

**ANALISIS LOAD FLOW DAN SHORT CIRCUIT SERTA
PENGARUH PENAMBAHAN *PHOTOVOLTAIC* (PV)
PADA GI KENTUNGAN *FEEDER* KTN07**

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

e-mail: desritapardi@mail.ugm.ac.id, desritapardi@gmail.com

ABSTRACT

In the operation of the electric power system required good quality and reliability level, one of which is the voltage that reaches the customer does not experience a voltage drop. One of the way that the planning and operation of electric power is good is by analysis of load flow. The analysis of Load flow aims to find out the characteristics of power flow in the form of the influence of load variations and losses on the power flow and also study the presence of voltages drop on the load side. The purpose of writing this paper is to see and analyze the load flow of the system when the conditions exist, short circuit and at the time of the addition of DG (Distributed Generation) which in this study DG used is PV (photovoltaic). The analysis was conducted on Kentungan Substation at feeder 3 (KTN07) consisting of 23 areas (KTN07-A to KTN07-W) with a total of 106 busbars. Research using ETAP (Electrical Transient Analyser Program) 12.6.0. The results showed that of the 106 busbars studied, 28 busbars experienced Undervoltage (Critical). The addition of DG (PV) at the base of the grid with a penetration of 30% on a 20 kV does not help reduce losses, but if the addition of DG (PV) is carried out in the middle of the grid with a penetration of 30% at a voltage of 20 kV it helps 3, 17 % reduce losses.

Keywords: Distributed Generation, Load flow, losses, Penetration, photovoltaic, short circuit

ABSTRAK

Pada pengoperasian sistem tenaga listrik diperlukan kualitas dan tingkat keandalan yang baik, salah satunya adalah tegangan yang sampai ke pelanggan tidak mengalami *drop* tegangan. Salah satu cara agar perencanaan dan pengoperasian tenaga listrik tersebut baik adalah dengan analisis *load flow*. Analisis *load flow* bertujuan untuk mengetahui karakteristik aliran daya berupa pengaruh dari variasi beban dan rugi-rugi pada aliran daya serta tegangan jatuh di sisi beban. Tujuan penulisan *paper* ini adalah untuk melihat dan menganalisa *load flow* sistem saat kondisi eksisting, hubung singkat (*Short Circuit*) dan pada saat penambahan DG (*Distributed Generation*). DG yang dipakai adalah PV (*photovoltaic*). Analisa dilakukan pada GI (Gardu Induk) Kentungan *feeder* 3 (KTN07) yang terdiri dari 23 area (KTN07-A sampai KTN07-W) dengan total 106 busbar. Penelitian menggunakan ETAP (*Electrical Transient Analyser Program*) 12.6.0. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari 106 busbar yang diteliti, didapatkan 28 busbar yang mengalami *undervoltage* (*Critical*). Penambahan DG (PV) di pangkal saluran dengan penetrasi 30 % pada saluran 20 kV tidak membantu mengurangi *losses*, tetapi jika Penambahan DG (PV) dilakukan pada tengah saluran dengan penetrasi 30 % pada tegangan 20 kV membantu mengurangi *losses* sebesar 3, 17 %.

Kata kunci: *Distributed Generation, Load flow, losses, penetrasi, PV, short circuit*

1. PENDAHULUAN

Pada pengoperasian sistem tenaga listrik diperlukan kualitas dan tingkat keandalan yang baik, salah satunya adalah tegangan yang sampai ke pelanggan tidak mengalami *drop* tegangan atau tegangan turun di bawah standarisasi dari PLN (-10%). Faktor kualitas ditentukan dari pusat pembangkitan yang terdiri dari generator dan trafo *step up*, saluran transmisi yang bertegangan tinggi/ekstra tinggi dan pada jaringan distribusi. Untuk jaringan distribusi, energi listrik yang disalurkan dari penyulang Gardu Induk (GI) melalui Jaringan Tegangan Menengah (JTM) ke sisi primer trafo distribusi *step down* 20 kV dirubah ke sistem tegangan rendah (TR) pada bagian sekunder trafo yaitu 380 V, kemudian didistribusikan ke masing-masing pelanggan jaringan tegangan rendah (JTR)[1].

Analisis *load flow* bertujuan untuk mengetahui karakteristik aliran daya yang berupa pengaruh dari variasi beban dan rugi-rugi pada aliran daya dan juga mempelajari adanya tegangan jatuh di sisi beban. Aliran daya pada suatu sistem tenaga listrik secara garis besar adalah suatu peristiwa daya yang mengalir berupa daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) dari suatu sistem pembangkit (sisi pengirim) melalui suatu saluran atau jaringan transmisi hingga sampai ke sisi beban (sisi penerima) [2]. Pada kondisi ideal, maka daya yang diberikan oleh sisi pengirim akan sama dengan daya yang diterima beban. Namun pada kondisi real, daya yang dikirim sisi pengirim tidak akan sama dengan yang diterima beban. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa hal:

1. Impedansi di saluran transmisi.
Impedansi di saluran transmisi dapat terjadi karena berbagai hal dan sudah mencakup resultan antara hambatan resistif, induktif dan kapasitif. Hal ini yang menyebabkan rugi-rugi daya karena terkonversi atau terbuang menjadi energi lain dalam transfer energi.
2. Tipe beban yang tersambung jalur.
Ada 3 tipe beban, yaitu resistif, induktif, dan kapasitif. Resultan antara besaran hambatan kapasitif dan induktif akan mempengaruhi faktor daya sehingga mempengaruhi perbandingan antara besarnya daya yang ditransfer dengan yang diterima.

Salah satu tantangan peletakan *Distributed Generation* (DG) pada jaringan distribusi adalah kemampuan sistem dalam menyalurkan energi dengan tetap menjaga standar layanan dan operasi. Meningkatkan penetrasi DG khususnya PV atau *photovoltaic* menyebabkan banyak masalah teknis dalam sistem distribusi yang mempengaruhi keandalan jaringan [7],[8]. Faktor

pembatas utama penetrasi adalah pembebanan lebih pada saluran dan transformator serta kenaikan tegangan sistem. Penetrasi PLTS dapat menurunkan rugi-rugi daya sistem, akan tetapi pada penetrasi yang tinggi rugi-rugi daya cenderung menjadi lebih besar.

Studi hubung-singkat dilakukan untuk menentukan besarnya arus yang mengalir melewati sistem tenaga listrik pada berbagai jarak waktu setelah gangguan terjadi. Besarnya arus yang mengalir melewati sistem tenaga listrik setelah gangguan berubah menurut waktu sampai mencapai kondisi tetap. Selama kondisi gangguan, sistem proteksi diperlukan untuk mendeteksi, menghilangkan, dan mengisolasi gangguan tersebut. Hal ini dapat dilakukan pada bermacam-macam gangguan (3 fasa simetris, fasa ke fasa, dua fasa ke tanah, dan satu fasa ke tanah) pada lokasi yang berbeda dari keseluruhan sistem.

Tujuan penelitian ini adalah untuk melihat dan menganalisa *load flow* sistem saat kondisi eksisting, hubung singkat (*short circuit*) dan pada saat adanya penambahan DG (*Distributed Generation*) yang mana pada penelitian ini DG yang dipakai adalah PV (*Photovoltaic*). Analisa dilakukan pada GI (Gardu Induk) Kentungan feeder 3 (KTN07) yang terdiri dari 23 area (KTN07-A sampai KTN07-W) dengan total 106 busbar. Penelitian menggunakan ETAP (*Electrical Transient Analyser Program*) 12.6.0

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian dapat dilihat pada *flowchart* Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Metode Penelitian

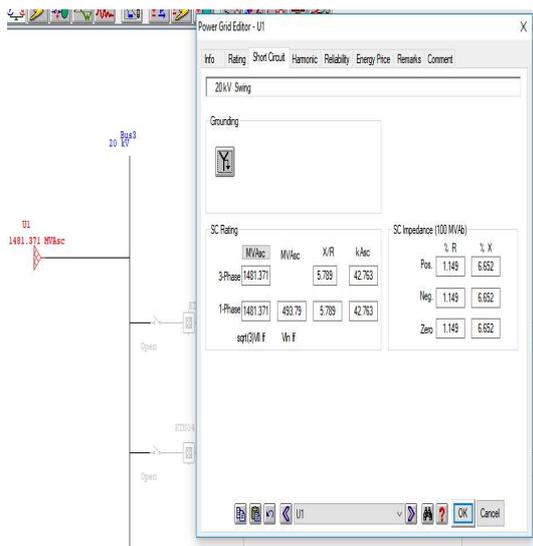
Analisis Load Flow dan Short Circuit

Penelitian ini membahas tentang analisis *load flow* sistem saat :

1. Kondisi eksisting
Data jaringan TM yang digunakan pada penelitian ini adalah data eksisting jaringan TM GI Kentungan Feeder KTN07
2. Pada saat adanya penambahan DG (*Distributed Generation*) di pangkal Feeder dan di tengah saluran.
DG yang digunakan pada penelitian ini adalah PV (*Photovoltaic*).

Selain itu, penelitian ini juga membahas analisis hubung singkat (*short circuit*).

Langkah awal untuk membuat hubung singkat (*short circuit*) dari kondisi eksisting pada GI (Gardu Induk) Kentungan feeder 3 (KTN07) pada ETAP adalah dengan cara mengubah seting nilai *SC Impedance* sesuai dengan seting trafo yang sudah ada dengan setingan sistem untuk X/R nya sebesar 5.789 dengan %R SC Impedance sebesar 1.149 % dan % X sebesar 6.652 %, sehingga didapatkan nilai *MVA_{sc}* sebesar 1481.37 [9],[10], seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. seting nilai *SC Impedance* pada *power grid*

Untuk perhitungan arus gangguan tiga fasa simetris menggunakan ETAP berlaku persamaan (1).

$$I_{sc} = \frac{MVA_{sc}}{kV\sqrt{3}} \quad (1)$$

Keterangan :

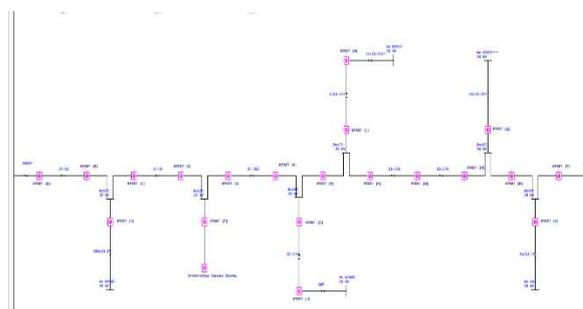
- I_{sc} = Arus hubung singkat (kA)
- MVA_{sc} = MVA hubung singkat (MVA)
- kV = Tegangan sebelum gangguan (kV)

Analisa dilakukan pada GI (Gardu Induk) Kentungan feeder 3 (KTN07) yang terdiri dari 23 area (KTN07-A sampai KTN07-W) dengan total 106 busbar. Daya *input feeder* sebesar 9,617 MW dan beban sebesar 8,847 MW. Simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Electrical Transient Analyser Program (ETAP)* versi 12.6.0.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kondisi Eksisting

Kondisi eksisting GI Kentungan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Kondisi Eksisting GI Kentungan

Kondisi eksisting ini disimulasikan dalam *software Etap*, hasil simulasi setelah *running*, terlihat pada Tabel. 1.

Tabel.1 Hasil simulasi kondisi eksisting GI Kentungan

Bus ID	Nominal kV	Voltage	Loading kW
Bus2	20	99.04	9566
Bus3	20	100	9617
Bus4	0.38	95.16	261
Bus6	0.38	95.18	162
Bus7	20	98.13	9090
Bus9	20	97.75	9069
Bus10	0.38	93.94	118
Bus11	20	97.02	8437
Bus12	20	97.37	8930
Bus14	20	97.33	476
Bus15	0.38	93.24	38.904
Bus16	0.38	93.54	313
Bus18	20	97.32	159
Bus21	20	97.32	39.645
Bus22	0.38	93.53	39.148
Bus23	20	97.02	39.397
Bus25	0.38	93.52	97.846
Bus26	20	97.31	119
Bus28	0.38	92.98	58.04
Bus29	20	97.31	19.817
Bus30	0.38	93.52	19.568
Bus32	20	96.75	8385
Bus35	20	94.81	7918
Bus36	0.38	90.95	298
Bus39	20	94.66	562
Bus40	0.38	91	298
Bus41	20	96.49	8313

Analisis Load Flow dan Short Circuit

Bus ID	Nominal kV	Voltage	Loading kW
Bus42	20	95.64	8271
Bus43	0.38	91.89	122
Bus45	0.38	91.91	189
Bus47	0.38	91.02	315
Bus54	20	93.67	6688
Bus55	20	94.71	1183
Bus56	0.38	90.02	363
Bus58	20	92.54	143
Bus59	20	92.55	6278
Bus60	20	94.66	260
Bus61	0.38	90.95	257
Bus63	20	92.3	6125
Bus64	20	92.54	143
Bus66	20	92.54	143
Bus67	0.38	88.93	142
Bus68	20	92.6	6280
Bus70	0.38	88.7	88.024
Bus71	20	92.05	6027
Bus72	20	92.02	2087
Bus73	0.38	87.05	423
Bus74	0.38	88.31	262
Bus75	20	91.89	3935
Bus76	0.38	87.67	256
Bus78	0.38	87.69	120
Bus80	20	91.24	381
Bus82	20	91.3	2375
Bus84	20	91.28	1993
Bus85	0.38	87.56	173
Bus86	0.38	87.58	360
Bus87	20	91.39	2079
Bus88	0.38	87.8	500
Bus90	0.38	87.82	1553
Bus94	0.38	87.49	34.445
Bus97	0.38	87.47	34.243
Bus99	20	91.02	34.677
Bus100	0.38	87.48	154
Bus104	20	91.03	191
Bus131	20	91.06	226
Bus139	0.38	87.47	34.431
Bus143	0.38	87.47	68.486
Bus166	0.38	87.47	34.24
Bus170	20	91.02	34.675
Bus179	20	91.75	3238
Bus180	20	91.56	3234
Bus181	0.38	87.97	488
Bus184	0.38	87.99	322
Bus185	20	91.41	2411
Bus187	20	91.36	2411
Bus190	0.38	87.8	34.497
Bus192	20	91.02	104
Bus194	0.38	87.47	34.426
Bus196	0.38	87.48	103
Bus197	20	91.03	104
Bus198	20	91.03	139
Bus199	20	91.03	243
Bus201	20	91.04	278
Bus208	20	91.07	504
Bus209	20	91.13	1044
Bus214	20	91.23	739
Bus215	0.38	87.65	34.572
Bus217	0.38	87.67	68.794
Bus254	20	91.26	949
Bus255	0.38	87.7	207
Bus260	20	91.21	635
Bus331	0.38	87.62	241
Bus333	20	91.18	390
Bus334	0.38	87.61	145
Bus345	0.38	87.65	172

Bus ID	Nominal kV	Voltage	Loading kW
Bus352	20	91.2	244
Bus355	0.38	87.63	69.108
Bus854	20	91.24	739
Ke AAU	20	91.03	0
Ke GJN06	20	92.54	0
Ke KTN03	20	97.02	0
Ke KTN11	20	91.39	0
Ke KTN11*	20	91.18	0
Ke KTN11**	20	91.2	0
Ke KTN11***	20	91.24	0

Critical Marginal

Dengan setingan sesuai Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 04 Tahun 2009 tentang Aturan Distribusi Tenaga Listrik, maka dari 106 busbar didapatkan 28 (dua puluh delapan) busbar yang mengalami *undervoltage* (*Critical*), hal ini disebabkan karena instalasi penyambungan antar konektor kurang bagus atau rugi-rugi tegangan yang besar pada penghantar karena jarak tarikan terlalu panjang atau kabel penghantar yang digunakan pada JTR tidak sesuai dengan standar yang ditetapkan [5].

Untuk total *losses* pada saat running kondisi eksisting pada GI (Gardu Induk) Kentungan *feeder* 3 (KTN07) didapatkan sebesar 513.9 kW dengan *losses* terbesar pada *cable* 97 dari bus 3 ke bus 2 yaitu sebesar 51.9 kW, dapat dilihat pada Gambar 4.

Branch Losses Summary Report

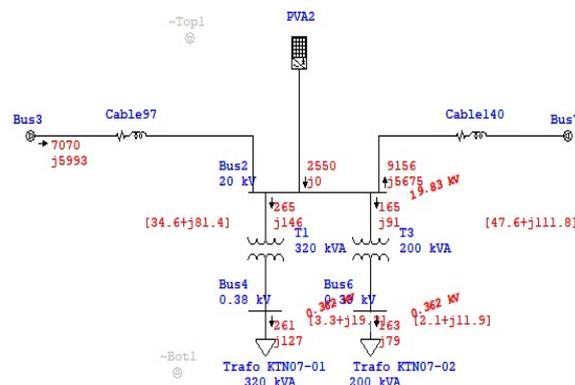
CKT / Branch ID	From-To Bus Flow		To-From Bus Flow		Losses	
	MW	Mvar	MW	Mvar	kW	kvar
Cable97	-9.566	-5.899	9.617	6.021	51.9	122.0

Gambar 4. Nilai *losses* terbesar kondisi eksisting

3.2 Penambahan DG

3.2.1 Penambahan DG di tengah saluran

Penetrasi 30% pada bus 2 sebesar 2.654 kW, seperti terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5. PV pada bus 2 dengan penetrasi 30 %

Analisis Load Flow dan Short Circuit

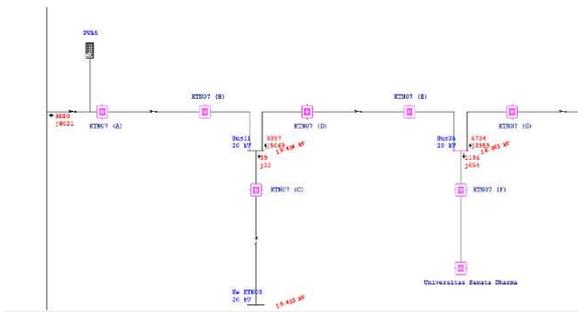
Tabel.2 Losses setelah penambahan PV

ID	From Bus	To Bus	Losses kW
Cable97	Bus3	Bus2	34.636

Penambahan DG (PV) di tengah saluran dengan penetrasi 30 % pada tegangan 20 kV membantu mengurangi losses pada Cable 97 sebesar 17.264 kW, seperti terlihat pada Tabel 2.

3.2.2 Penambahan DG di pangkal feeder

Penetrasi 30% di pangkal feeder sebesar 2.654 kW, seperti terlihat pada Gambar 6.



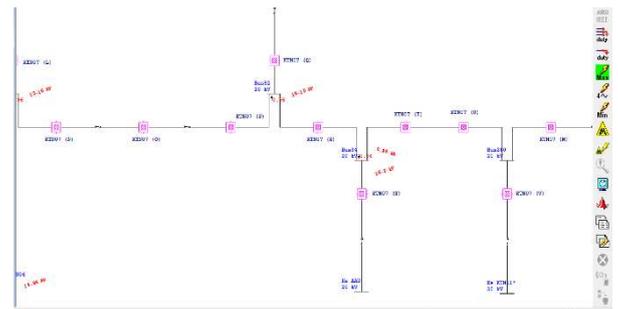
Gambar 6. PV dipangkal feeder dengan penetrasi 30 %

Penambahan DG (PV) di pangkal saluran dengan penetrasi 30 % pada saluran 20 kV tidak membantu mengurangi losses. Besar losses yang dihasilkan sama dengan losses pada saat running kondisi eksisting.

3.3 Hubung Singkat (short circuit)

Dengan setting sesuai metode penelitian, kondisi hubung singkat dibuat pada Bus 3, dan dari hasil simulasi didapatkan bahwa nilai Isc terbesar terdapat pada bus 11. Jika dibandingkan dengan bus 84 (bus terjauh), nilai Isc pada bus 11 lebih besar dari pada nilai Isc pada bus 84. Hal ini terjadi karena arus hubung singkat ditentukan oleh impedansinya. Semakin jauh bus gangguan dari power grid, maka impedansi salurannya akan semakin besar. Semakin besar impedansi maka arus hubung singkat akan semakin kecil. Sebaliknya semakin dekat bus gangguan dari power grid, maka impedansi saluran semakin kecil dan arus hubung singkat akan semakin besar[6].

1. Hubung Singkat pada bus 84 (Gambar 7)



Gambar 7. Hubung singkat pada bus 84

Dari hasil running simulasi didapatkan nilai Isc seperti terlihat pada Gambar 8.

Project:	ETAP	Page:	17
Location:	12.6.00E	Date:	06-18-2019
Contact:		SN:	
Engineer:		Revision:	Base
Filename:	setting.mstr	Study Case:	SC
		Config:	Normal

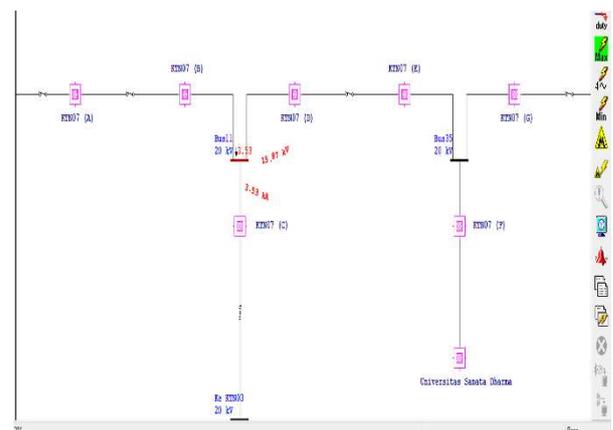
Short-Circuit Summary Report														
1/2 Cycle - 3-Phase, LG, LL, & LLG Fault Currents														
Prefault Voltage = 100 % of the Bus Nominal Voltage														
Bus	ID	3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault			Line-to-Line Fault			*Line-to-Line-to-Ground			
		Real	Imag	Mag	Real	Imag	Mag	Real	Imag	Mag	Real	Imag	Mag	
Bus84		20.00	0.797	-4.933	2.091	0.228	-0.932	0.900	1.674	0.690	1.011	1.614	0.955	1.096

All fault currents are symmetrical maximum (1/2 Cycle network) values in rms kA

* LLG fault current is the larger of the two faulted line currents

Gambar 8. Hasil simulasi hubung singkat pada bus 84

2. Hubung singkat pada bus 11 (Gambar 9)



Gambar 9. Hubung singkat pada bus 11

Dari hasil simulasi didapatkan besarnya arus gangguan seperti terlihat pada Gambar 10.

Analisis Load Flow dan Short Circuit

Project:	ETAP	Page:	17
Location:	12.6.0E	Date:	06-18-2019
Contract:		SN:	
Engineer:	Studi Case: SC	Revision:	Base
Filename:	setting urva	Config:	Normal

Short-Circuit Summary Report

1/0 Cycle - 3-Phase, LG, LL, & LLG Fault Currents

Perault Voltage = 110 % of the Bus Nominal Voltage

Bus	3-Phase Fault			Line-to-Ground Fault			Line-to-Line Fault			Line-to-Line-to-Ground				
	ID	kV	Real	Imag	Mag	Real	Imag	Mag	Real	Imag	Mag	Real	Imag	Mag
Bus11		20.00	2.59	-4.717	7.187	9.825	-3.472	3.350	5.817	2.231	6.224	5.991	3.359	6.522

All fault currents are symmetrical maximum (1/0 Cycle network) values in rms kA

* LLG fault current is the larger of the two faulted line currents

Gambar 10. Hasil simulasi hubung singkat pada bus 11.

4. KESIMPULAN

1. Pada keadaan eksisting GI (Gardu Induk) Kentungan *feeder* 3 (KTN07) terdapat 28 (dua puluh delapan) busbar yang mengalami *undervoltage (critical)*, hal ini disebabkan karena instalasi penyambungan antar konektor kurang bagus atau rugi-rugi tegangan yang besar pada penghantar karena jarak tarikan terlalu panjang atau kabel penghantar yang digunakan pada JTR tidak sesuai dengan standard yang ditetapkan.
2. Penambahan DG (PV) di tengah saluran dengan penetrasi 30 % pada tegangan 20 kV membantu mengurangi *losses* sebesar 3, 17 %.
3. Penambahan DG (PV) di pangkal saluran dengan penetrasi 30 % pada saluran 20 kV tidak membantu mengurangi *losses*. Besar *losses* yang dihasilkan sama dengan *losses* pada saat running kondisi eksisting yaitu sebesar 513,9 kW.
4. Nilai *Isc* pada Bus 11 lebih besar dari pada nilai *Isc* pada bus 84, karena jarak bus 11 lebih dekat dengan power grid. Hal ini terjadi karena arus hubung singkat ditentukan oleh impedansinya. Semakin jauh bus gangguan dari power grid, maka impedansi salurannya akan semakin besar. Semakin besar impedansi maka arus hubung singkat akan semakin kecil. Sebaliknya semakin dekat bus gangguan dari power grid, maka impedansi saluran semakin kecil dan arus hubung singkat akan semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Jaringan, T. Rendah, and J. T. R. Untuk, "Memperbaiki Drop Tegangan Di Daerah Banjar Tulangnyuh Klungkung," *Jur. Tek. Elektro, Fak. Tek. Univ. Udayana*, vol. 9, no. 2, 2010.

- [2] A. Salman, Rudi dan Sinuraya, "Simulasi Dan Analisis Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Perangkat Lunak Electrical Transient Analyser Program (Etap) Versi 4.0," *Issn 0854-7468*, Vol. 15, No. 1, Pp. 119–126, 2014.
- [3] J. Stevenson, W.D, *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Keempat. Jakarta: Erlangga, 1994.
- [4] T. Blackburn, J.L., Domin, *Protective Relaying Principle and Application*, Third Edit. London: Taylor & Francis Group, 2006.
- [5] A. N. Handayani, Fani Istiana, Yuningtyastuti, "Analisis Jatuh Tegangan dan Rugi Daya Pada Jaringan Tegangan Rendah Menggunakan Software Etap 12.6.0," 2016.
- [6] K. J. Aryamantara, I. A. Giriantari, and I. . Sukerayasa, "Analisis Hubung Singkat Pada Jaringan Tegangan Menengah 20 kV Penyulang Kedonganan," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 17, no. 2, p. 213, 2018.
- [7] 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.
- [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] Galla, W.F, "Analisis Gangguan Hubung Singkat Pada Saluran Udara 20 kV di Penyulang Naioni PT. PLN (Persero) ULP Kupang Untuk Menentukan Kapasitas Pemutusan Fuse Cut Out Menggunakan ETAP 12.6", *Jurnal Media Elektro*, vol. IX, no.2,2020.
- [10] Kamal, Andi Rahmi, "Analisis Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah Terhadap PMT di Penyulang Takalar 20 kV GI Sungguminasa", Prosiding Seminar Teknik Elektro & Informatika SNTEI 2016.