

Analisis Pemasangan *Rooftop Photovoltaic System* pada Sistem Elektrikal Bangunan

Yusuf Susilo Wijoyo¹, Andrian Fauzi Halim²

Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jalan Grafika 2 Yogyakarta 55281 (telp: 0274-552305)

yusufsw@ugm.ac.id, andrian.fauzi.h@mail.ugm.ac.id

Abstrak—Penambahan komponen pada suatu sistem kelistrikan akan mempengaruhi kinerja sistem tersebut. Besar kecilnya pengaruh akan menentukan perlu tidaknya modifikasi pada sistem eksisting. Penambahan *Rooftop Photovoltaic System* pada suatu gedung saat ini telah banyak dilakukan. Penambahan tersebut akan berpengaruh pada sistem kelistrikan eksisting. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *Rooftop Photovoltaic System* pada sistem kelistrikan suatu bangunan sebagai dasar perlu tidaknya modifikasi pada sistem eksisting. Analisis yang dilakukan yaitu analisis *Load Flow* dan analisis *Short Circuit* dengan bantuan perangkat lunak ETAP. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh yang ditimbulkan oleh pemasangan *Rooftop Photovoltaic System* masih dalam batas kapasitas komponen sistem eksisting. Dengan demikian, tidak diperlukan modifikasi sistem kelistrikan eksisting.

Kata Kunci- *Rooftop Photovoltaic System*; Elektrikal Bangunan; *Load Flow*; *Short Circuit*.

Abstract— The addition of components to an electrical system will affect the performance of the system. The size of the influence will determine whether or not to modify the existing system. The addition of a *Rooftop Photovoltaic System* to a building has now been widely used. The addition will affect the existing electrical system. This study aims to determine the effect of the addition of *Rooftop Photovoltaic System* on the electrical system of a building as a basis of whether or not to modify the existing system. The analysis is done by *Load Flow* analysis and *Short Circuit* analysis used ETAP software. The results show that the influence caused by the installation of *Rooftop Photovoltaic System* is still within the limits of the capacity of the existing system components. Thus, no modification of the existing electrical system is required.

Keywords- *Rooftop Photovoltaic System*; *Electrical Building*; *Load Flow*; *Short Circuit*.

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik saat ini semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk di dunia. Laporan dari *Energy Information Administration* (EIA) menyebutkan, bahwa konsumsi energi di dunia diprediksi akan meningkat lebih dari 85% dari 2010 sampai 2040 [1]. Oleh karena itu, dibutuhkan penambahan pembangkit listrik yang tepat untuk memenuhi kebutuhan listrik yang terus meningkat. Penambahan pembangkit listrik saat ini harus memperhatikan dampak lingkungan dan dibatasi oleh kebijakan konservasi energi. Pembangkit listrik saat ini yang paling banyak digunakan yaitu pembangkit listrik dari bahan bakar fosil. Sumber bahan bakar fosil saat ini mulai

menipis. Hal ini membuat pemanfaatan pembangkit listrik yang berasal dari energi terbarukan semakin banyak dilakukan.

Pada saat ini gedung-gedung banyak yang telah dilengkapi dengan *Rooftop Photovoltaic System*. *Rooftop Photovoltaic System* merupakan suatu pembangkit listrik tenaga surya yang dipasang pada atap bangunan menggunakan modul surya fotovoltaik. *Rooftop Photovoltaic System* merupakan solusi yang handal dan tepat untuk pemanfaatan energi terbarukan di gedung-gedung perkantoran karena mayoritas gedung perkantoran menggunakan listrik pada siang hari. Kementerian Energi Sumber Daya Mineral (KESDM) KESDM sudah mengatur tentang kebijakan penggunaan sumber energi terbarukan dengan Peraturan Menteri ESDM Nomor 12 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Listrik. KESDM juga telah mengatur tentang pembelian tenaga listrik dari pelanggan PLN yang menggunakan *Rooftop Photovoltaic System* jika produksi surplus. Surplus produksi energi tersebut dapat dijual ke PLN berdasar tarif yang diatur dalam Peraturan Menteri ESDM Nomor 19 Tahun 2016 tentang Pembelian Tenaga Listrik dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya Fotovoltaik oleh PT Perusahaan Listrik Negara (Persero). Peraturan ini tentunya akan menarik pelanggan untuk memasang *Rooftop Photovoltaic System* di gedung-gedung mereka agar mereka juga bisa menjual energi listrik ke PLN.

Contoh gedung yang menggunakan *Rooftop Photovoltaic System* pada sistem kelistrikannya adalah Gedung Pascasarjana Tahir *Foundation* FKMK Universitas Gadjah Mada. *Rooftop Photovoltaic System* di sini mempunyai kapasitas yang tidak terlalu besar dibandingkan dengan beban yang terpasang. Suplai listrik dari *Rooftop Photovoltaic System* ini hanya sekitar kurang dari 10% dari total beban penuhnya. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis pemasangan *Rooftop Photovoltaic System* terhadap sistem elektrikal bangunan.

II. LANDASAN TEORI

A. Rooftop Photovoltaic System

Rooftop Photovoltaic System merupakan pembangkit energi terbarukan yang sumber energinya berupa sinar matahari. Sistem ini dipasang pada atap-atap bangunan. Jenis fotovoltaik yang dipasang pada atap bangunan tersebut umumnya berkapasitas lebih kecil dibandingkan dengan fotovoltaik yang dipasang pada permukaan tanah karena keterbatasan area pemasangan panel fotovoltaik. Energi listrik yang dihasilkan dari sistem tersebut dapat mengikuti skema *Feed-in-Tarif* maupun skema *net metering*.

Rooftop Photovoltaic System memiliki banyak kelebihan dan manfaat. *Rooftop Photovoltaic System* merupakan solusi yang handal bagi penyediaan energi di gedung-gedung perkantoran karena mayoritas gedung perkantoran menggunakan listrik pada siang hari atau jam kerja. Perawatan dan pengoperasian fotovoltaik cukup mudah dan memiliki dampak signifikan untuk mengurangi polusi dan efek rumah kaca. Selain itu, bentuk *Rooftop Photovoltaic System* tersebut memiliki keunggulan tersendiri apabila dibandingkan dengan PLTS skala besar, diantaranya lebih mudah dan murah untuk diintegrasikan dengan sistem kelistrikan yang sudah ada, dapat memanfaatkan lahan yang ada (mengurangi biaya investasi lahan), serta dapat turut mengurangi beban jaringan sistem yang ada [2].

Implementasi PLTS saat ini masih relatif kecil yaitu berkisar 0,0002% dari potensinya. Untuk memacu penetrasi PLTS ini, berbagai regulasi telah disusun oleh pemerintah. Regulasi tersebut antara lain Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional. Peraturan tersebut menargetkan 23% bauran energi tahun 2025 berasal dari energi baru terbarukan. KESDM juga memiliki target penerapan PLTS pada tahun 2025 yang cukup besar yaitu sebesar 6,4 GWp [3].

B. Instalasi Listrik

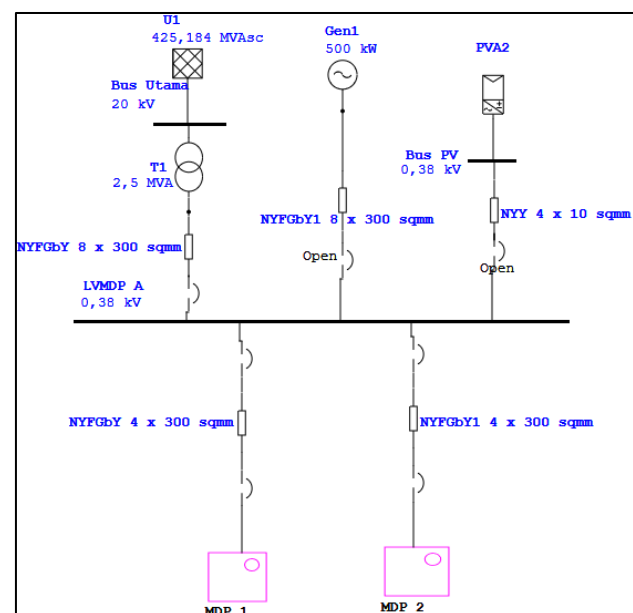
Instalasi listrik merupakan suatu rangkaian perlengkapan listrik yang saling terhubung untuk membentuk suatu fungsi pemanfaatan energi listrik. Untuk suatu bangunan, instalasi listrik minimal terdiri dari sistem proteksi, sistem kendali, sistem penghantar, sistem pencahayaan, dan sistem pembumian. Sistem-sistem ini untuk selanjutnya membentuk suatu kesatuan sistem kelistrikan. Desain awal sistem kelistrikan sudah diatur agar sistem dapat beroperasi secara aman dan sesuai standar. Sesuai Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2011, beberapa poin perhitungan teknis sesuai yang hendaknya dipenuhi yaitu:

1. Drop tegangan
2. Perbaikan faktor daya
3. Beban terpasang dan kebutuhan maksimum
4. Arus hubung pendek dan daya hubung pendek
5. Tingkat pencahayaan
6. Keseimbangan beban

Poin-poin perhitungan teknis tersebut diperhitungkan agar dapat dicapai instalasi listrik yang aman dan berfungsi dengan tepat [4].

Instalasi listrik juga diatur oleh peraturan yang berlaku dalam skala internasional seperti IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), IEC (*International Electrotechnical Commission*), dan NEMA (*National Electrical Manufacture Association*). Penambahan komponen, akan mengubah desain awal. Hal ini akan membuat perhitungan awal yang telah dilakukan mengalami perubahan. Dengan demikian, sistem eksisting perlu dikaji ulang terkait penambahan komponen baru tersebut [5]. Hal ini sangat diperlukan untuk mengetahui apakah komponen-komponen dalam sistem masih beroperasi dalam batas kemampuannya setelah adanya penambahan komponen baru tersebut.

III. METODE PENELITIAN



Gambar 1 Single Line Diagram Sistem

Penelitian ini menggunakan *Single Line Diagram* Gedung Pascasarjana Tahir Foundation FKKMK UGM yang kemudian digambarkan dan disimulasikan dengan menggunakan *software* ETAP seperti yang terlihat pada Gambar 1. Gedung tersebut memiliki beban sebesar 537,5 kVA. Dengan adanya pemasangan *Rooftop Photovoltaic System*, terdapat tiga sumber daya untuk memenuhi kebutuhan daya tersebut, yaitu PLN, *Rooftop Photovoltaic System*, dan genset. PLN dan *Rooftop Photovoltaic System* akan digunakan saat kondisi normal. Sementara saat kondisi darurat, gedung tersebut disuplai oleh genset yang berkapasitas 625 kVA dan *Rooftop Photovoltaic System* dengan kapasitas 28 kWp. *Rooftop Photovoltaic System* ini terdiri dari 80 sel fotovoltaik yang tersusun seri sejumlah 20 sel surya dan 4 sel surya yang tersusun secara paralel. *Rooftop Photovoltaic System* ini membangkitkan tegangan DC sebesar 770 Volt dan mengalirkan arus searah sebesar 36,36 Ampere.

Dampak pemasangan suatu komponen pada sistem kelistrikan dapat diketahui melalui analisis *Load Flow* dan analisis *Short Circuit*. Pada penelitian ini akan dilakukan

analisis *Load Flow* dan analisis *Short Circuit* untuk mengamati kondisi sistem kelistrikan bangunan ketika suplai listrik menggunakan grid PLN tanpa *Rooftop Photovoltaic System* dan ketika menggunakan grid PLN dan terhubung dengan *Rooftop Photovoltaic System*. Hasil analisis pada dua kondisi ini dapat menunjukkan pengaruh adanya *Rooftop Photovoltaic System*. Secara lebih detail, skenario simulasi tersebut sebagai berikut.

A. Skenario 1

Pada skenario yang pertama ini, dilakukan simulasi sistem elektrikal bangunan dengan suplai listrik hanya dari grid PLN. Dari hasil simulasi tersebut, pada hasil *Load Flow* dapat dilihat apakah rating peralatan-peralatan sudah memenuhi kriteria untuk mengalirkan beban, sedangkan simulasi dari *Short Circuit* dapat diketahui arus gangguan yang mengalir pada busbar jika terjadi gangguan.

B. Skenario 2

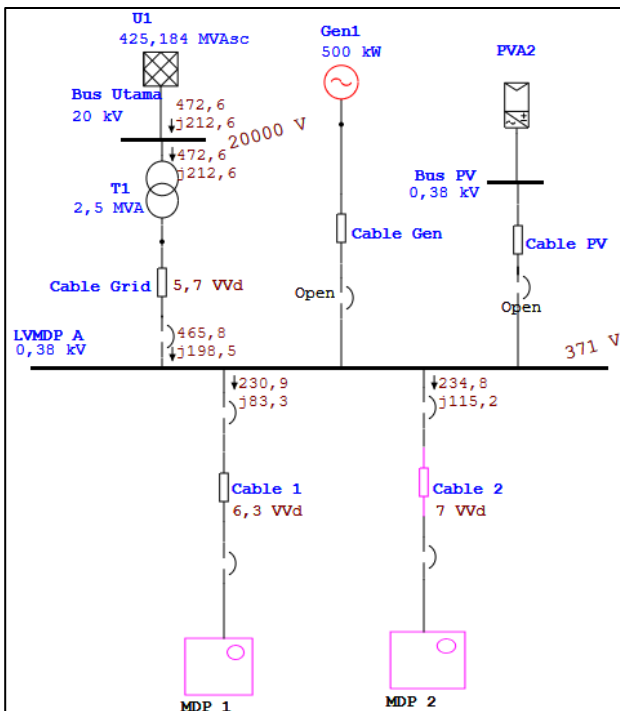
Pada skenario kedua ini, dilakukan simulasi sistem kelistrikan bangunan dengan suplai listrik dari grid PLN yang terhubung dengan *Rooftop Photovoltaic System*. Simulasi yang dijalankan sama dengan skenario 1 yaitu berupa simulasi *Load Flow* dan simulasi *Short Circuit*. Hasil simulasi ini selanjutnya dibandingkan dengan hasil simulasi skenario 1. Dari hasil perbandingan ini dapat dilihat bagaimana dampak pemasangan *Rooftop Photovoltaic System* pada sistem kelistrikan bangunan.

IV. HASIL PENELITIAN

Berdasarkan simulasi pada skenario 1 dan skenario 2, diperoleh hasil sebagai berikut.

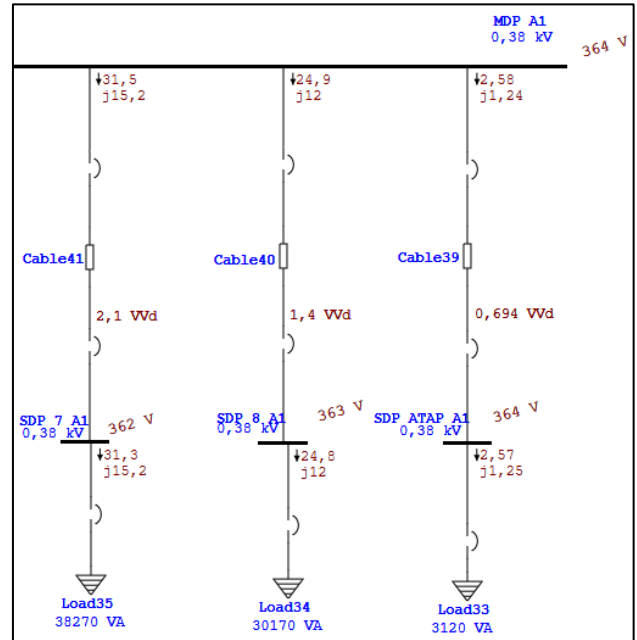
A. Skenario 1.

Pada skenario 1 ini, suplai sistem seluruhnya berasal dari grid PLN seperti yang terlihat pada Gambar 2.

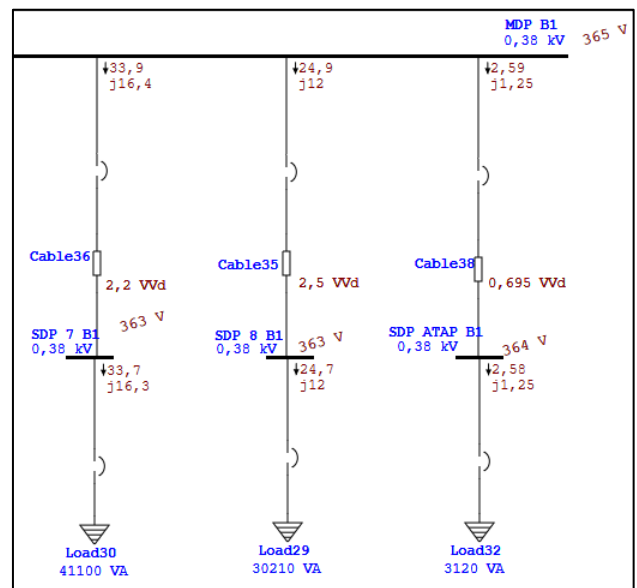


Gambar 2 Simulasi Suplai dari Grid PLN

Dari gambar tersebut terlihat suplai dari grid PLN digunakan untuk memenuhi beban total sebesar 511 kVA yang kemudian terbagi menjadi dua sub sistem, yaitu untuk MDP A dan MDP B. Gambar 3 menunjukkan bahwa pada skenario 1, di detail sub sistem MDP A, tidak ada komponen yang beroperasi di bawah standar. Hal tersebut juga terlihat pada Gambar 4 yang merupakan detail sub sistem MDP B. Peralatan lainnya juga dapat disuplai dengan baik oleh suplai dari grid PLN yaitu sesuai rating peralatan. Nilai *drop* tegangan juga masih dalam batas normal karena masih dalam ambang toleransi tegangan yaitu +5 % dan -10% dari tegangan nominal.

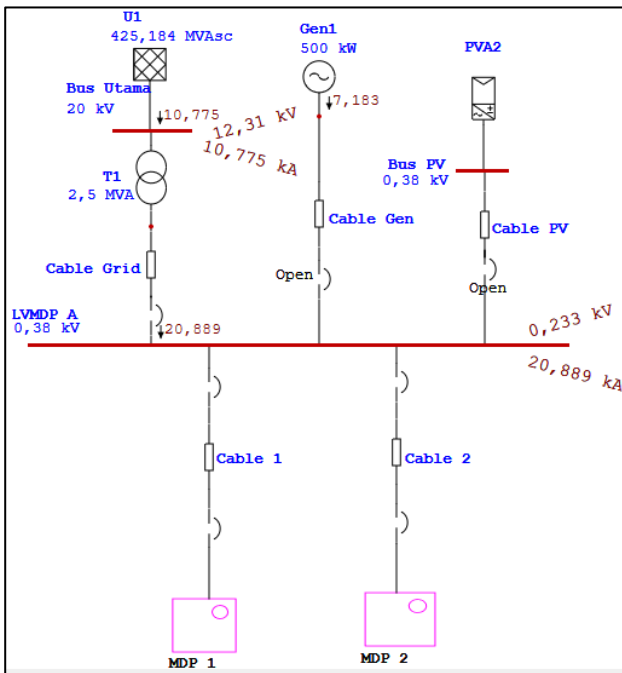


Gambar 3 Simulasi Loadflow MDP A



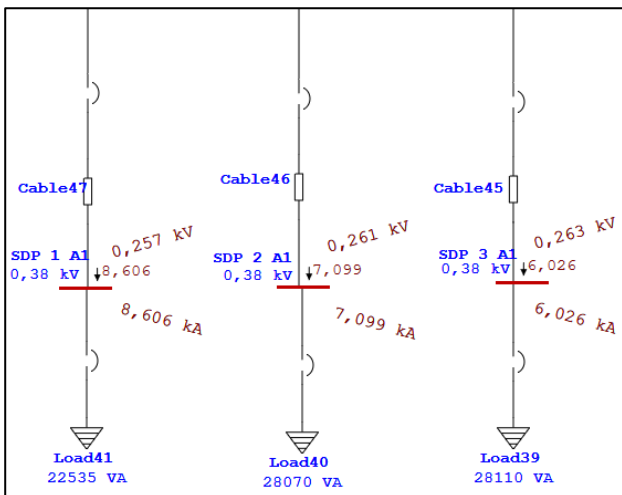
Gambar 4 Simulasi Loadflow MDP B

Pada simulasi *Short Circuit*, akan diamati arus *Short Circuit* saat gangguan *Single Line to Ground*. Hasil simulasi *Short Circuit* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Keadaan *Short Circuit* Suplai dari PLN

Hasil simulasi *Short Circuit* ini menunjukkan bahwa nilai arus *Short Circuit* yang terjadi pada bus LVMDP A adalah 20,89 kA dan pada bus utama adalah 10,775 kA. Gambar 6 menunjukkan beberapa kondisi busbar ketika terjadi arus *Short Circuit*. Dari gambar tersebut terlihat bahwa nilai *Short Circuit* masih dalam batas kemampuan rancangan awal sistem.

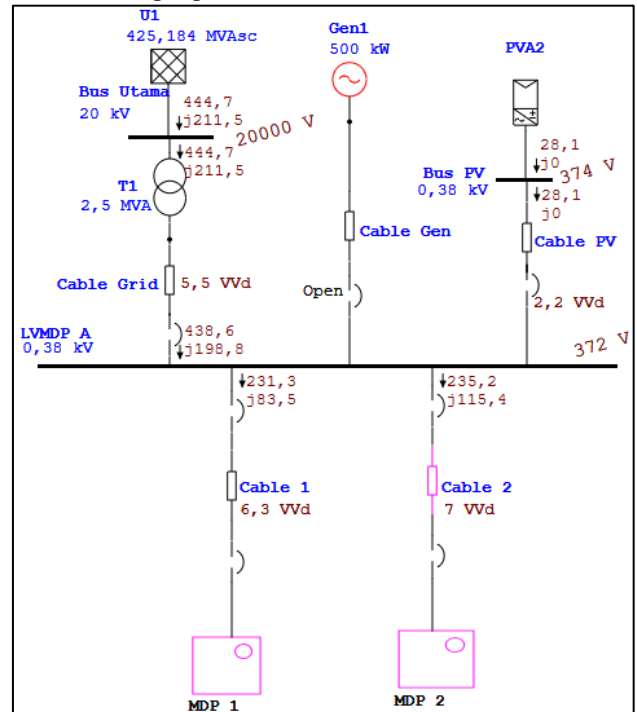


Gambar 6 Keadaan Busbar Saat *Short Circuit*

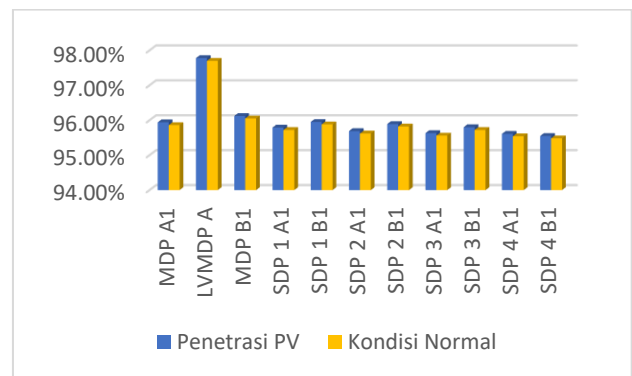
B. Skenario 2

Skenario ini, suplai listrik bangunan berasal dari grid PLN dan *Rooftop Photovoltaic System*. Suplai listrik dari *Rooftop Photovoltaic System* dianggap pada kondisi penyinaran puncak yaitu bernilai 28 kWp. Adapun beban penuh sistem sebesar 472,6 kW. Hasil perhitungan secara sederhana tanpa melalui *Load Flow* menunjukkan sekitar

444,6 kW merupakan suplai listrik dari PLN. Gambar hasil simulasi terdapat pada Gambar 7. Suplai daya reaktif pada penetrasi *Rooftop Photovoltaic System* ini tidak terpengaruh karena yang disuplai hanya daya aktif saja. Terjadi perubahan tegangan pada LVMDP A yang sebelumnya 371 V menjadi 372 V. Terjadi perubahan tegangan pula pada setiap bus ketika terdapat penetrasi *Rooftop Photovoltaic System*. Grafik perubahan tegangan tersebut terdapat pada Gambar 8.



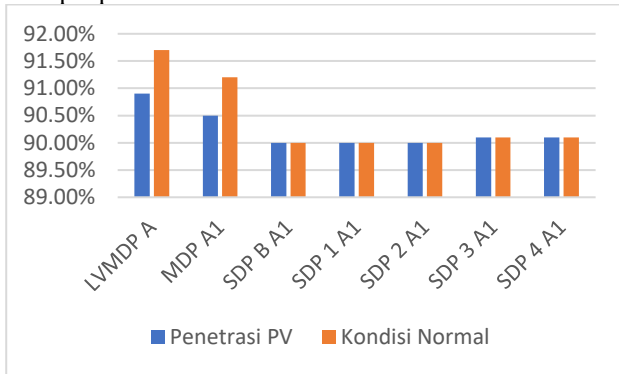
Gambar 7 Simulasi *Load Flow* Suplai Grid PLN dan *Rooftop Photovoltaic System*



Gambar 8 Perbandingan Persentase Tegangan

Berdasarkan Gambar 8, terjadi sedikit perubahan nilai persentase tegangan ketika penetrasi *Rooftop Photovoltaic System* ke dalam sistem. Tegangan akan naik namun kenaikan tegangan ini tidak terlalu signifikan. Semakin besar daya aktif yang disuplai oleh *Rooftop Photovoltaic System*, maka nilai tegangan akan semakin naik. Kenaikan tegangan ini tidak terlalu berpengaruh terhadap sistem karena suplai daya aktif dari *Rooftop Photovoltaic System* tidak terlalu besar. Dari hasil simulasi aliran daya ini juga dapat dilihat perbandingan nilai faktor daya sebelum dan

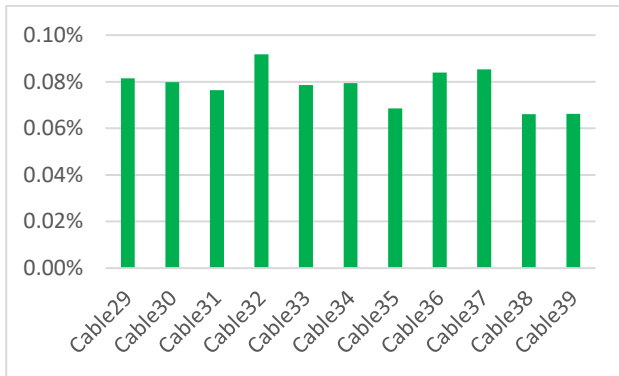
sesudah ada penetrasi *Rooftop Photovoltaic System* yang terdapat pada Gambar 9.



Gambar 9 Perbandingan Faktor Daya

Hasil tersebut menunjukkan bahwa ketika penetrasi *Rooftop Photovoltaic System* ke dalam sistem maka nilai faktor dayanya akan semakin berkurang atau memburuk.

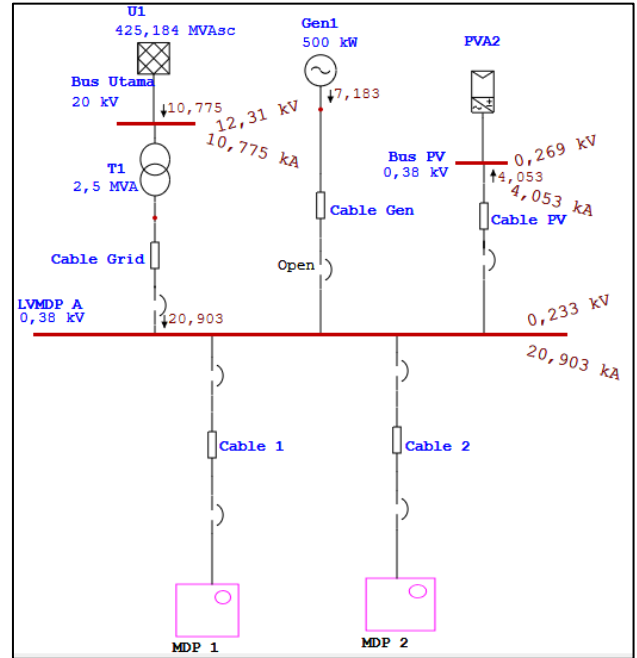
Penetrasi *Rooftop Photovoltaic System* ke dalam sistem kelistrikan ini berpengaruh terhadap arus yang melalui kabel. Arus yang melalui kabel ini menjadi lebih besar daripada ketika sebelum penetrasi *Rooftop Photovoltaic System*. Persentase kenaikan arus pada kabel terdapat pada Gambar 10.



Gambar 10 Persentase Kenaikan Arus pada Kabel

Gambar 10 menunjukkan kenaikan arus yang terjadi di bawah 0,1 % atau hanya sekitar 0,06 % sampai 0,09% dari arus ketika sebelum adanya penetrasi. Kenaikan arus yang sangat kecil ini dapat diabaikan karena tidak akan mempengaruhi sistem kelistrikan.

Kemudian pada simulasi *Short Circuit*, terdapat perbedaan nilai arus *Short Circuit* jika dibandingkan dengan suplai listrik yang berasal dari grid PLN saja. Hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 11. Penambahan *Rooftop Photovoltaic System* ini ternyata berpengaruh terhadap arus *Short Circuit*. Perbedaan yang muncul tidak terlalu besar dan tidak berpengaruh terhadap kinerja peralatan. Perbedaan arus *Short Circuit* tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 11 Keadaan *Short Circuit* Suplai PLN dan *Rooftop Photovoltaic System*

Tabel 1 Perbandingan Arus *Short Circuit*

Kontribusi		Line to Ground Fault	
		Sebelum Penambahan PV	Setelah Penambahan PV
From Bus ID	To Bus ID	kA symm rms Ia	kA symm rms Ia
Bus Utama	Total	10,775	10,775
LVMDP A	Total	20,889	20,897
MDP A	Total	19,603	19,61
MDP B	Total	8,41	8,41
SDP 1 A	Total	8,606	8,605
SDP 1 B	Total	4,456	4,456
SDP 2 A	Total	7,099	7,098
SDP 2 B	Total	4,808	4,808
SDP 3 A	Total	6,026	6,025
SDP 3 B	Total	4,307	4,307

Pada Tabel 1 dapat dilihat perbedaan nilai arus *Short Circuit* saat sebelum penambahan dan sesudah penambahan *Rooftop Photovoltaic System*. Pada LVMDP A, nilai arus *Short Circuit* penambahan awal adalah 20,889 kA dengan rating peralatan proteksi MCCB 25 kA. Saat terdapat penambahan *Rooftop Photovoltaic System*, nilai arus *Short Circuit* menjadi 20,897 kA. Perubahan nilai arus *Short Circuit* tersebut masih dalam batas nilai rating peralatan proteksi eksisting. Nilai arus *Short Circuit* mengalami perubahan rata-rata sekitar 0,001 kA pada beberapa SDP. Artinya terdapat dampak penambahan *Rooftop Photovoltaic System* terhadap nilai arus *Short Circuit* ini, tetapi perubahan nilai arus *Short Circuit* tidak terlalu signifikan sehingga tidak berpengaruh terhadap kondisi peralatan eksisting bisa diabaikan dalam sistem kelistrikan.

V. KESIMPULAN

Dari simulasi dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. *Rooftop Photovoltaic System* yang interkoneksi dengan jaringan grid PLN akan mempengaruhi arus *Short Circuit* pada sistem elektrikal pada bangunan. Pengaruh yang ditimbulkan masih dalam batas rating peralatan proteksi, sehingga tidak perlu dilakukan penggantian peralatan
2. Karena pengaruh yang tidak terlalu besar dari *Rooftop Photovoltaic System* yang interkoneksi dengan PLN pada sistem elektrikal, maka tidak diperlukan pergantian peralatan listrik pada sistem elektrikal eksisting.

VI. REFERENSI

- [1] Energy Information Administration, "International Energy Outlook 2013," U.S. Dept. Energy, Washington, DC, 2013.
- [2] "Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi," Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 11 Maret 2015. [Online]. Available: <http://ebtke.esdm.go.id/post/2015/03/11/800/plts-rooftop.untuk.gedung.perkantoran>. [Accessed 29 Juni 2018].
- [3] E. Nurdiana, "Balai Besar Teknologi Konversi Energi," 13 April 2017. [Online]. Available: <http://smg.b2tke.bppt.go.id/index.php/2017/04/13/pejuang-plts-rooftop-di-indonesia/>. [Accessed 29 Juni 2018].
- [4] Badan Standardisasi Nasional, *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011*, Jakarta: Panitia Teknis Instalasi dan Keandalan Ketenagalistrikan, 2011.
- [5] The Institute of Electrical and Electronics Engineers, *IEEE Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis*, New York: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 1998.