

Studi Penetrasi *Distributed Generation* Pada Sistem Distribusi Bantul Feeder Bantul 07

Imron

Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri, Universitas Balikpapan
imron@uniba-bpn.ac.id

Abstrak- *Distribution Generation* (DG) atau pembangkit tersebar merupakan pembangkit dengan kapasitas kecil (di bawah 10 MW) yang dapat menyuplai langsung konsumen atau terhubung langsung pada jaringan distribusi. DG ditempatkan biasanya pada bus-bus yang terhubung langsung ke beban. Parameter-parameter yang perlu diperhatikan dalam pemasangan DG antara lain adalah level tegangan dan kerugian daya. Pemasangan DG semakin meningkat di seluruh dunia didorong oleh kebijakan nasional dan internasional yang bertujuan untuk meningkatkan pangsa sumber energi terbarukan dan unit-unit tenaga panas dan mikro yang sangat efisien untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengurangi pemanasan global. Penempatan DG dapat mempengaruhi aliran daya dan tegangan pada bus di sistem distribusi. Oleh karena itu, penempatan DG harus diperhitungkan dan direncanakan secara detail agar dapat bekerja secara optimal. Penempatan DG yang tidak optimal dapat meningkatkan losses pada sistem, sehingga berpengaruh terhadap profil tegangan yang akan menurun. Penempatan dan kapasitas DG yang optimal dapat berpengaruh kepada peningkatan profil tegangan, mengurangi losses, meningkatkan kapasitas distribusi, dan meningkatkan keandalan pada sistem. Makalah ini membahas terkait adanya penetrasi dari DG pada sistem yang sudah ada, dalam hal ini kasus yang diambil adalah pada feeder Bantul 07.

Kata kunci : *Distribution Generation* (DG), Penetrasi, Energi Baru Terbarukan, Feeder Bantul 07

I. Pendahuluan

Distributed generation adalah sebuah pendekatan yang menggunakan teknologi skala kecil untuk menghasilkan listrik dekat dengan pengguna. Teknologi DG sering terdiri dari modular generator dan kadang-kadang energi terbarukan. Pembangkitan skala kecil tersebar dapat mereduksi kebutuhan jaringan dalam skala besar walaupun terjadi perubahan pada jaringan sistem tenaga listrik. Teknologi DG sangat diperlukan di sisi jaringan distribusi karena sistem tersebut dapat mengurangi rugi daya pada sistem dan memperbaiki kualitas tegangan untuk terciptanya kehandalan sistem tenaga listrik. Penggunaan DG dapat juga memperbaiki efisiensi, sehingga dapat mempengaruhi performa dari pusat tenaga

listrik. Karakteristik DG adalah skala kecil, terdistribusi dan dekat dengan pusat beban (closed to load), terinterkoneksi dengan sistem distribusi, membatasi pembangunan jaringan transmisi dan memiliki aliran daya satu arah. Pembangkit ini ramah lingkungan, andal dalam merespon perubahan beban, mengurangi penggunaan bahan bakar fosil, deregulasi dalam pasar kelistrikan dan sejumlah keuntungan lainnya. Penerapan DG memberikan banyak manfaat pada sistem tenaga listrik, dikategorikan dalam hal teknis, lingkungan, dan ekonomis. Keuntungan dalam hal teknis antara lain pengurangan rugi-rugi transmisi, perbaikan profil tegangan, peningkatan efisiensi energi, peningkatan keandalan dan keamanan sistem, perbaikan kualitas daya, dan dapat menghilangkan kontingensi transmisi-distribusi [1] [2] [3].

II. Pembangkit Tersebar

Teknologi DG dapat berupa internal combustion engines, fuel cells, microturbines, small gas turbines, small combined cycle gas turbines, small geothermal, solar photovoltaic, solar thermal, biofuel, biomass, wind power dan small-hydropower. Interkoneksi dengan jaringan transmisi memungkinkan cadangan pembangkitan minimal dan pengoperasiannya dapat diatur dalam menghasilkan biaya pembangkitan yang paling efisien. Berdasarkan karakteristik daya keluaran, DG dikategorikan dalam dua jenis yaitu *dispatchable* dan *non-dispatchable*. *Dispatchable* dimaksudkan apabila keluaran DG besarnya dapat diatur oleh operator, dengan cara mengatur jumlah energi primer yang dikirim ke DG tersebut. Berbeda dengan *non-dispatchable* yang mana operator tidak dapat mengatur jumlah energi primer yang dibangkitkan oleh DG. *Energi of Information Administration* (EIA) telah melakukan penelitian yang menghasilkan laporan yang berisi data statistik mengenai pertumbuhan kebutuhan energi listrik khususnya DG yang bersumber dari energi terbarukan di seluruh dunia. Dukungan berbagai kebijakan dan intensif dari pemerintah dunia menjadikan komposisi pembangkit listrik energi terbarukan dunia diperkirakan mengalami peningkatan yang cukup signifikan dari 18% pada tahun 2007 menjadi 23% pada 2035 [4]. DG menawarkan kelebihan dalam hal biaya investasi fasilitas pembangkit dan saluran transmisi dibandingkan tenaga listrik konvensional.

Beberapa faktor yang mendorong pertumbuhan DG seperti efisiensi penyaluran energi listrik, deregulasi, diversifikasi sumber daya listrik, mengurangi emisi gas rumah kaca ² dalam mengatasi perubahan iklim, dan pemenuhan kebutuhan nasional. DG telah mendapat banyak perhatian luas di seluruh dunia sebagai alternatif dari sistem pembangkit konvensional yang telah ada selama bertahun-tahun. Sebagian besar negara telah memiliki program dan kebijakan dalam mendukung perkembangan DG terutama yang bersumber dari energi terbarukan. Pembangkit listrik yang bersumber dari energi terbarukan memiliki kerapatan energi yang lebih rendah jika dibandingkan dengan pembangkit berbahan bakar fosil, namun lebih ramah lingkungan dan dapat diperbaharui [5].

III. Pembangkit Photovoltaic/Solar cell

Photovoltaic (PV) merupakan DG yang memanfaatkan sinar matahari dalam menghasilkan listrik. Teknologi diaplikasikan dengan menggunakan sel surya untuk menangkap dan mengubah energi sinar matahari menjadi listrik. Pada saat ini, ada beberapa tipe dari sel surya yang sudah dikembangkan yaitu *amorphous silicone*, *cadmium telluride*, *copper indium deselenide* dan *crystalline silicone*, tetapi yang sering digunakan adalah *silicone cell (crystalline silicone)*. Sistem dari PV ini terdiri dari beberapa sel yang dapat mengubah radiasi sinar matahari menjadi energi listrik. Besarnya energi listrik yang dihasilkan tergantung pada luas dari sel itu sendiri [6]. Pada penelitian ini kami menggunakan PV dengan jenis

Tabel I. Jenis PV

Jenis Type	Daya per-PV
Sharp NU 230F3 Mono-crystalline	230 Wp

IV. Metodologi

Pembahasan pada penelitian ini dilakukan pada *feeder Bantul 07* yang merupakan acuan dari data yang akan diolah untuk melihat kondisi perubahan yang terjadi dengan adanya DG. *Feeder Bantul 07* dibagi menjadi sembilan belas area yaitu sebagai berikut Panggunharjo, Panggunharjo bnl7, Panggunharjo/tirtonimolo, tirtonimolo selatan, Pendowoharjo, Bantul A, Bantul B, Tirenggo, Bantul C, Ringinharjo, Guwosari, Palbapang, Sumbermulyo, Sidomulyo, Mulyodadi, Tirtomulyo, dan Srigading. Pada saluran tersebut memiliki 28 beban terpasang dengan total beban 13756 kW. Kondisi yang diamati juga terdapat pada sisi *Bus* dengan total 61 *Bus*. Masukan dilakukan pada sistem pada *Bus* sisi 20 kV untuk skenario PV *farm*.

Beberapa kondisi yang dilakukan terhadap penelitian ini dimana melakukan beberapa percobaan yang di uji coba kepada *feeder Bantul 07*. Skenario yang dilakukan meliputi pemasangan PV *farm (Photovoltaic)*. Kondisi pemasangan PV *farm* dimasukkan kedalam sebuah sistem dengan

Tabel II. Skenario Penetrasi PV-DG

Skenario	Keterangan
Skenario 1	Penetrasi PV farm pada ujung feeder area Srigading Pembebanan 40%
Skenario 2	Penetrasi PV farm pada ujung feeder area Srigading Pembebanan 80%
Skenario 3	Penetrasi PV farm pada ujung feeder area Srigading Pembebanan 100%
Skenario 4	Penetrasi PV dengan adanya short circuit

masukan 20%, 30%, 40% dari total beban pada saat kondisi beban puncak. Dari kondisi masukan tersebut dapat dilihat pengaruh dan keadaan pada sebuah sistem mengacu pada perubahan tegangan dan rugi-rugi.

A. Skenario Penetrasi PV-Farm

PV *farm* dimasukkan kedalam sebuah sistem dengan masukan 20%, 40%, 60% dari total beban pada saat kondisi beban puncak. Daya total masukan dari masing-masing PV *farm* yaitu masukan 20% sehingga didapatkan masukan sebesar 2751 kW, PV *farm* masukan 30% sehingga didapatkan masukan sebesar 4126 kW, PV *farm* masukan 40% sehingga didapatkan masukan sebesar 5502 kW, dan PV *farm* 50% masukan sehingga didapatkan masukan sebesar 6878 kW.

Tabel III. Skenario Penetrasi PV Farm

Normal	Total Beban (kW)	Penetrasi PV
20% pada ujung area Srigading	13756,05	2751,21
40% pada ujung area Srigading	13 756,05	5502,42
60% pada ujung area Srigading	13 756,05	8253,63

V. Hasil dan Pembahasan

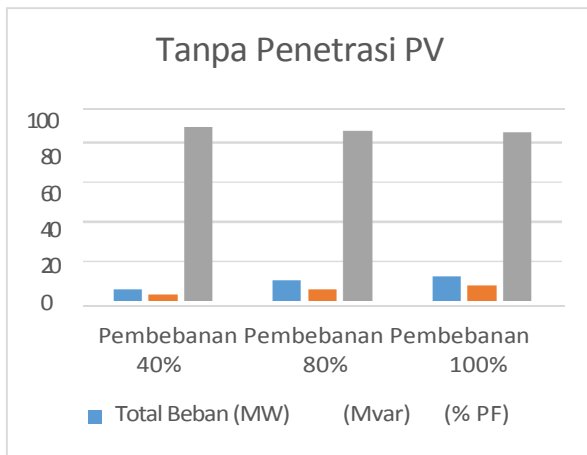
Kondisi *feeder Bantul 07* merupakan feeder dengan jarak terpanjang di dalam saluran GI Bantul. Data penelitian yang telah ada mendapatkan hasil pada pembebanan 40% total beban yang di berikan sebesar 5666 kW dan 3066 kVar, pada pembebanan 80% dihasilkan total beban sebesar 10582 kW dan 6313 kVar, dan pada pembebanan 100% dihasilkan total beban 12876 kW dan 7968 kVar. Adapun dengan adanya peningkatan perubahan beban hingga beban puncak maka terdapat perubahan pula pada *Power Factor* yang dimana perubahan tersebut memperburuk *Power Factor*. Pada saat beban 40% dihasilkan PF senilai 87,95%, kemudian menurun saat adanya perubahan beban menjadi 85,88%, dan kembali turun menjadi 84,87% saat beban puncak 100%. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa pembebanan dalam sebuah sistem sebaiknya di jaga tidak

melebih dari 80% dari beban yang telah di tetapkan agar keandalan di dalam sistem tetap terjaga.

Analisa selajutnya dilakukan dengan memperhatikan profil tegangan pada sistem jaringan. Batasan toleransi pada

Tabel IV. Data eksisting tanpa ada penetrasi PV

	Tanpa Penetrasi PV		
	Total Beban (MW)	(Mvar)	(% PF)
Pembebanan 40%	5,666	3,066	87,95
Pembebanan 80%	10,582	6,313	85,88
Pembebanan 100%	12,786	7,968	84,87



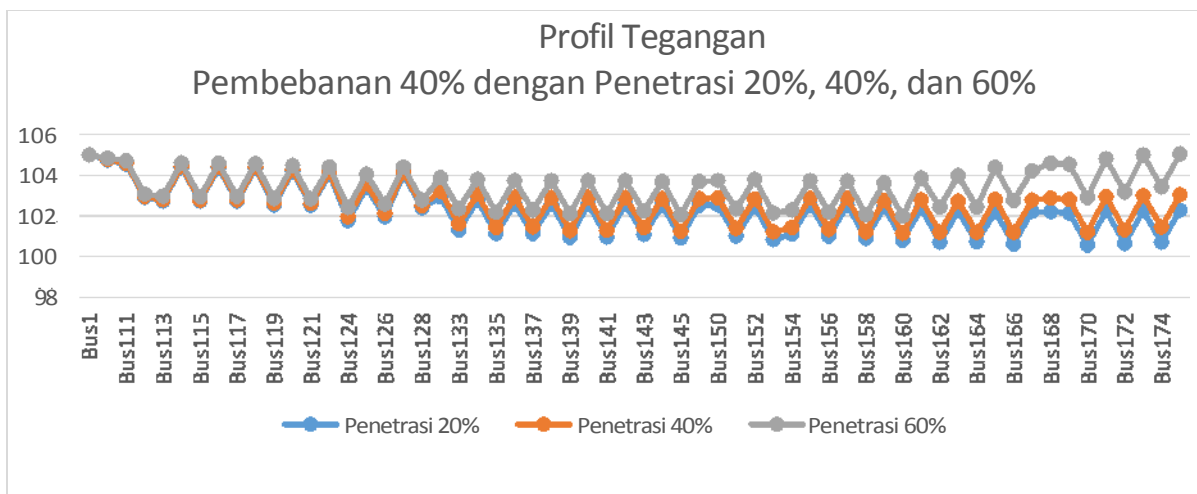
Gambar I. Kondisi sistem eksisting

perubahan tegangan yang direkomendasikan oleh pihak PLN dalam (cite) sebesar +5% dan -10%. Kondisi pada feeder Bantul 07 didapatkan hasil sebagai berikut :

- Pada kondisi Pembebanan 40% pada penetrasi PV sesuai dengan skenario yaitu 20%, 40%, dan 60% kondisi tegangan pada setiap Bus hampir semua tidak ada yang melewati dari toleransi yang telah di tentukan namun pada Bus 175 terjadi *over voltage* pada penetrasi 60%. Kondisi yang ditemui pada pembebanan 40% yaitu data pada profil tegangan di sistem hampir semua dari Bus mengalami kondisi marginal yang berarti hasil profil tegangan tersebut telah mendekati area critical atau mendekati *over* dan *under voltage*. Sehingga hasil pada pembebanan 40% jika dipenetrasi PV masih kurang memuaskan di dalam keandalan sistem dari sisi aspek profil tegangan

Tabel V. Penetrasi PV dengan Pembebanan 40%

Bus ID	Pembebanan 40%		
	Penetrasi 20%	Penetrasi 40%	Penetrasi 60%
Bus163	102,24	102,73	103,98
Bus164	100,72	101,2	102,43
Bus165	102,2	102,81	104,38
Bus166	100,61	101,2	102,75
Bus167	102,22	102,77	104,2
Bus168	102,2	102,86	104,59
Bus169	102,15	102,81	104,54
Bus170	100,56	101,2	102,9
Bus171	102,24	102,94	104,8
Bus172	100,64	101,33	103,17
Bus173	102,24	102,99	104,99
Bus174	100,71	101,45	103,42
Bus175	102,29	103,04	105,04



Tabel VI. Penetrasi PV dengan Pembebanan 80%

Bus ID	Pembebanan 80%		
	Penetrasi 20%	Penetrasi 40%	Penetrasi 60%
Bus163	98,66	99,17	100,51
Bus164	95,72	96,22	97,51
Bus165	98,35	98,99	100,66
Bus166	95,29	95,9	97,52
Bus167	98,49	99,07	100,59
Bus168	98,26	98,95	100,77
Bus169	98,16	98,85	100,67
Bus170	95,09	95,76	97,53
Bus171	98,24	98,98	100,94
Bus172	95,18	95,89	97,79
Bus173	98,16	98,95	101,05
Bus174	95,22	95,99	98,02
Bus175	98,26	99,05	101,15

yang dihasilkan. Sebagian dari contoh hasil data pada kondisi pembebanan 40%.

- Pada kondisi pembebanan 80% % pada penetrasi PV sesuai dengan skenario yaitu 20%, 40%, dan 60% kondisi tegangan pada setiap Bus semua tidak ada yang melewati dari toleransi yang telah di tentukan namun masih terdapat beberapa bus yang mendekati ke arah marginal yaitu mendekati ambang critical atau mendekati *over* dan *under voltage*. Pada pembebanan 80% hasil yang diperoleh merupakan hasil yang optimal bagi adanya penetrasi PV dikarenakan hasil yang diperoleh dari sisi kualitas profil tegangan lebih baik dibandingkan dengan hasil pembebanan 40% dan 100%. Sebagian dari contoh hasil data pada kondisi pembebanan 80%.
- Pada kondisi pembebanan 100% pada penetrasi PV sesuai dengan skenario yaitu 20%, 40%, dan 60%

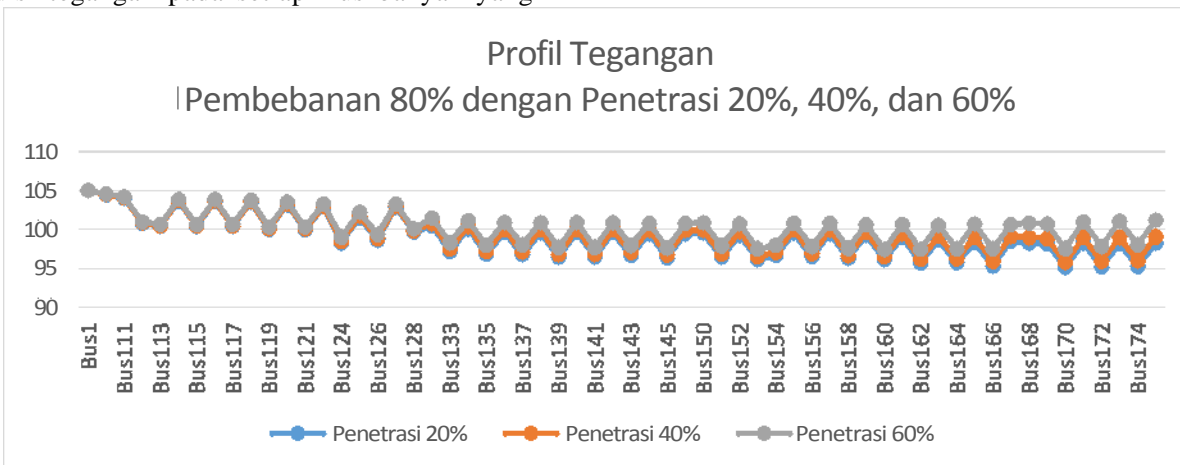
kondisi tegangan pada setiap Bus banyak yang

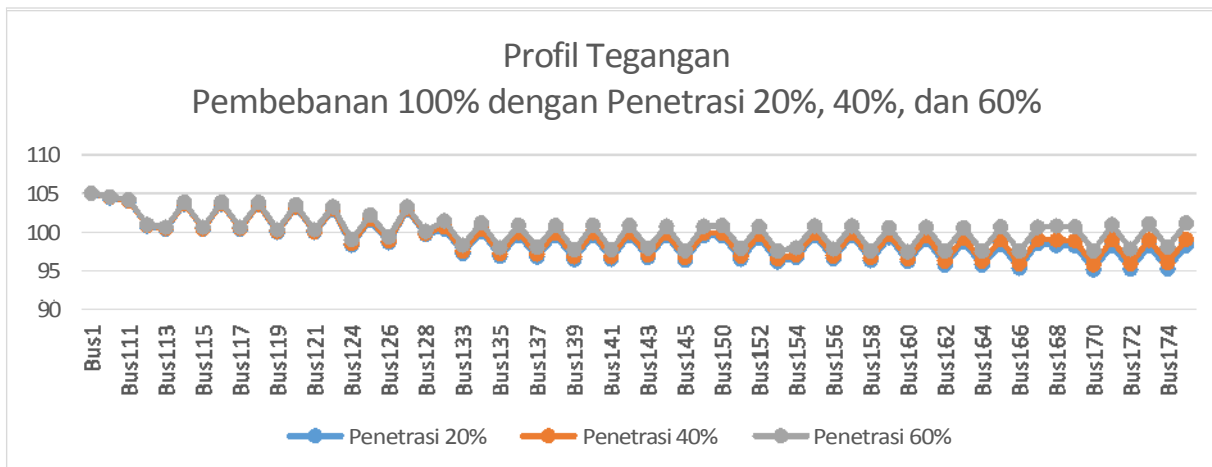
melewati ambang batas toleransi yang telah ditetapkan ini mengindikasikan bahwa pada sisi kualitas tegangan dengan adanya penetrasi PV menyebabkan tidak baiknya kualitas tersebut, Menyebabkan untuk pembebanan tersebut lebih baik saat penetrasi semakin besar pada saat 60% namun jikan dibawah dari penetrasi PV tersebut maka kondisi critical banyak ditemui. Kondisi ini menyebabkan selain perlunya PV dengan kapasitas besar diperlukan juga sistem proteksi yang baik dikarenakan dapat terjadi *short circuit* pada sistem. Sebagian dari contoh hasil data pada kondisi pembebanan 100%

Selain dari profil tegangan yang perlu diperhatikan juga adalah daya yang terbuang atau *P Losses*. *Losses* pada jaringan distribusi adalah perbedaan antara energi listrik yang disalurkan dengan energi listrik yang terpakai. Pada

Tabel VII. Penetrasi PV dengan Pembebanan 100%

Bus ID	Pembebanan 100%		
	Penetrasi 20%	Penetrasi 40%	Penetrasi 60%
Bus163	96,93	97,47	98,83
Bus164	93,33	93,84	95,16
Bus165	96,51	97,16	98,88
Bus166	92,75	93,38	95,02
Bus167	96,7	97,3	98,86
Bus168	96,36	97,07	98,94
Bus169	96,24	96,95	98,82
Bus170	92,49	93,17	94,97
Bus171	96,33	97,08	99,09
Bus172	92,57	93,3	95,23
Bus173	96,21	97,01	99,16
Bus174	92,61	93,38	95,45
Bus175	96,33	97,14	99,29





setiap pembebanan hasil *losses* berbeda-beda dimana pada pembebanan 40% cenderung nilainya meningkat saat adanya penetrasi yang terjadi, kondisi ini berbanding

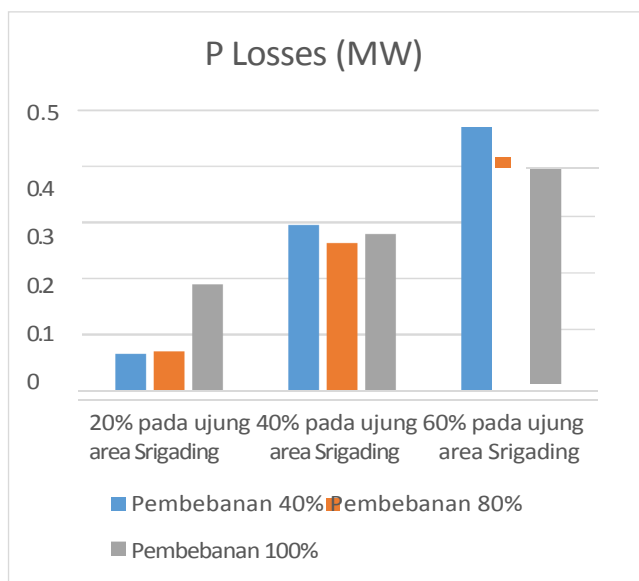
terbalik pada saat pembebanan 100% cenderung hasilnya menurun saat penetrasi dilakukan, sedangkan saat penetrasi 80% cenderung stabil untuk nilai *losses*. Hal ini menyebabkan dalam aspek *losses* nilai *losses* terendah adalah pada kondisi pembebanan 40% namun terdapat kecenderungan meningkat dari sisi nilai. Berikut data untuk perbandingan *losses*.

Tabel VIII. Daya Losses pada *feeder* Bantul 07

	Pembebanan 40%	Pembebanan 80%	Pembebanan 100%
P Losses (MW)			
20% pada ujung area Srigading	0,066	0,296	0,469
40% pada ujung area Srigading	0,069	0,262	0,4 17
60% pada ujung area Srigading	0,188	0,278	0,387

Sensitifitas analisis bisa kita perhatikan dari sistem dan sumber GI yang masuk kedalam *feeder*. Pada perbandingan selanjutnya yaitu melihat dari aspek sumber pada GI yang menghasilkan nilai daya yang diberikan baik itu daya aktif dan daya reaktif serta melihat dari sisi *Power Factor* pada sisi GI. Perubahan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut

Hasil dari penetrasi terhadap perubahan GI menghasilkan nilai yang cukup berbeda saat di penetrasikan melebihi 40%. Kondisi pada saat 60% hasil dari daya -1,376 MW tidak diperkenankan dilakukan penetrasi dikarenakan pada GI tidakboleh menerima daya, jika hal tersebut terjadi maka pembangkit akan berfungsi sebagai motor bukan menjadi generator yang akan menyebabkan kerusakan pada



Gambar II. Daya Losses pada *feeder* Bantul 07

Tabel IX. Daya Aktif dan Reaktif pada Pembebanan 40% (Pada GI)

	Source GI		
	MW	Mvar	% PF
20% pada ujung area Srigading	3,255	2,99	73,64
40% pada ujung area Srigading	2,074	3,019	56,63
60% pada ujung area Srigading	-1,376	3,353	-37,96

Tabel X. Daya Aktif dan Reaktif pada Pembebanan 80% (Pada GI)

	Source GI		
	MW	Mvar	% PF
20% pada ujung area Srigading	8,184	6,097	80,19
40% pada ujung area Srigading	7,008	6,06	75,64
60% pada ujung area Srigading	3,565	6,212	49,77

Tabel XI. Daya Aktif dan Reaktif pada Pembebanan 100% (Pada GI)

	Source GI		
	MW	Mvar	% PF
20% pada ujung area Srigading	10,396	7,69	80,3 9
40% pada ujung area Srigading	9,223	7,625	77,07
60% pada ujung area Srigading	5,787	7,697	60,09

peralatan-peralatan pembangkit. *Power factor* yang dihasilkan juga tidak boleh dibawah 85%. Merupakan standar dari RUPTL. Dapat diamati bahwa kondisi *power factor* masih dibawah dari regulasi yang telah di tentukan maka perlu adanya perbaikan *power factor* pada sisi GI.

Tahapan selanjutnya adalah melihat dari aspek *short circuit* yaitu adalah suatu hubungan dengan tahanan listrik yang sangat kecil, mengakibatkan aliran listrik yang sangat besar dan bila tidak ditangani dapat mengakibatkan ledakan dan kebakaran [7]. PUIL 2000 (1.9) mendefinisikan arus hubung pendek adalah arus lebih yang diakibatkan oleh gangguan impedans yang sangat kecil mendekati nol antara dua penghantar aktif yang dalam kondisi operasi normal berbeda potensialnya (*short circuit current*). Kondisi ini dilihat dari dampak apabila adanya penetrasi dari PV dengan penempatan yang sama. Dapat dilihat bahwa

Tabel XII. *Short circuit*

Penetrasi	Bus ID	3-Phase Fault (kA)	Line-To-Ground Fault (kA)
20% pada ujung area Srigading	Bus 136	1563	1051
40% pada ujung area Srigading	Bus 136	1587	1095
60% pada ujung area Srigading	Bus 136	1680	1233

semakin besar penetrasi yang diberikan maka arus *short circuit* juga mengalami peningkatan.

VI. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi, dapat disimpulkan bahwa pemasangan DG pada sistem distribusi pada *feeder* Bantul 07 dapat mengurangi kerugian daya aktif sistem yang sangat signifikan sekaligus meningkatkan level tegangan pada tiap bus sehingga mencapai batas toleransi dengan memperhatikan aspek tingkatan pembebanan dan daya penetrasi yang diberikan.

VII. Daftar Pustaka

- [1] C. Zhang, J. Li, Y. J. Zhang, and Z. Xu, "Optimal Location Planning of Renewable Distributed Generation Units in Distribution Networks: An Analytical Approach," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 33, no. 3, pp. 2742–2753, 2018.
- [2] A. Ulbig and G. Andersson, "Analyzing operational flexibility of electric power systems," *Proc. - 2014 Power Syst. Comput. Conf. PSCC 2014*, vol. 72, pp. 155–164, 2014.
- [3] G. B. Gharehpetian and S. M. M. Agah, "Distributed Generation Systems: Design, Opearation and Grid Integration," p. 575, 2017.
- [4] W. Cole *et al.*, "Variable Renewable Energy in Long-Term Planning Models: A Multi-Model Perspective Variable Renewable Energy in Long-term Planning Models : A Multi-model Perspective," no. November 2017, p. 35, 2017.
- [5] P. Denholm *et al.*, "The Role of Energy Storage with Renewable Electricity Generation The Role of Energy Storage with Renewable Electricity Generation," no. January, 2010.
- [6] Teleke, S., Jahanbakhsh, F., Katiraei, F., dan Aguero, J.R. Analysis of interconnection of photovoltaic distributed generation. IEEE Industry Applications Society Annual Meeting (IAS), ISSN. 0197-2618, pp. 1-6 Orlando, FL., 2011.
- [7] A. Burek, E. Rosolowski, Anti-islanding protection indistributed networks with DG, Distributed PowerNetworks 2004, Conference Publication, pp. 97-104,Wroclaw , September 2004 (in polish).