	1.0	105.1	102.1	3.07	0.00
	C	0.020	0.011	-0.020	-0.010	0.0	0.9	104.8	102.5	2.25	0.00
T686	A	0.037	0.001	0.000	0.000	37.1	0.8	104.3	104.3	0.05	0.00
	B	0.018	0.033	-0.054	-0.026	-35.8	6.8	105.1	96.9	8.21	0.00
	C	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	104.8	105.2	0.39	0.00
T687	A	0.009	0.016	-0.027	-0.013	-18.0	3.4	104.3	96.6	7.71	0.00
	B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	105.2	104.7	0.43	0.00
	C	0.019	0.000	0.000	0.000	18.6	0.4	104.8	105.2	0.39	0.00
						113.1	620.6				

Gambar 14. Ketidakseimbangan beban dengan PLTS

Akibat ketidakseimbangan beban tersebut muncullah arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya *losses* (rugi-rugi), yaitu *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah.

4. KESIMPULAN

1. *Over voltage* pada sistem disebabkan oleh *underloaded* (pembebanan yang kurang pada sistem). Jika kondisi ini dibiarkan terus menerus dapat menyebabkan degradasi pada

Penetrasi PV dan Ketidakseimbangan Beban pada Feeder 1

- peralatan elektronik (berkurangnya masa penggunaan alat).
2. Penambahan pembangkitan *intermitten* (PLTS) di ujung dekat beban dengan penetrasi 10 %, 20% dan 30 % pada tegangan 0,38 kV menyebabkan *losses* naik karena daya yang dimanfaatkan lebih kecil dari daya yang dihasilkan, akibatnya PLTS berfungsi sebagai pemberi daya reaktif.
 3. Penambahan pembangkitan *intermitten* (PLTS) di tengah saluran dengan penetrasi 10 %, 20% dan 30 % pada tegangan 20 kV membantu mengurangi *losses*. Semakin tinggi persen penetrasi, semakin kecil *losses*.
 4. Penambahan pembangkitan *intermitten* (PLTS) di pangkal saluran dengan penetrasi 10 %, 20% dan 30 % pada saluran 20 kV membantu mengurangi *losses*. Kenaikan penetrasi tidak terlalu signifikan terhadap penurunan *losses*.
 5. Ketidakseimbangan beban mengakibatkan munculnya arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya *losses* (rugi-rugi), yaitu *losses* akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah.
- Networks : A Case Study of Yildiz,” no. May, pp. 13–17, 2013.
- [8] A. Bedawy and K. Mahmoud, “Optimal Decentralized Voltage Control in Unbalanced Distribution Networks with High PV Penetration,” no. December, pp. 19–21, 2017.
 - [9] Azzahra, S., Yogianto, A., & Hajar, I. Studi Dampak Level Penetrasi Pembangkit Listrik Fotovoltaik pada Jaringan Distribusi. *Energi & Kelistrikan*, 11(1), 1-8. 2019.
 - [10] Nurmela, Nurmela, and Nurul Hiron. " OPTIMASI KINERJA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK HYBRID." *Journal of Energy and Electrical Engineering (JEEE)* 1.1 2019.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. S. Setiadji, T. Machmudsyah, Y. Isnanto, and J. Siwalankerto, “Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi,” vol. 6, no. 1, pp. 68–73, 2006.
- [2] F. Adzikri, D. Notosudjono, D. Suhendi, P. Studi, and T. Elektro, “STRATEGI PENGEMBANGAN ENERGI TERBARUKAN,” pp. 1–13, 2014.
- [3] “Program Strategis EBTKE dan Ketenagalistrikan,” *JURNAL ENERGI Media Komunikasi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral*, p. 100, 2016.
- [4] P. H. Lumbangaol, “1 pendahuluan,” no. 4, pp. 1–14, 2007.
- [5] J. Yaghoobi, M. Islam, and N. Mithulanathan, “Analytical approach to assess the loadability of unbalanced distribution grid with rooftop PV units,” *Appl. Energy*, vol. 211, no. December 2015, pp. 358–367, 2018.
- [6] M. Ebad and W. M. Grady, “An approach for assessing high-penetration PV impact on distribution feeders,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 133, pp. 347–354, 2016.
- [7] F. Tursun, “Impacts of PV Installation on the Low Voltage Residential Distribution