

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) *On Grid* sebagai salah satu model implementasi PLTS makin marak diimplementasikan tidak hanya dalam skala besar pembangkitan utilitas oleh IPP (*independent power producer*) namun juga pembangkitan dalam skala kecil-menengah oleh konsumen PLN seperti PLTS Atap (*rooftop*).

Hal ini seiring dengan komitmen pemerintah Republik Indonesia untuk berkontribusi dalam mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK). Dan untuk mendukung komitmen tersebut, pemerintah melalui Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) sudah mengeluarkan regulasi yang mengatur implementasi PLTS *On Grid* oleh konsumen PLN. Terakhir melalui Peraturan Menteri ESDM Nomor 2 tahun 2024 (Peraturan Menteri ESDM Nomor 2 tahun 2024 tentang Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap yang Terhubung pada Jaringan Tenaga Listrik Pemegang Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik untuk Kepentingan Umum, 2024) dimana PLN merupakan salah satu perusahaan pemegang Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik untuk Kepentingan Umum (IUPTLU).

Pelanggan tidak lagi hanya berposisi sebagai konsumen namun juga menjadi produsen-konsumen (*prosumer*) listrik. Dengan terhubungnya PLTS *On Grid* skala kecil-menengah pada jaringan listrik (*grid*) PLN memunculkan tantangan dalam menjaga kualitas daya listrik. Salah satu masalah teknis yang muncul dalam implementasi PLTS *On Grid* adalah penurunan serapan daya aktif yang diambil dari jaringan listrik sementara daya reaktif (*reactive power*) cenderung tetap. Hal ini disebabkan karena inverter PLTS umumnya beroperasi pada *unity power factor* ($\cos \varphi = 1$) sehingga tidak ada daya reaktif yang dihasilkan dari *inverter* tersebut. Seluruh daya reaktif akan diambil dari jaringan listrik (PLN) yang dalam kuantitas tertentu akan mengakibatkan perubahan faktor daya pada jaringan listrik.

Untuk mengantisipasi perubahan faktor daya, PLN hanya memperbolehkan faktor daya rata-rata pada sisi pelanggan sebesar 0.85. Nilai faktor daya sebesar 0,85 ini awalnya mengacu pada Permen ESDM 28/2016 (Peraturan Menteri ESDM Nomor 28 Tahun 2016 Tentang Tarif Tenaga Listrik Yang Disediakan Oleh PT Perusahaan Listrik Negara (Persero), 2018) yang sudah dirubah beberapa kali dan terakhir Permen ESDM 8/2023 (Peraturan Menteri

ESDM Nomor 8 tahun 2023 tentang Perubahan Kelima Atas Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Nomor 28 Tahun 2016 Tentang Tarif Tenaga Listrik Yang Disediakan Oleh PT Perusahaan Listrik Negara (Persero), 2023). Pada Permen 28/2016 beserta perubahannya, pelanggan PLN yang dikenai biaya kelebihan pemakaian daya reaktif (KVARH) adalah pelanggan tegangan (TM) menengah dan tegangan tinggi (TT) dengan pengecualian dari pelanggan tegangan rendah (TR) untuk golongan tarif I-2/TR. Namun golongan tarif ini tidak digunakan PLN dalam setiap pengumuman mengenai Penetapan Penyesuaian Tarif Tenaga Listrik (*Tariff Adjustment*) yang dirilis PLN setiap triwulan.

Adapun Permen 28/2016 baru saja dicabut tanggal 6 Juni 2024 dan digantikan dengan Permen 7/2024 (Peraturan Menteri ESDM Nomor 7 tahun 2024 Tentang Tarif Tenaga Listrik Yang Disediakan Oleh PT Perusahaan Listrik Negara (Persero), 2024) yang tetap menerapkan biaya kelebihan pemakaian daya reaktif (KVARH) dikenakan dalam hal faktor daya rata-rata setiap bulan kurang dari 0,85 (nol koma delapan lima) dengan golongan tarif yang sama dengan Permen 28/2016.

Dengan demikian, ketika faktor daya berada pada nilai di bawah nilai yang diperbolehkan tersebut, PLN menerapkan denda/pinalti berupa biaya kelebihan penggunaan daya reaktif. Sampai saat ini denda/pinalti tersebut masih diterapkan hanya untuk pelanggan dari golongan tarif tegangan menengah (TM) dan tegangan tinggi (TT).

Implementasi pemasangan PLTS salah satunya bertujuan untuk mengurangi konsumsi daya dari jaringan PLN terutama di siang hari. Selama ini perencanaan PLTS berbasis pada perhitungan daya aktif dan kurang memperhatikan daya reaktif. Hal ini dapat dikatakan wajar karena tujuan utama adalah penghematan konsumsi daya yang berdampak pada penghematan tagihan listrik bulanan karena penggunaan energi listrik dihitung pada penggunaan daya aktif (KWH), maka maksimalisasi produksi daya aktif adalah pilihan yang rasional untuk mengurangi konsumsi energi dari PLN. Konsekuensinya, kebutuhan daya reaktif untuk beban induktif seperti motor listrik akan tetap diambil dari jaringan listrik dan menjadi beban PLN meskipun dikompensasi dengan denda/pinalti.

Pelanggan PLN yang memasang PLTS mungkin saja menggunakan *capacitor bank* untuk memperkecil daya reaktif (Sinambela, Sukendar, Awaludin, & Gani, 2024) sehingga dapat mempertahankan faktor daya tetap berada di atas nilai 0,85 . Namun demikian implementasi *capacitor bank* tentunya menambah komponen biaya termasuk juga perhitungan teknis tersendiri.

Jika hanya dilihat dari satu pelanggan mungkin perubahan faktor daya ini tidak terlihat signifikan, namun ketika beberapa PLTS yang beroperasi masuk ke dalam jaringan dan mengurangi daya aktif yang diserap dari jaringan sementara daya reaktif tetap diambil dari jaringan maka faktor daya di jaringan akan ikut menurun.

Penelitian-penelitian terdahulu menunjukkan adanya dampak signifikan pada perubahan daya signifikan akibat dari penetrasi PLTS. Hal ini salah satunya disebabkan karena *inverter* hanya menghasilkan daya aktif sementara daya reaktif dipasok dan menjadi beban jaringan listrik. Penelitian-penelitian tersebut umumnya mengambil perspektif jaringan terutama adanya penurunan nilai faktor daya pada sisi suplai, yaitu dari jaringan listrik.

- 1) Wijaya Yudha Atmaja dkk. (Atmaja, Sarjiya, P., & Pramono, 2019) menyebutkan bahwa berdasarkan pengamatan yang dilakukan pada gardu induk, peningkatan penetrasi PLTS Atap (*rooftop*) memberikan dampak pada menurunnya daya aktif pada gardu induk. Semakin tinggi penetrasi sistem PLTS, semakin rendah faktor daya gardu yang diamati.
- 2) Gaurav Singh dkk. (Singh, Cooke, & Howe, 2020) menyimpulkan bahwa sumber *energi terdistribusi (DER, distributed energy resources)* yang beroperasi pada faktor daya *unity* ($\cos \phi = 1$) hanya akan memproduksi daya aktif. Studi yang dilakukan mendapati bahwa daya yang dibangkitkan PLTS pada siang hari dan daya yang dilepaskan dari baterai pada malam hari akan berdampak pada jaringan listrik menjadi pemasok daya reaktif (VAR) yang mengakibatkan rugi-rugi yang lebih besar dan biaya operasional yang lebih tinggi.
- 3) Nur Nadiyah Faizura Norhasmi dkk. (Norhasmi, Raveendran, & Ramachandaramurthy, 2018) menyimpulkan PLTS dapat menyebabkan kenaikan tegangan pada jaringan distribusi listrik ketika kapasitas PLTS melebihi beban. Salah satu solusi yang direkomendasikan adalah pengendalian faktor daya di sisi PLTS.
- 4) Manish Ganesh Wath dkk. (Manish Ganesh Wath, Makarand Sudhakar Ballal, 2018) dalam penelitian dengan berbagai skenario menunjukkan bahwa dalam kasus daya aktif dipasok oleh PLTS sementara daya reaktif diserap dari jaringan listrik akan menyebabkan kerugian teknis di jaringan.

Hampir seluruh pengendalian atas masalah tersebut menjadi beban jaringan, Pembebanan pada sisi konsumen hanya berupa denda/pinalti jika faktor daya rata-rata di atas nilai yang diperbolehkan. Sejauh penelusuran kepustakaan atas penelitian sebelumnya belum

ditemukan adanya upaya untuk mendorong peran aktif konsumen/pelanggan yang memasang PLTS untuk ikut membantu perbaikan faktor daya pada sisi pelanggan.

1.2. Identifikasi Masalah

Pada sisi teknis jaringan, faktor daya yang rendah akan menyebabkan meningkatnya kebutuhan daya reaktif yang harus dipenuhi oleh jaringan agar kualitas daya tidak menurun. Pertumbuhan penetrasi PLTS yang umumnya hanya menghasilkan daya aktif dengan $\cos \varphi=1$ jika tidak diantisipasi akan membebani jaringan dengan suplai daya reaktif dan mengakibatkan jaringan tidak efisien dalam mentransmisikan/mendistribusikan daya.

Sementara pada sisi teknis pelanggan/konsumen, perencanaan PLTS *On Grid* yang fokus pada pertimbangan penghematan daya aktif cenderung kurang memberikan perhatian pada perhitungan penyerapan daya reaktif dari jaringan listrik.

Pertimbangan daya reaktif ini akan menjadi penting ketika banyak beban bersifat induktif, seperti motor listrik yang membutuhkan daya reaktif. Demikian juga pada saat daya beban rendah dan daya yang dihasilkan PLTS besar akan menyebabkan naiknya tegangan maka dibutuhkan tambahan daya reaktif untuk menstabilkan tegangan. Adapun dari aspek ekonomi penyerapan/konsumsi daya reaktif yang disebabkan faktor daya di bawah 0.85 akan dikenakan denda/pinalti sesuai dengan regulasi. Denda ini akan mengurangi proyeksi penghematan yang dihitung dalam perencanaan awal dari PLTS *On Grid* tersebut.

Upaya dari sisi jaringan untuk mengurangi besarnya daya reaktif yang harus disediakan sejauh ini menggunakan skema denda/pinalti. Namun dengan pertumbuhan penetrasi PLTS yang semakin ekonomis berpotensi menyebabkan perubahan faktor daya di jaringan karena penurunan konsumsi daya reaktif sementara konsumsi daya reaktif di sisi pelanggan cenderung tetap.

Diperlukan peran serta pelanggan dalam menjaga kualitas daya terutama menjaga faktor daya pada ambang yang diperbolehkan ($\cos \varphi \geq 0.85$). Peran serta tersebut dengan melibatkan konsumen/pelanggan untuk memperhatikan perubahan faktor daya akibat pemasangan PLTS yang akan direncanakan.

Untuk memudahkan dalam perencanaan PLTS, maka dibutuhkan panduan (*guideline*) dalam bentuk formulai yang diverifikasi melalui simulasi perhitungan agar perencanaan PLTS tidak hanya dengan mempertimbangkan produksi daya aktif namun mengantisipasi adanya

penurunan faktor daya terutama pada pelanggan dengan golongan tarif yang dikenai denda/pinalti.

1.3. Pembatasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah, penelitian ini membatasi permasalahan pada kapasitas maksimum PLTS *On Grid* tanpa baterai pada pelanggan PLN dengan golongan tarif yang dikenai biaya kelebihan penggunaan daya reaktif dengan memperhitungkan perubahan faktor daya akibat penetrasi PLTS dimana *inverter* yang digunakan hanya menghasilkan daya aktif (KWH) dengan faktor daya *unity* ($\cos \varphi = 1$).

1.4. Perumusan Masalah

Dari batasan masalah di atas, rumusan masalah penelitian ini adalah “Berapa besar kapasitas maksimum PLTS *On Grid* yang dapat dipasang dan bagaimana formulasi menentukan kapasitas maksimum tersebut namun tidak menyebabkan perubahan faktor daya di bawah nilai yang diperbolehkan ($\cos \varphi \geq 0.85$)?”

1.5. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menyusun model simulasi perhitungan PLTS *On Grid* dengan mempertimbangkan potensi perubahan faktor daya pada sisi pelanggan akibat penetrasi PLTS tetap berada di nilai $\cos \varphi \geq 0.85$ agar tidak menyebabkan kelebihan konsumsi daya reaktif yang besar.
2. Mengajukan formulasi persamaan/rumus praktikal yang menyederhanakan perhitungan dari simulasi yang telah dilakukan sebelumnya.

1.6. Manfaat Penelitian

Melalui penelitian ini, diharapkan akan memberikan manfaat terutama pada sisi pelanggan PLN berupa:

- 1) Minimalisasi denda/pinalti karena kelebihan penggunaan daya reaktif (KVARH) dari jaringan listrik pada rencana pemasangan dan pengoperasian PLTS *On Grid*.
- 2) Minimalisasi potensi menggunakan *capacitor bank* untuk mengkompensasi perubahan faktor daya akibat kelebihan penggunaan daya reaktif (KVARH) dari jaringan listrik.

- 3) Membantu mengurangi dampak penurunan kualitas daya listrik pada sisi jaringan karena adanya penetrasi PLTS sehingga rugi-rugi jaringan akibat daya reaktif yang besar dan biaya operasional untuk memasok daya reaktif ke dalam jaringan dapat diminimalisir.

1.7. Ruang Lingkup Penelitian

Dalam tesis ini, ruang lingkup yang akan dibahas dan dihitung adalah kapasitas maksimum PLTS *On Grid* pada PT. X dengan sebisa mungkin menjaga $\cos \varphi \geq 0.85$.

1.8. Sistematika Penulisan

Penyajian tesis ini dibagi dalam beberapa bab dengan tujuan untuk memaparkan hasil penelitian secara sistematis. Secara garis besar, pembagian bab tersebut adalah sebagai berikut:

- 1) Bab I : Pendahuluan

Bab ini menjelaskan mengenai latar belakang, identifikasi masalah, batasan masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, ruang lingkup dan sistematika penulisan.

- 2) Bab II : Tinjauan Pustaka

Bab ini memuat teori-teori beserta informasi dan data lain yang terkait untuk digunakan dalam penyusunan tesis ini. Secara garis besar bab ini akan menyajikan mengenai fungsi trigonometri, daya listrik, golongan tarif PLN, pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dan aplikasi / *software* yang digunakan untuk mendukung metodologi penelitian.

- 3) Bab III : Metodologi

Bab ini menyajikan upaya sistematis dalam pelaksanaan dan penyelesaian penelitian ini berupa jenis, waktu dan lokasi penelitian, kerangka metodologi/prosedur, teknik pengumpulan, pengolahan serta verifikasi data terhadap regulasi, standar. Perhitungan awal kapasitas PLTS dilakukan dengan melakukan komparasi antara hasil simulasi manual dengan simulasi menggunakan aplikasi serta persiapan untuk simulasi. Pada bab ini teori yang dijabarkan pada bab sebelumnya diformulasi

menjadi persamaan matematis yang digunakan untuk menyelesaikan perhitungan-perhitungan guna mencapai tujuan penelitian.

4) Bab IV : Hasil dan Pembahasan

Bagian ini berisi analisis dari hasil pengolahan data, simulasi dan pembahasan. Setelah hasil simulasi dapat menyimpulkan kapasitas maksimum PLTS *On Grid* dengan mempertimbangkan faktor daya, rumus dan persamaan yang diuraikan pada bab-bab sebelumnya dikombinasi dan diformulasi menjadi rumus praktis dimana formulasi rumus tersebut diuji ulang dengan data awal yang sama untuk verifikasi dan memastikan hasil simulasi dan hasil perhitungan dengan rumus adalah sama.

5) Bab V : Penutup

Menjelaskan mengenai kesimpulan akhir penelitian dan saran-saran yang direkomendasikan berdasarkan hasil penelitian guna perbaikan dan penyempurnaan pada proses pengujian sejenis selanjutnya.

