

# ANALISIS PROBABILISTIK PENGARUH INTEGRASI 0,5 MW<sub>p</sub> PLTS ITN MALANG TERHADAP PROFIL TEGANGAN SISTEM DISTRIBUSI SINGOSARI PENYULANG KARANGPLOSO

<sup>1</sup>Ahmad Iqbal Zajuli, <sup>2</sup>Awan Uji Krismanto, <sup>3</sup>Irrine Budi Sulistiawati

Institut Teknologi Nasional, Malang, Indonesia

<sup>1</sup>ahmadiqbal1824@gmail.com

**Abstrak** - Perencanaan dan perancangan sistem tenaga listrik telah berkembang di Indonesia. Para peneliti telah mengembangkan penggunaan energi terbarukan, salah satu contohnya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis profil tegangan karena adanya integrasi PLTS terhadap sistem distribusi Singosari, terutama akibat radiasi matahari yang bervariasi setiap waktu dan dapat menyebabkan fluktuasi tegangan. Dengan melakukan simulasi sistem kelistrikan Singosari dan memberikan *random* injeksi daya dari PLTS terhadap sistem kelistrikan Singosari menggunakan probabilistik aliran daya dengan metode *Monte Carlo Simulation* (MCS), maka pengaruh dari injeksi daya dari PLTS terhadap profil tegangan dapat dilihat. Dari hasil simulasi yang dilakukan, menunjukkan bahwa ketika PLTS di integrasi dengan sistem, profil tegangan akan mengalami perbaikan, seperti pada bus 74 yang mengalami keadaan *undervoltage* mengalami kenaikan sebesar 0,0178 – 0,0215 p.u. dari yang sebelumnya profil tegangan bus 74 bernilai 0,9483 p.u menjadi 0,9661 – 0,9698 p.u saat menginjeksi daya PLTS ke sistem secara *random* yang menunjukkan bahwa ketika sistem distribusi Singosari di integrasikan dengan PLTS ITN Malang, profil tegangan dapat diperbaiki.

**Kata kunci** – Profil Tegangan, Integrasi PLTS, Fluktuasi Tegangan, Probabilistik.

## I. PENDAHULUAN

Perencanaan dan perancangan sistem tenaga listrik telah berkembang di Indonesia, salah satunya adalah di Malang. Para peneliti telah mengembangkan penggunaan energi terbarukan. Contohnya, Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), dan lain sebagainya. Penggunaan energi terbarukan di Indonesia pada tahun 2025 sebesar 23% dimana 35.000 MW dari 23% adalah panel surya. Salah satu bentuk pemanfaatan dari energi terbarukan ini adalah integrasi PLTS terhadap sistem distribusi [1].

Integrasi PLTS terhadap sistem distribusi memberi dampak yang positif terhadap sistem distribusi, seperti

meminimalkan rugi-rugi daya, meningkatkan keandalan, stabilitas dan efisiensi sistem, dan juga mampu membuat tegangan menjadi lebih baik [2][3]. Tegangan dikatakan baik apabila nilai tegangan sudah termasuk dalam ketentuan yang ada yaitu  $\pm 5\%$ , tegangan yang berada dalam kondisi buruk dapat berpengaruh terhadap profil tegangan [4]. Profil tegangan merupakan kondisi suatu tegangan yang berada dalam kondisi tegangan nominalnya dalam sistem saat terjadi perubahan kondisi beban maupun rugi-rugi tegangan.

Ketika mengintegrasikan sistem distribusi dengan PLTS, maka akan ada tantangan dari sistem integrasi ini, yaitu terjadinya fluktuasi tegangan, injeksi daya yang tidak bisa diprediksi, dan bersifat *intermittent* yang artinya tidak selalu ada ketika diperlukan [5]. Oleh karena itu diperlukan analisis probabilistik aliran daya untuk melihat kondisi nyata dari sistem distribusi yang terintegrasi dengan PLTS, fungsinya adalah memperkirakan kondisi ke depan, baik itu satu minggu, satu bulan, ataupun satu tahun dari sumber dan juga beban dari sistem distribusi yang terintegrasi dengan PLTS. Ada dua metode yang digunakan untuk analisis sistem tenaga, yaitu analisis deterministik aliran daya dan analisis probabilistik aliran daya (PPF). Keuntungan dari analisis probabilistik ini adalah dapat memperhitungkan kondisi variasi sumber dan beban untuk ke depannya, sedangkan analisis deterministik tidak dapat memperhitungkan hal tersebut [6-8]. Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah analisis probabilistik aliran daya.

Probabilistik aliran daya merupakan alat yang cocok untuk menghitung probabilitas sistem tenaga dengan adanya ketidakpastian sumber ataupun beban. Ada dua metode untuk menyelesaikan masalah ini, yaitu dengan *Monte Carlo Simulation* (MCS) dan metode analitik. MCS merupakan metode numerik yang menghasilkan banyak kemungkinan dengan cara deterministik dan menghitung probabilistik dengan statistik, kelemahan dari MCS adalah

beban komputasi yang mahal dan memerlukan waktu yang sangat banyak [9]. Metode analitik bertujuan untuk secara langsung menghitung fungsi kepadatan probabilistik (PDF) dan fungsi distribusi kumulatif (CDF) dari variabel acak yang diinginkan. Metode analitik jauh lebih cepat daripada MCS, namun memotong beberapa kumulatif pertama dalam ekspansi aproksimasi menghasilkan ketidakakuratan. Untuk mengatasi ini, maka dapat menggunakan PPF tanpa ekspansi aproksimasi berbasis kumulatif, PPF dirumuskan sebagai masalah untuk mendapatkan PDF/CDF dari penjumlahan linier variabel acak *non-Gaussian* yang berkorelasi. Kemudian, *Gaussian Mixture Model* (GMM) digunakan untuk mewakili berbagai jenis injeksi daya acak. Selanjutnya, PDF daya aktif pada sistem tenaga dinyatakan secara analitik, sehingga algoritma cepat tanpa operasi integral diadopsi untuk menghitung CDF yang sesuai secara efisien [10][11].

PLTS baru di ITN Malang dengan kapasitas 0,5 MW yang terhubung dengan sistem distribusi Singosari belum ada kajian ilmiah yang memperhitungkan dan menganalisis integrasi PLTS dengan sistem distribusi Singosari. Lokasi PLTS berada di kampus II ITN Malang. Sedangkan, lokasi pengambilan data sistem distribusi berada di PT PLN (Persero) ULP Singosari. Dengan adanya integrasi antara sistem distribusi Singosari penyulang ITN Malang dengan sistem PLTS ITN Malang, maka sistem distribusi akan mendapatkan *supply* daya dari PLTS ITN Malang yang bervariasi karena adanya iradiasi matahari yang selalu berubah setiap waktu dan bisa menyebabkan terjadinya fluktuasi tegangan akibat integrasi dari PLTS ke sistem distribusi. Oleh karena itu, perlu diadakan analisis probabilistik aliran daya untuk memperhitungkan kondisi riil dari integrasi sistem distribusi dengan PLTS yang bisa menyebabkan terjadinya fluktuasi tegangan di semua bus dalam sistem distribusi dan juga untuk menganalisis dampak sebelum terintegrasinya PLTS 0,5 MW ITN Malang ataupun sesudah terintegrasinya PLTS 0,5 MW ITN Malang terhadap profil tegangan pada sistem distribusi penyulang ITN Malang.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Profil Tegangan

Profil tegangan merupakan kondisi suatu tegangan yang berada dalam kondisi tegangan nominalnya dalam sistem tenaga saat terjadi perubahan kondisi beban maupun rugi-rugi tegangan. Stabilitas tegangan dalam sistem tenaga didefinisikan sebagai kemampuan sistem tenaga untuk mempertahankan tegangan pada setiap bus dalam sistem dibawah normal dan setelah mengalami gangguan. Dalam kondisi normal tegangan dari sistem tenaga stabil, tetapi ketika terjadi gangguan dalam sistem, maka tegangan menjadi tidak stabil sehingga menyebabkan berbagai kondisi tegangan [12][13].

Batas stabilitas tegangan dapat didefinisikan sebagai tahap pembatas dalam sistem tenaga. Besar deviasi tegangan yang merupakan deviasi maksimum dari semua bus yang berbeda dalam suatu sistem tenaga berada di kisaran ( $0.95 \leq n \leq 1.05 p.u$ ) dari tegangan nominal bus. Jika nilai tegangan dalam sistem berada di bawah 0.95 p.u maka tegangan sistem mengalami *undervoltage* dan jika nilai tegangan dalam sistem berada diatas 1.05 p.u maka tegangan sistem mengalami *overvoltage* [14][15].

### B. Probabilistik Aliran Daya

Probabilistik aliran daya (PPF) berdasarkan metode numerik (seperti simulasi Monte Carlo) atau metode analitik (seperti teknik konvolusi) dikembangkan pada 1970-an untuk menangani ketidakpastian dalam sistem tenaga karena variasi dalam variabel jaringan listrik. [16].

Tujuan dari PPF ini adalah untuk mendapatkan PDF/CDF dari penjumlahan linier variabel acak, dalam berbagai studi PPF teknik konvolusi konvensional diadopsi untuk mendapatkan PDF yang dihasilkan, proses ini membutuhkan penyimpanan dan waktu komputasi yang besar. Untuk menghindari operasi konvolusi yang muncul dalam perhitungan PDF dari kombinasi linier beberapa variabel acak diterapkan konsep kumulatif. Dengan ini dimungkinkan untuk mendapatkan PDF yang dihasilkan dari kombinasi linier beberapa variabel acak. Persamaan dari PDF dan CDF dapat ditulis sebagai

$$F(x) = \sum_{i=0}^n \frac{C_i}{i!} \phi^{(i)}(x) \quad (1)$$

$$f(x) = \sum_{i=0}^n \frac{C_i}{i!} \varphi^{(i)}(x) \quad (2)$$

Dimana  $\varphi(x)$  mewakili PDF dan  $\phi(x)$  mewakili CDF dari standar distribusi normal [9][17].

PDF diperkirakan dari data iradiasi matahari yang dikumpulkan menggunakan fungsi distribusi *Gaussian Mixture*, Perkiraan hasil dari PDF akan menghasilkan variabel acak yang akan digunakan untuk MCS [18]. Model *Gaussian Mixture* berguna untuk memodelkan data yang berasal dari salah satu kelompok-kelompok yang mungkin berbeda satu sama lain, tetapi titik data dalam kelompok yang sama dapat dimodelkan dengan baik oleh distribusi *Gaussian*. Untuk menentukan nilai *Gaussian* dapat menggunakan persamaan berikut

$$PX(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

Variabel x menyatakan nilai dari variabel acak, untuk variabel  $\mu$  menyatakan *mean* (rata-rata) dan untuk

variabel  $\sigma^2$  atau  $\sigma$  menyatakan standar deviasi. Dengan menggunakan persamaan yang lebih sederhana, dapat menggunakan persamaan berikut

$$PX^{(x)} = N(x; \mu, \sigma^2) \quad (4)$$

Dimana N adalah normal [19].

Setelah model statistik didefinisikan dalam hal PDF, simulasi *Monte Carlo* dilakukan dengan melibatkan pengulangan proses simulasi dalam setiap simulasi menggunakan satu set nilai tertentu dari variabel acak [20].

### C. Monte Carlo Simulation (MCS)

Metode MCS merupakan metode berulang yang mengevaluasi respon sistem secara berulang setelah model statistik didefinisikan, MCS melibatkan pengulangan proses simulasi menggunakan satu set nilai tertentu dari variabel acak (beban dan produksi PV pada setiap node dari jaringan distribusi yang dipertimbangkan, jam demi jam) [21].

MCS mengubah variabel acak *input* sistem menjadi peluang hasil distribusi probabilitas. Ini memberikan pendekatan untuk analisis statistik kinerja sistem dengan *input* acak saat simulasi langsung. Namun ini perlu menentukan respon sistem ke sejumlah kondisi awal dan fungsi *input* acak yang dihasilkan sesuai dengan statistik yang ditentukan. Demikian data yang diperlukan untuk MCS adalah model sistem, statistik kondisi awal dan statistik *input* acak. Umumnya, kondisi awal ditentukan oleh *mean* dan variasi dari respon. Data statistik dari *input* acak menentukan respon setelah kondisi awal [22][23].

Dalam analisis ketidakpastian, hubungan antara variabel dependen dan independen dapat dinyatakan sebagai

$$v = h(z) \quad (5)$$

Dimana  $h$  mewakili fungsi yang menggambarkan korelasi antara perilaku dinamis dari variabel *output* dan nilai-nilai variabel *input* yang tidak pasti. Variabel vektor *input* dan *output* dapat direpresentasikan sebagai  $v = [v_1, v_2, \dots]^t$  dan  $z = [z_1, z_2, \dots]^t$  dari masing-masing nilai [18].

### D. Pemodelan Fungsi Distribusi Pembangkitan Daya Pada PV

Untuk pemodelan pembangkitan daya pada PV, ada beberapa masalah sistem yang tidak perlu dipertimbangkan, seperti tidak mempertimbangkan konfigurasi sistem dan nilai impedansi saluran. Tujuan dilakukan pemodelan fungsi distribusi pembangkitan daya pada PV adalah untuk penjadwalan pembangkit dengan mempertimbangkan sistem energi matahari dengan menentukan jumlah daya

pembangkit yang optimal untuk unit sistem energi matahari selama periode penelitian. Sehingga, total biaya bisa diminimalkan dengan persamaan keseimbangan daya, persyaratan untuk cadangan pembangkit dan keandalan lainnya [24].

Perhitungan perubahan lamanya iradiasi dapat di rubah ke daya dengan menggunakan persamaan berikut

$$P_{PV}(G_t) = \begin{cases} P_{sn} \frac{(G_t)^2}{G_{std} R_c} \\ P_{sn} \frac{G_t}{G_{std}} \end{cases} \quad (6)$$

Dimana

$P_{sn}$  = Rata-rata *output* daya PV

$G_t$  = Meramalkan radiasi

$G_{std}$  = Radiasi matahari yang ditetapkan dengan nilai  $1000 W/m^2$

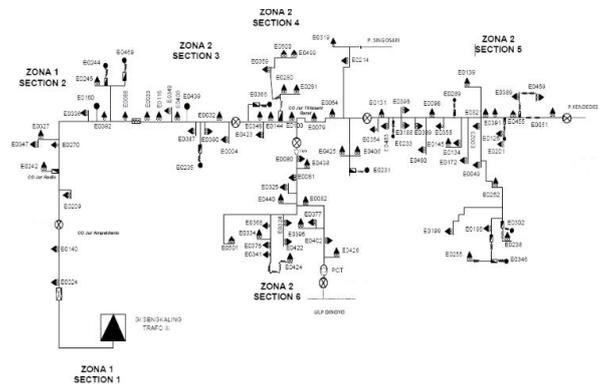
$R_c$  = Titik radiasi yang ditetapkan dengan nilai  $150 W/m^2$

Nilai-nilai ini hanya dapat diketahui melalui jangka pendek peramalan. Karena permintaan beban sistem dan radiasi matahari tergantung pada variabel pelanggan dan cuaca [25].

## III. METODE PENELITIAN

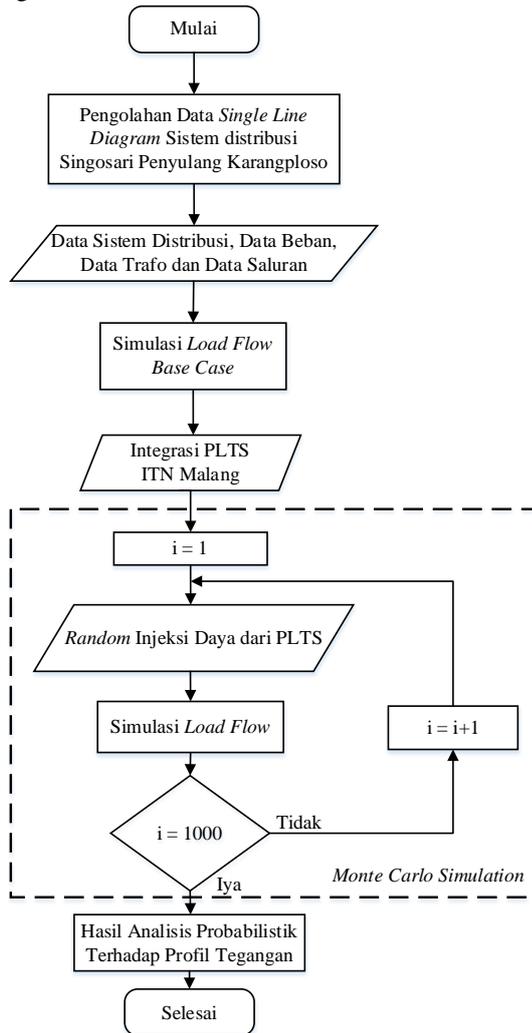
### A. Studi Kasus

Sistem kelistrikan yang digunakan untuk penellitian ini adalah sistem kelistrikan sistem distribusi Singosari penyulang Karangploso 20 kV yang terdiri dari 1 gardu induk, serta terdiri dari 90 bus dan 92 saluran yang terhubung ke pusat-pusat beban.



Gambar 1 Single Line Diagram Penyulang Karangploso 20 kV

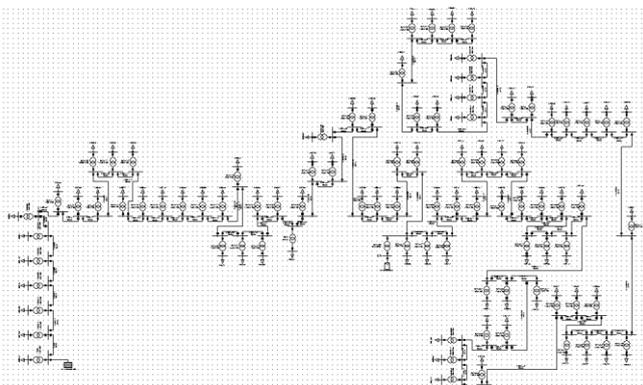
## B. Diagram Alir



Gambar 2 Diagram Alir Simulasi Probabilistik Aliran Daya

## IV. HASIL

### A. Single Line Diagram Penyulang Karangploso

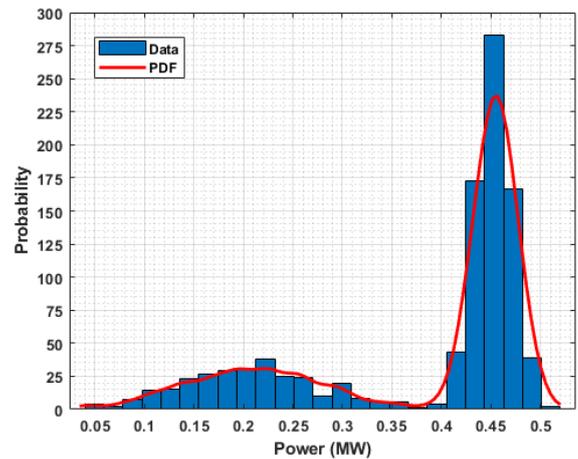


Gambar 3 Load Flow Single Line Diagram Penyulang Karangploso

Pada *Single Line Diagram* di atas, setelah dilakukan *load flow* dapat diketahui bahwa sistem dapat berjalan dan digunakan untuk melihat nilai dari profil tegangan pada setiap bus. Namun, terdapat satu bus yang mengalami keadaan *undervoltage*, yakni pada bus 74 Desa Tasikmadu ( $0.95 \leq n \leq 1.05 \text{ p.u.}$ ).

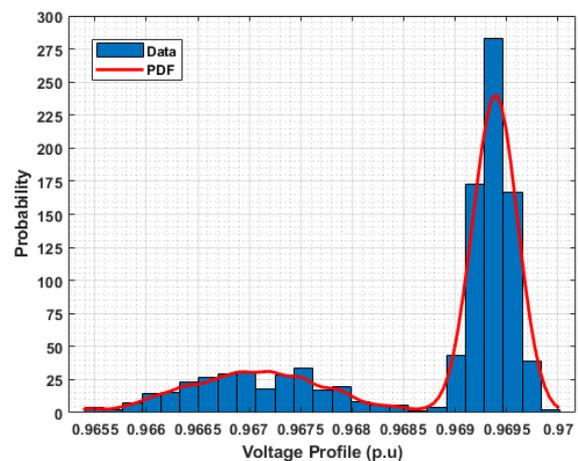
Pada bus 74 Desa Tasikmadu yang mengalami *undervoltage* disebabkan karena besarnya kapasitas beban (*overload*) sehingga menyebabkan susut daya pada saluran dan nilai tegangan menjadi turun.

### B. Simulasi Analisis Probabilistik



Gambar 4 Random Injeksi Daya PV

Pada gambar 4 menunjukkan bahwa injeksi daya PV per bulan dengan nilai rata-rata 0.0381 dan nilai standar deviasi pada PV adalah 0.01911. Sehingga, probabilitas dari injeksi daya PV dengan *range* 0.4 – 0.5 MWp persentasenya adalah 70.7%.

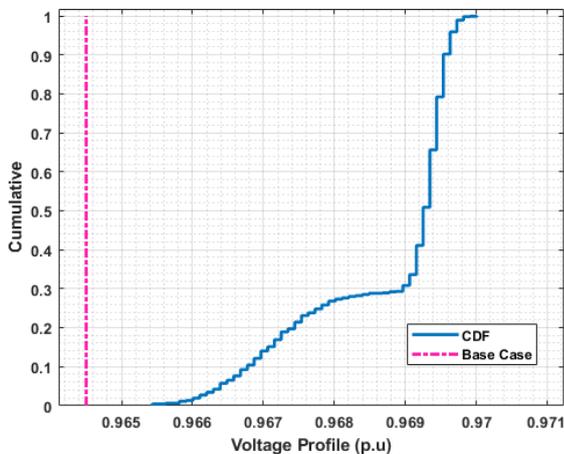


Gambar 5 Hasil Profil Tegangan Bus 74 Setelah Integrasi PLTS

Pada gambar 5 menunjukkan hasil profil tegangan setelah terintegrasi dengan PLTS bahwa dengan probabilitas injeksi daya sebesar 0.4 – 0.5 MWp per bulan dengan presentase 70.7%, profil tegangan yang didapatkan pada bus 74 adalah 0.969 – 0.9698 p.u, dengan nilai rata-rata 0.9687 dan nilai standar deviasi pada bus 74 adalah 0.000001898.

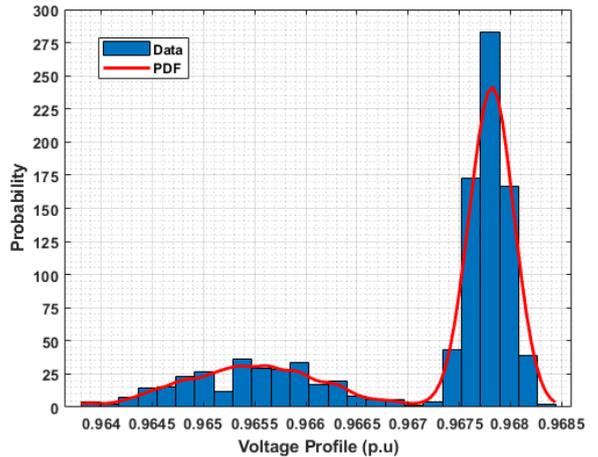
Tabel 1 Hasil Profil Tegangan Bus 74

No	Profil Tegangan Base Case (p.u)	Injeksi Daya (MWp)	Profil Tegangan (p.u)
1	0.9483	0.05 - 0.09	0.9655 - 0.9659
2		0.1 - 0.19	0.966 - 0.9668
3		0.2 - 0.29	0.9669 - 0.9679
4		0.3 - 0.39	0.968 - 0.9689
5		0.4 - 0.5	0.969 - 0.9698



Gambar 6 CDF Bus 74

Pada gambar 6 menunjukkan nilai profil tegangan dari base case adalah 0.9483 p.u, setelah dilakukan integrasi PLTS terjadi peningkatan profil tegangan, CDF profil tegangan pada bus 74 adalah 70.7% berada di sekitar 0.969 – 0.9698 p.u.

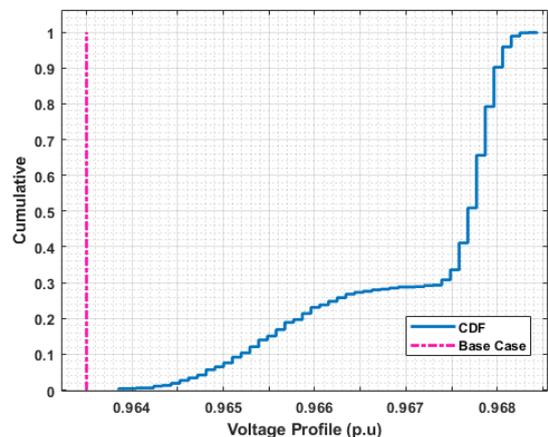


Gambar 7 Hasil Profil Tegangan Bus 80 Setelah Integrasi PLTS

Pada gambar 7 menunjukkan hasil profil tegangan setelah terintegrasi dengan PLTS bahwa dengan probabilitas injeksi daya sebesar 0.4 – 0.5 MWp dengan presentase 70.7% profil tegangan yang didapatkan pada bus 80 adalah 0.9672 – 0.9684 p.u, dengan nilai rata-rata 0,9671 dan nilai standar deviasi pada bus 80 adalah 0.000001746.

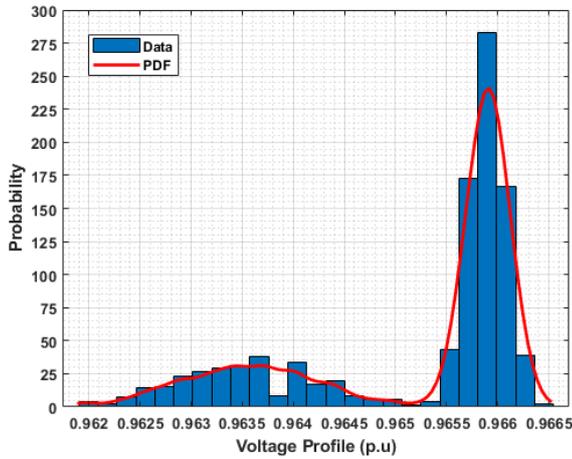
Tabel 2 Hasil Profil Tegangan Bus 80

No	Profil Tegangan Base Case (p.u)	Injeksi Daya (MWp)	Profil Tegangan (p.u)
1	0.95	0.05 - 0.09	0.9639 - 0.9643
2		0.1 - 0.19	0.9644 - 0.9652
3		0.2 - 0.29	0.9653 - 0.9662
4		0.3 - 0.39	0.9663 - 0.9671
5		0.4 - 0.5	0.9672 - 0.9684



Gambar 8 CDF Bus 80

Pada gambar 8 menunjukkan nilai profil tegangan dari *base case* adalah 0.9483 p.u, setelah dilakukan integrasi PLTS terjadi peningkatan profil tegangan, CDF profil tegangan pada bus 80 adalah 70.7% berada di sekitar 0.9672 – 0.9684 p.u.

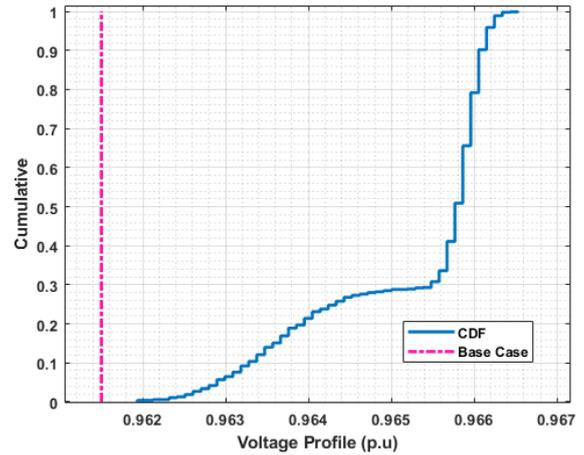


Gambar 9 Hasil Profil Tegangan Bus 177 Setelah Integrasi PLTS

Pada gambar 9 menunjukkan hasil profil tegangan setelah terintegrasi dengan PLTS bahwa dengan probabilitas injeksi daya sebesar 0.4 – 0.5 MWp dengan presentase 70.7% profil tegangan yang didapatkan pada bus 177 adalah 0.9653 – 0.9665 p.u, dengan nilai rata-rata 0,9652 dan nilai standar deviasi pada bus 177 adalah 0.000001752.

Tabel 3 Hasil Profil Tegangan Bus 177

No	Profil Tegangan Base Case (p.u)	Injeksi Daya (MWp)	Profil Tegangan (p.u)
1	0.9513	0.05 - 0.09	0.962 - 0.9624
2		0.1 - 0.19	0.9625 - 0.9633
3		0.2 - 0.29	0.9634 - 0.9643
4		0.3 - 0.39	0.9644 - 0.9652
5		0.4 - 0.5	0.9653 - 0.9665



Gambar 10 CDF Bus 177

Pada gambar 8 menunjukkan nilai profil tegangan dari *base case* adalah 0.9513 p.u, setelah dilakukan integrasi PLTS terjadi peningkatan profil tegangan, CDF profil tegangan pada bus 177 adalah 70.7% berada di sekitar 0.9653 – 0.9665 p.u.

## V. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, algoritma PPF digunakan untuk menganalisis probabilistik sistem distribusi yang terintegrasi dengan PLTS. PPF memiliki kemampuan untuk menganalisis keandalan dan kinerja sistem yang berfluktuasi akibat variasi injeksi daya dari PLTS. Metode MCS digunakan untuk mendapatkan PDF dan CDF dari sistem yang ada.

Daya yang dihasilkan oleh PLTS bervariasi mengikuti cuaca yang ada. Sehingga, daya yang masuk ke sistem distribusi juga bervariasi, pada penelitian ini menunjukkan bahwa probabilitas daya yang dihasilkan dengan range 0.4 – 0.5 MWp persentasenya adalah 70.7% per bulan dan ini menunjukkan bahwa PLTS menghasilkan daya yang cukup maksimal, karena kapasitas dari PLTS sendiri sebesar 0.5 MWp.

Bisa dilihat bahwa integrasi PLTS terhadap sistem distribusi bisa mempengaruhi nilai dari profil tegangan, injeksi daya dari PLTS yang bervariasi bisa memperbaiki profil tegangan, seperti pada bus 74 dengan nilai profil tegangan sebesar 0.9483 p.u saat *base case* menjadi 0.969 – 0.97 p.u setelah mendapat injeksi daya dari PLTS.

Meskipun injeksi daya dari PLTS bervariasi, jika dilihat dari PDF dan CDF yang dihasilkan oleh sistem, bisa dikatakan bahwa nilai dari profil tegangan akan meningkat di atas *base case*. Sehingga, berapapun injeksi daya dari PLTS yaitu dengan *range* 0.05 – 0.5 MWp, maka profil tegangan setiap bus akan mengalami peningkatan.

## VI. REFERENSI

- [1] A. F. Gusnanda, Sarjiya, and L. M. Putranto, "Effect of distributed photovoltaic generation installation on voltage profile: A case study of rural distribution system in Yogyakarta Indonesia," *2019 Int. Conf. Inf. Commun. Technol. ICOIACT 2019*, pp. 750–755, 2019, doi: 10.1109/ICOIACT46704.2019.8938534.
- [2] H. Shao, Y. Shi, J. Yuan, J. An, and J. Yang, "Analysis on Voltage Profile of Distribution Network with Distributed Generation," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 113, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1755-1315/113/1/012170.
- [3] G. Srinivasa Rao and Y. . Obulesh, "Voltage Profile Improvement of Distribution System using Distributed Generating Units," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 3, no. 3, 2013, doi: 10.11591/ijece.v3i3.2133.
- [4] R. Bawazir, N. Cetin, M. Mosbah, and S. Arif, "Improvement of the Voltage Profile of the Distribution Network by Optimal Integration of PVbased Decentralised Source," *2020 Int. Conf. Electr. Eng. ICEE 2020*, pp. 29–32, 2020, doi: 10.1109/ICEE49691.2020.9249895.
- [5] R. Bayindir, S. Demirbas, E. Irmak, U. Cetinkaya, A. Ova, and M. Yesil, "Effects of renewable energy sources on the power system," *Proc. - 2016 IEEE Int. Power Electron. Motion Control Conf. PEMC 2016*, pp. 388–393, 2016, doi: 10.1109/EPEPEMC.2016.7752029.
- [6] D. D. Le, N. T. A. Nguyen, V. D. Ngo, and A. Berizzi, "Advanced probabilistic power flow methodology for power systems with renewable resources," *Turkish J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 25, no. 2, pp. 1154–1162, 2017, doi: 10.3906/elk-1511-302.
- [7] C. Wang, C. Liu, F. Tang, D. Liu, and Y. Zhou, "A scenario-based analytical method for probabilistic load flow analysis," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 181, no. January, p. 106193, 2020, doi: 10.1016/j.epsr.2019.106193.
- [8] C. Su, "Probabilistic Load-Flow Computation," vol. 20, no. 4, pp. 1843–1851, 2005.
- [9] M. Fan, V. Vittal, G. T. Heydt, and R. Ayyanar, "Probabilistic power flow studies for transmission systems with photovoltaic generation using cumulants," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 27, no. 4, pp. 2251–2261, 2012, doi: 10.1109/TPWRS.2012.2190533.
- [10] Z. S. Zhang, Y. Z. Sun, J. Lin, L. Cheng, and G. J. Li, "Versatile distribution of wind power output for a given forecast value," *IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.*, pp. 1–7, 2012, doi: 10.1109/PESGM.2012.6344672.
- [11] P. Zhang and S. T. Lee, "Probabilistic Load Flow Computation Using the Method of Combined Cumulants and Gram-Charlier Expansion," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 19, no. 1, pp. 676–682, 2004, doi: 10.1109/TPWRS.2003.818743.
- [12] S. M. Said, B. Hartmann, M. M. Aly, M. Mosa, and R. S. Balog, "Comparison between operating modes of distributed generation on voltage profile and stability of distribution systems," *2018 IEEE Texas Power Energy Conf. TPEC 2018*, vol. 2018-Febru, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/TPEC.2018.8312107.
- [13] N. Thomas, R. Jayabarathi, and T. N. P. Nambiar, "Effect of Line Impedance and Loading on Voltage Profile in Distribution Network with Distributed Solar Photovoltaic System," *Proc. 3rd Int. Conf. Commun. Electron. Syst. ICCES 2018*, no. Icces, pp. 962–968, 2018, doi: 10.1109/CESYS.2018.8724115.
- [14] A. S. Addurat and J. Pasupuleti, "The impacts of number of solar photovoltaic units on distribution network losses and voltage profile," *2020 IEEE Student Conf. Res. Dev. SCOReD 2020*, no. September, pp. 249–253, 2020, doi: 10.1109/SCOReD50371.2020.9250971.
- [15] Z. W. Khan and S. Khan, "Analyzing the impacts of Distributed Generation on power losses and voltage profile," *Proc. 2015 Int. Conf. Emerg. Technol. ICET 2015*, pp. 1–4, 2016, doi: 10.1109/ICET.2015.7389182.
- [16] G. Stefopoulos, A. P. Meliopoulos, and G. J. Cokkinides, "Advanced probabilistic power flow methodology," *15th Power Syst. Comput. Conf. PSCC 2005*, no. August, pp. 22–26, 2005.
- [17] S. Gurung, S. Naetiladdanon, and A. Sangswang, "Impact of photovoltaic penetration on small signal stability considering uncertainties," *2017 IEEE Innov. Smart Grid Technol. - Asia Smart Grid Smart Community, ISGT-Asia 2017*, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/ISGT-Asia.2017.8378404.
- [18] A. U. Krismanto, N. Mithulanathan, and I. Kamwa, "Oscillatory stability assessment of microgrid in autonomous operation with uncertainties," *IET Renew. Power Gener.*, vol. 12, no. 4, pp. 494–504, 2018, doi: 10.1049/iet-rpg.2017.0579.
- [19] R. Sridharan, "Gaussian mixture models and the EM algorithm Review : the Gaussian distribution," pp. 1–11.
- [20] S. Conti and S. Raiti, "Probabilistic load flow using Monte Carlo techniques for distribution networks with photovoltaic generators," *Sol. Energy*, vol. 81, no. 12, pp. 1473–1481, 2007, doi: 10.1016/j.solener.2007.02.007.
- [21] A. U. Krismanto and N. Mithulanathan, "Probabilistic small signal stability analysis of autonomous wind-diesel microgrid," *2017 IEEE Innov. Smart Grid Technol. - Asia Smart Grid Smart Community, ISGT-Asia 2017*, pp. 1–6, 2018, doi:

- 10.1109/ISGT-Asia.2017.8378359.
- [22] D. D. Le, K. V. Pham, D. V. Ngo, K. V. Huynh, N. T. A. Nguyen, and A. Berizzi, "An enhancement to cumulant-based probabilistic power flow methodologies," *Proc. 2015 IEEE Innov. Smart Grid Technol. - Asia, ISGT ASIA 2015*, 2016, doi: 10.1109/ISGT-Asia.2015.7387150.
- [23] S. Singh and J. H. Taylor, "Uncertainty Estimation in Wind Power Forecasts Using Monte Carlo Simulations," *Can. Conf. Electr. Comput. Eng.*, vol. 2018-May, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/CCECE.2018.8447846.
- [24] R. H. Liang and J. H. Liao, "A fuzzy-optimization approach for generation scheduling with wind and solar energy systems," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 22, no. 4, pp. 1665–1674, 2007, doi: 10.1109/TPWRS.2007.907527.
- [25] J. Park, W. Liang, J. Choi, A. A. El-Keib, M. Shahidehpour, and R. Billinton, "A probabilistic reliability evaluation of a power system including solar/photovoltaic cell generator," *2009 IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet. PES '09*, no. 1, pp. 1–6, 2009, doi: 10.1109/PES.2009.5275722.