

ANALISIS PENGARUH INTEGRASI PV TERHADAP KESTABILAN STATIS TEGANGAN PADA SISTEM KELISTRIKAN LOMBOKUDUL SESUAI KEBUTUHAN

¹Alfian Daniel Toding, ²I Made Wartana, ³Awan Uji Krismanto
Teknik Elektro S1, Institut Teknologi Nasional Malang, Indonesia

¹elfiantoding@gmail.com, ²m.wartana@lecturer.itn.ac.id, ³awan_uji_krismanto@lecturer.itn.ac.id

Abstrak—Pemanfaatan Photovoltaik (PV) dalam menunjang energi ketersediaan dalam konsumsi kebutuhan listrik sehari-hari tentulah sangat diperlukan terlebih lagi PV merupakan pembangkit energi baru terbarukan yang ramah lingkungan dan jumlahnya tidak terbatas yang memanfaatkan energi matahari sebagai sumber utamanya. Stabilitas tegangan adalah salah satu faktor yang mempengaruhi pada kualitas daya sistem saat pembangkit energi baru terbarukan salah satunya PV masuk kedalam sistem. Ketidakstabilan tegangan merupakan permasalahan yang berperan penting untuk jaringan sistem kelistrikan. Kemampuan sistem dalam mempertahankan nilai dari tegangan dalam keadaan terkontrol tentu diharapkan dalam menjaga keandalan sistem sehingga sistem dapat bekerja dalam keadaan normal setelah terjadi gangguan maupun ketika terjadi peningkatan pembebanan. Dalam penelitian ini yang menjadi objek penelitian yakni sistem kelistrikan lombok, mengenai analisis kestabilan statis tegangan akibat pengaruh dari integrasi PV yang dianalisa sebelum dan sesudah integrasi PV, serta kurva P-V (daya aktif-tegangan) dan kurva Q-V (daya reaktif- tegangan) menjadi metode analisis konseptual dalam penelitian ini. Apabila sistem berada pada tegangan yang melebihi batas kritis tegangan yang ditetapkan maka sistem dikatakan tidak stabil. Pada grafik kurva P-V terlihat bahwa semakin besar integrasi pembangkit PLTS, hal ini akan meningkatkan batas pembebanan dan setelah melewati batas kritikal tegangan akan terjadi voltage collapse. Pada grafik kurva Q-V Nilai reaktif power margin semakin rendah dan kemampuan sistem dalam mempertahankan pembebanan semakin baik, dilihat dengan integrasi PLTS yang semakin besar akan memberikan dampak kepada sistem mempertahankan pembebanan daya reaktif semakin meningkat juga. Dari penelitian ini juga menunjukkan bahwa penambahan integrasi PLTS dapat meningkatkan profil tegangan.

Kata Kunci: Kestabilan, Kestabilan statis tegangan dengan kurva P-V dan Q-V, Pembangkit PLTS

I. PENDAHULUAN

Dalam beberapa dekade ini dalam penggunaan pembangkit energi berbahan bakar fosil menimbulkan permasalahan sebagai pembangkitan konvensional seperti pemanasan global, perubahan iklim dan ketersediaan energi yang berkurang, dalam mencegah kerusakan ekosistem yang semakin buruk dan berkelanjutan penggunaan dan pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT) sebagai pengganti pembangkit energi berbahan bakar fosil menjadi hal yang baik [1].

Ketersediaan energi matahari dalam jumlah besar memberikan potensi pertumbuhan yang baik bagi pembangkit listrik tenaga surya dengan potensi integrasi pada jaringan distribusi dan transmisi. Pertumbuhan yang berkelanjutan pembangkit listrik tenaga surya telah membawa potensi tantangan integrasi dan pengoperasian jaringan yang ada untuk sistem utilitas daya. Studi ini melihat integrasi kondisi steady state berdampak pada jaringan yang ada pada level tegangan sistem, kerugian saluran, profil tegangan, penurunan tegangan dan stabilitas tegangan jaringan.

Pembangkit listrik pv tingkat transmisi telah menjadi populer pada beberapa tahun belakangan untuk meningkatkan persentase sumber energi bersih di indonesia. Bauran pembangkit energi, dan pengurangan emisi karbon telah memberikan dampak dengan kontribusi yang besar dalam penelitian dibidang pembangkit listrik yang bersumber dari tenaga surya [2]. injeksi pembangkit listrik tenaga surya skala besar dapat berkontribusi dalam pengurangan polusi

akibat pembangkit konvensional. Penetrasi pv menghasilkan berbagai dampak tegangan pada jaringan listrik [3]. Dengan integrasi masuknya sistem photovoltaic (PV) ke dalam suatu jaringan, dengan karakteristik intermiten, maka akan dapat berdampak pada beberapa fungsi jaringan seperti stabilitas (kestabilan), perlindungan dan memberikan manajemen dan perencanaan.

Kestabilan sistem tenaga listrik merupakan kemampuan dari sistem mempertahankan suatu kondisi stabil yang seimbang dan dapat kembali pada keadaan semula, misalnya saat pembebanan meningkat ataupun terjadi gangguan maka sistem dapat mempertahankan kestabilannya, gangguan yang terjadi dapat mengganggu kestabilan sistem: kestabilan small signal, kestabilan frekuensi, kestabilan tegangan. Pentingnya kestabilan untuk memelihara jaringan listrik yang aman dan andal dengan penetrasi energi terbarukan yang tinggi [5]. Untuk mengetahui hal tersebut perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai analisis pengaruh integrasi pv terhadap kestabilan statis tegangan di sistem kelistrikan lombok yang akan diteliti sebelum pengintegrasian pv dan sesudah pengintegrasian pv, dengan kurva P-V dan Q-V menjadi analisa konseptual penelitian ini.

Berdasarkan paparan latar belakang maka penulis merumuskan beberapa rumusan masalah yaitu:

1. Bagaimana menentukan pembebanan Daya aktif setelah integrasi PLTS sehingga mencapai batas kestabilan tegangan ?
2. Bagaimana menentukan pembebanan daya reaktif setelah integrasi PLTS sehingga system mencapai batas kestabilan tegangan ?

Tujuan dari penelitian ini yaitu adalah:

1. Menganalisis pengaruh integrasi PV/PLTS, setelah penambahan pembebanan daya aktif sehingga mencapai batas kestabilan dengan keluaran simulasi P-V curve
2. Menganalisis pengaruh integrasi PV/PLTS, setelah penambahan pembebanan daya reaktif sehingga mencapai batas kestabilan dengan keluaran simulasi Q-V curve

II. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Analisis aliran daya

terdapat beberapa klasifikasi bus dalam analisis aliran daya diantaranya:

1. Bus generator atau dikenal juga dengan PV bus, besaran daya reaktif dan sudut fasa pada bus ini tidak diketahui, besaran yang ditentukan pada bus ini adalah daya nyata dan tegangan.

2. Slack bus: yaitu bus yang menjaga keseimbangan daya dalam suatu sistem, slack bus biasa disebut juga dengan bus referensi, sudut fasa dari bus ini yang menjadi referensi untuk sudut fasa tegangan di bus lain

3. PQ bus atau yang dikenal dengan nama bus beban, di bus ini daya aktif dan daya reaktif diketahui. Tegangan dan sudut fasa tidak diketahui [6].

Analisis aliran daya merupakan studi dasar dalam menganalisa suatu sistem Tenaga Listrik, baik untuk perencanaan maupun operasi. Pada dasarnya sasaran utama dari semua analisa aliran daya adalah menentukan besar dan sudut fasa tegangan pada setiap bus, dengan diketahuinya tegangan maka daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) dapat dihitung. Jika P dan Q pada dua buah bus diketahui maka aliran daya dengan jelas dapat diketahui, serta rugi-rugi daya saluran penghubung dapat diketahui.

Secara umum tujuan analisa aliran daya adalah:

1. Untuk memeriksa tegangan dan sudut fasa masing-masing bus.
2. Untuk memeriksa kemampuan semua peralatan yang ada dalam sistem apakah cukup besar untuk menyalurkan daya yang diinginkan.
3. Untuk memperoleh kondisi awal bagi studi-studi selanjutnya, yakni studi hubung singkat, studi rugi-rugi transmisi dan studi stabilitas [7].

2.2. Rugi – Rugi Daya

Rugi-Rugi Daya. Rugi daya yang terjadi pada saluran transmisi sangat perlu di perhatikan, karena bisa menyebabkan hilangnya daya yang cukup besar. Rugi daya merupakan kehilangan energi yang tidak dapat di hindari. Arus yang mengalir pada penghantar mengakibatkan panas disekitar konduktor sehingga ada daya yang terbuang selama proses pengiriman daya ke beban.

Rugi rugi daya yang besar dapat mengakibatkan kerugian pada perusahaan pemasok listrik. Panjang saluran suatu Gardu Induk dari Gardu induk yang satu ke Gardu induk yang lainnya dapat menyebabkan rugi daya yang cukup besar. Untuk menghitung besarnya rugi rugi daya pada saluran transmisi dapat menggunakan persamaan sebagai berikut [8].

$$P_{\text{losses}} = 3 I^2 R \quad (1)$$

Keterangan :

P_{losses} : Rugi-rugi daya (watt)

I : Arus yang mengalir (ampere)

R : Tahanan saluran (Ω /meter)

Kerugian perusahaan pemasok listrik disebabkan oleh hilangnya energi yang ditimbulkan dari rugi-rugi daya,

sehingga dapat merugikan perusahaan pemasok energi listrik tersebut. Kerugian tersebut diakibatkan karena energi yang disalurkan tidak sama dengan besarnya energi yang diterima, sehingga energi yang disalurkan tidak dapat terjual seluruhnya [9].

2.3. Kestabilan tegangan

Stabilitas tegangan mengacu pada suatu pernyataan "kemampuan suatu sistem tenaga untuk menjaga tegangan tetap stabil di semua bus dalam suatu sistem setelah mengalami gangguan terhadap kondisi awal operasi sistem" [10].

Jika stabilitas tegangan terjaga, tegangan dan daya pada sistem akan dapat dikendalikan setiap saat. Secara umum, ketidakmampuan sistem untuk memasok kebutuhan yang diperlukan menyebabkan ketidakstabilan tegangan. Suatu sistem memasuki daerah ketidakstabilan tegangan ketika suatu gangguan menyebabkan kondisi sistem mengalami drop tegangan yang tidak dapat dikendalikan. Peningkatan stabilitas tegangan sistem tenaga terjadi ketika gangguan yang menyebabkan jatuhnya tegangan secara tiba-tiba, faktor diantaranya adalah ketidakstabilan tegangan akibat kekurangan pasokan daya reaktif yang diperlukan, karena sistem dioperasikan dengan batas, kemampuan untuk menjaga stabilitas menjadi topik yang menarik. Dalam perencanaan dan pengoperasian analisis stabilitas tegangan membutuhkan analisis aspek: (i) kedekatan, apa yang ada di sekitar adalah sistem ketidakstabilan tegangan (ii) mekanisme yang menyembunyikan ketidakstabilan tegangan, yang merupakan kontribusi utama, titik toleransi dan area sistem tidak terkontrol [11].

Tegangan di terminal semua peralatan di daya sistem harus dalam batas yang diijinkan. Lebih jauh keduanya peralatan utilitas dan peralatan pelanggan dirancang untuk beroperasi pada nilai tegangan tertentu sehingga jika tegangan tidak dipertahankan pada nilai standar, peralatan akan menghasilkan performa yang menurun atau bahkan menimbulkan kerusakan [12].

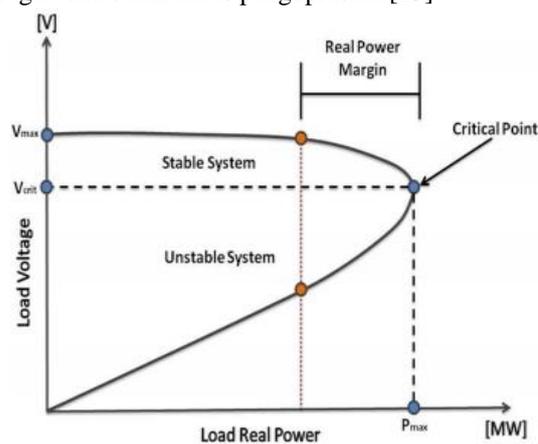
2.4. Kestabilan statis tegangan

Voltage stability statis (pada keadaan normal), ketidakstabilan tegangan yang disebabkan oleh gangguan-gangguan kecil, seperti kenaikan beban. Metode studi utama yang digunakan untuk analisis kestabilan tegangan statis adalah simulasi aliran daya. Metode ini terbagi menjadi dua, yakni: kurva P-V dan kurva Q-V. Kedua metode tersebut dapat menentukan batas pembebanan pada stabilitas tegangan. Dengan mengetahui kurva P-V maka kurva Q-V

dapat dibuat dengan mengubah nilai P menjadi nilai Q dengan faktor daya tertentu, begitu juga sebaliknya [13].

2.5. Kurva P-V

Kurva P-V sangat berguna untuk analisis konseptual stabilitas dan tegangan untuk sistem, di mana P adalah beban total dan V adalah tegangan kritis atau perwakilan bus. P juga bisa transfer daya antara transmisi atau interkoneksi. Tegangan pada beberapa bus dapat diplot. Untuk analisis konseptual kurva P-V pada saat karakteristik beban sebagai fungsi dari tegangan. Gambar 2.1 menunjukkan grafik titik daya aktif terhadap tegangan dari gambar pada saat tegangan menurun pada saat critical point mengungkapkan sebagai batas titik kritis pengoperasian [13].

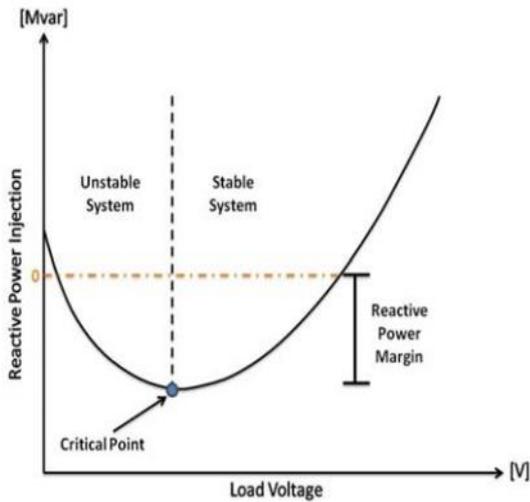


Gambar 1. Kurva P-V, daya aktif vs tegangan

(Sumber : mohammad Hammad and A. Harb, "static analysis for voltage stability of the northern jordanian power system".)

2.6. kurva Q-V

Analisis stabilitas tegangan melalui kurva Q-V ini adalah untuk melihat kondisi total banyak muatan (MVar bagaimana) aliran sistem menuju titik kritis dan menurun. Berarti sistem kinerja dalam penyaluran daya reaktif telah melampaui kinerja sistem itu sendiri. Gambar 2.2 menunjukkan grafik titik daya reaktif terhadap tegangan dari gambar pada saat tegangan menurun pada saat critical point mengungkapkan sebagai batas titik kritis pengoperasian [13].



Gambar 2. Kurva Q-V, daya reaktif vs tegangan (Sumber: mohammad Hammad and A. Harb, “static analysis for voltage stability of the nothern jordanian power system”.)

2.7. Pembangkit listrik tenaga surya (photovoltaic)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah suatu pembangkit yang mengkonversikan energi foton dari surya menjadi energi listrik. Konversi ini terjadi pada panel surya yang terdiri dari sel-sel surya. PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC (Direct Current) yang dapat diubah menjadi listrik AC (Alternating Current) apabila diperlukan. PLTS pada dasarnya adalah pencatu daya dan dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik dari skala kecil sampai dengan skala besar, baik secara mandiri (stand alone), ongrid (terhubung dengan jaringan PLN), maupun hybrid [18].

Modul surya (fotovoltaic) adalah sejumlah sel surya yang dirangkai secara seri dan paralel, untuk meningkatkan tegangan dan arus yang dihasilkan sehingga cukup untuk pemakaian sistem catu daya beban. Untuk menghasilkan energi listrik yang maksimum permukaan modul harus selalu menghadap ke arah matahari [19].

III. METODOLOGI PENELITIAN

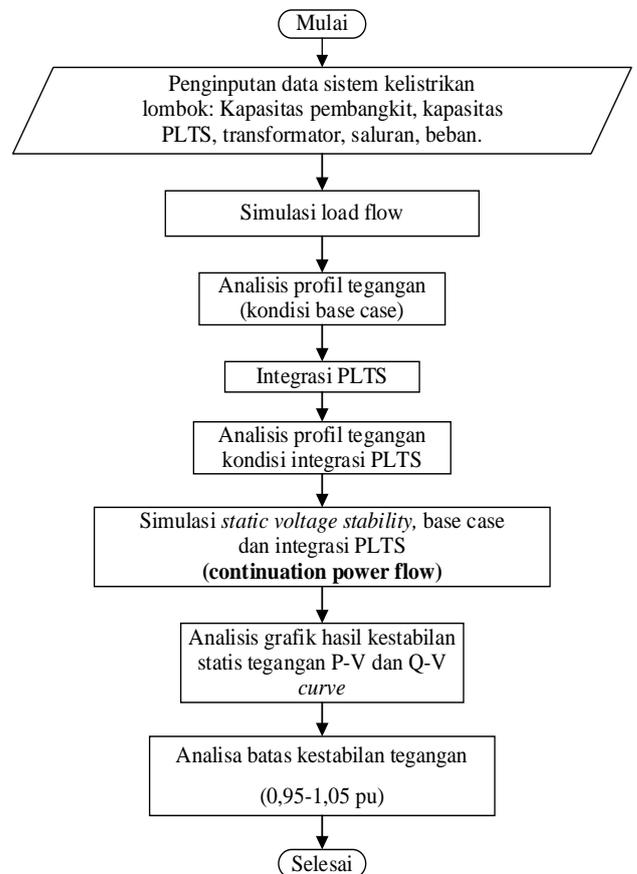
Metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah menganalisis pengaruh yang ditimbulkan dari integrasi photovoltaic atau pemasangan PLTS terhadap kestabilan statis tegangan termasuk profil tegangan dan rugi-rugi daya pada jaringan transmisi sistem kelistrikan Lombok.

Dengan mengetahui pengaruh yang dihasilkan dari penetrasi PLTS pada sistem kelistrikan Lombok, analisis ini dapat menjadi acuan dan perencanaan dalam menjaga stabilitas tegangan. Penelitian ini dilaksanakan dengan data dari PT. PLN Unit Induk Wilayah Nusa Tenggara Barat (persero).

3.1. Studi kasus

Dalam penelitian ini yang menjadi objek penelitian adalah sistem kelistrikan Lombok dengan yang dimana pada sistem kelistrikan ini terdapat terdapat 19 pembangkit konvensional (PLTD, PLTU, PLTMGU) dan 4 pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yakni adalah PLTS kapasitas 5 MW yang berlokasi di Sengkol, PLTS kapasitas 5 MW yang berlokasi di Pringgabaya, PLTS kapasitas 5 MW yang berlokasi di Paokmotong, PLTS kapasitas 5 MW yang berlokasi di Sambelia, jadi total kapasitas PLTS sebesar 20 MW.

3.2. Diagram alir penelitian

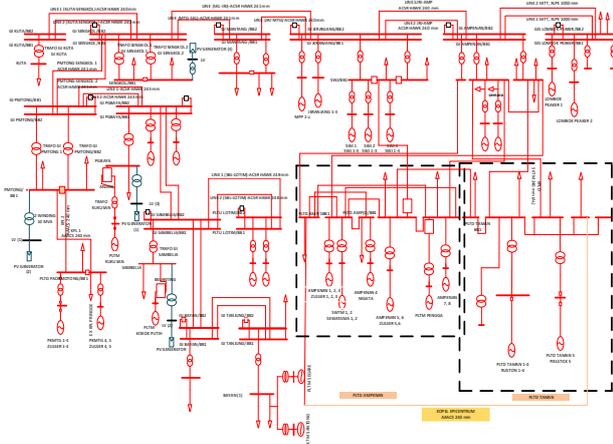


Gambar 3. Diagram alir penelitian sistem kelistrikan Lombok

IV. SIMULASIDAN ANALISA

4.1. Sistem Kelistrikan Lombok

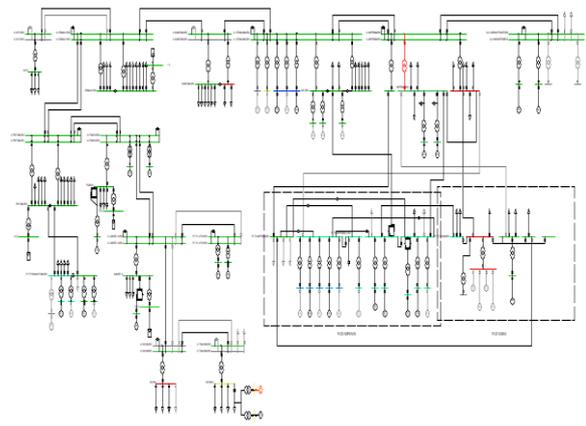
Studi kasus utama dalam penelitian ini adalah Sistem kelistrikan Lombok. Sistem kelistrikan ini terdiri dari 4 pembangkitan PLTS yang menyuplai daya ke dalam sistem kelistrikan lombok. Total daya yang disuplai dari seluruh pembangkitan yakni adalah dengan kapasitas 151,92 MW dengan melayani beban sebesar 149,03 MW. Dalam penelitian ini menggunakan bantuan software digsilent powerfactory 15.1.



Gambar 4. Single line diagram Sistem kelistrikan Lombok

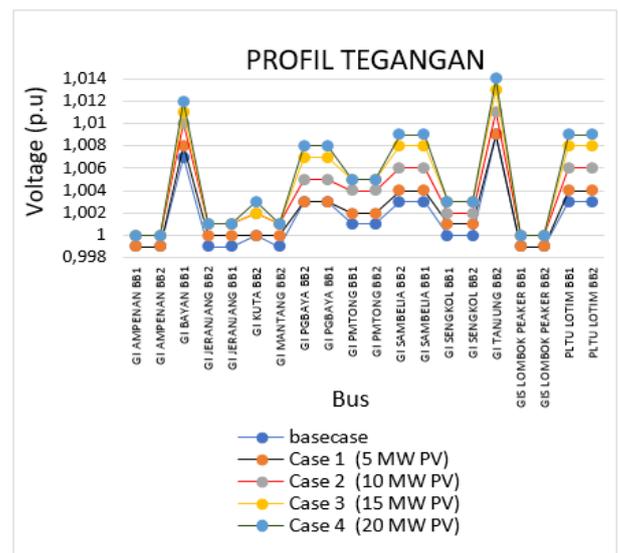
4.2. Analisis Aliran Daya

Simulasi atau studi aliran daya (load flow) disini berguna supaya kita mengetahui kinerja aliran daya, yaitu daya nyata (Watt) dan daya reaktif (Var) dari sistem dalam suatu kondisi tertentu yang dimana sistem tersebut dalam kondisi kerja normal maupun dalam kondisi steady state. Dari simulasi atau studi aliran daya ini kita juga dapat mengetahui atau melihat report dari tegangan disetiap lokasi bus, beban dari saluran, rugi-rugi daya (power losses) dari saluran yang ada disistem. Gambar berikut dibawah ini merupakan simulasi studi aliran daya menggunakan perangkat lunak DigSILENT Power Factory 15.1.



Gambar 5. Load flow single line diagram

4.3. Profil tegangan



Gambar 6. Grafik perbandingan profil tegangan bus 150 KV

Dari gambar 4.3 dapat dilihat bahwa Base Case adalah keadaan normal sebelum adanya integrasi dari PLTS. Case 1 adalah kurva dimana telah diintegrasikan 1 PLTS yaitu PLTS Sengkol dengan kapasitas 5 MW. Kemudian Case 2 adalah kurva dengan integrasi 2 PLTS yaitu PLTS Sengkol kapasitas 5 MW dan PLTS Pringgabaya kapasitas 5MW, sehingga pada Case 2 total kapasitas PLTS menjadi 10 MW. Pada Case 3 adalah kurva dengan integrasi 3 PLTS, yaitu PLTS Sengkol kapasitas 5 MW, PLTS Pringgabaya kapasitas 5 MW, dan PLTS Paokmotong kapasitas 5 MW sehingga pada Case 3 total kapasitas PLTS menjadi 15 MW. Case 4 adalah kurva dengan integrasi 4 PLTS yaitu PLTS Sengkol kapasitas 5 MW, PLTS Pringgabaya kapasitas 5MW, PLTS Paokmotong kapasitas 5MW, dan PLTS Sambelia kapasitas 5 MW sehingga pada Case 4 total kapasitas PLTS menjadi 20 MW.

Pada Gambar 4.3 grafik diatas bisa dilihat, bahwa pada awal (Base Case) tanpa integrasi PLTS maka sistem telah mensuplai daya kedalam jaringan, profil tegangan pada titik terendah terdapat pada busbar GI AMPENAN BB1, GI AMPENAN BB2, dengan nilai bus voltage 0,999 dalam satuan p.u. atau nilai 149,87 dalam satuan KV, dan nilai profil tegangan tertinggi berada pada busbar GI TANJUNG dengan nilai bus voltage 1,009 dalam satuan p.u. atau nilai 150,29 dalam satuan KV.

Kemudian dengan integrasi PLTS pada Case 1, dengan integrasi 5 MW PLTS, terjadi kenaikan profil tegangan, kenaikan profil tegangan pada titik terendah berada pada GI AMPENAN BB1/BB2 dan GIS LOMBOK PEAKER BB1/BB2 dengan nilai bus voltage 0,999 dalam satuan p.u. atau nilai 149,91 dalam satuan KV, dan peningkatan nilai profil tegangan tertinggi berada pada busbar GI TANJUNG dengan nilai bus voltage 1,009 dalam satuan p.u. atau nilai 151,41 dalam satuan KV.

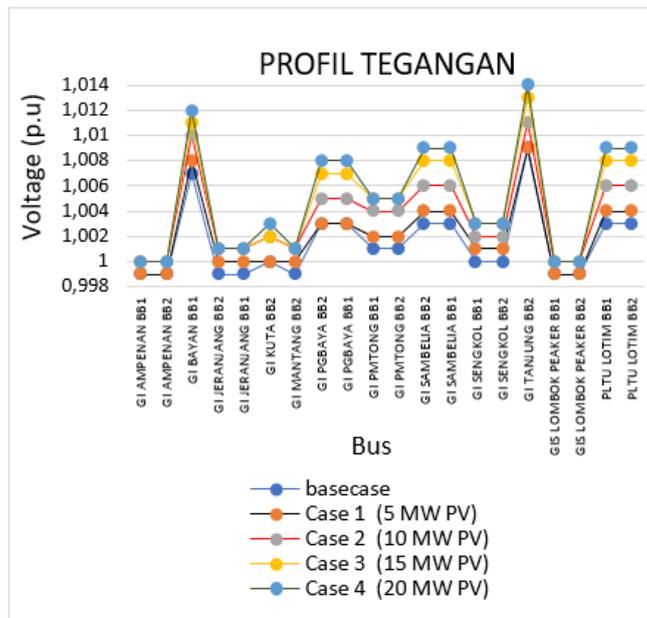
Pada Case 2, dengan integrasi 10 MW PLTS, terjadi kenaikan profil tegangan, kenaikan profil tegangan pada titik terendah berada pada Bus GI AMPENAN BB1/BB2 dan GIS LOMBOK PEAKER BB1/BB2 dengan nilai bus voltage 1,000 dalam satuan p.u. atau nilai 150,00 dalam satuan KV, dan peningkatan nilai profil tegangan tertinggi berada pada busbar GI TANJUNG dengan nilai bus voltage 1,011 dalam satuan p.u. atau nilai 151,71 dalam satuan KV.

Berikutnya pada Case 3, dengan integrasi 15 MW PLTS, terjadi kenaikan profil tegangan, kenaikan profil tegangan pada titik terendah berada pada Bus GI AMPENAN BB1/BB2 dengan nilai bus voltage 1,000 dalam satuan p.u. atau nilai 150,01 dalam satuan KV, dan peningkatan nilai profil tegangan tertinggi berada pada busbar GI TANJUNG dengan nilai bus voltage 1,013 dalam satuan p.u. atau nilai 151,92 dalam satuan KV.

Dalam case 4, pengintegrasian 4 PLTS dengan total kapasitas 20 MW maka dapat dilihat profil tegangan meningkat, tegangan terendah pada Bus GI AMPENAN BB1/BB2 dengan profil tegangan 1,000 dalam satuan p.u. atau 149,96 dalam satuan kV, dan kenaikan profil tegangan tertinggi berada di Bus GI TANJUNG yaitu 1,014 dalam satuan p.u. atau 152,07 dalam satuan Kv.

Profil tegangan pada bus 150 kV yang diperoleh pada keadaan awal (base case) menggunakan pembangkit konvensional seperti PLTD, PLTU, tanpa integrasi PLTS, memberikan hasil report data yang di tampilkan dalam bentuk grafik profil tegangan, profil tegangan bus masih dalam batas tegangan yang normal, tidak berada dalam kondisi under voltage dibawah 0,95 Pu ataupun berada pada kondisi over voltage diatas 1,05 Pu. Begitu juga setelah integtrasi PLTS kedalam sistem kelistrikan lombok, pada

setiap case, mulai dari case 1 sampai case 4 profil tegangan menjadi naik, profil tegangan tertinggi pada case 4 di bus GI TANJUNG BB2 tetapi masih berada dalam nilai batas tegangan yang normal atau stabil diantara 0,95 hingga 1,05 P.u.



Gambar 7. Grafik perbandingan profil tegangan bus 20 KV

Kondisi Case di bus 20 KV sama seperti tampilan profil tegangan sebelumnya di 150 KV, mulai dari kondisi base case hingga kondisi pengintegrasian PLTS/PV. Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa Base Case yang merupakan keadaan awal sebelum adanya integrasi dari PLTS. Case 1 adalah grafik dimana telah diintegrasikan 1 PLTS yaitu PLTS Sengkol dengan kapasitas 5 MW. Case 2 adalah grafik dengan integrasi 2 PLTS, yaitu PLTS Sengkol kapasitas 5 MW dan PLTS Pringgabaya kapasitas 5MW, sehingga pada Case 2 total kapasitas PLTS menjadi 10 MW. Pada Case 3 adalah grafik dengan integrasi 3 PLTS, yaitu PLTS Sengkol kapasitas 5 MW, PLTS Pringgabaya kapasitas 5MW, dan PLTS Paokmotong kapasitas 5MW sehingga pada Case 3 total kapasitas PLTS menjadi 15 MW. Case 4 adalah grafik dengan integrasi 4 PLTS yaitu PLTS Sengkol kapasitas 5 MW, PLTS Pringgabaya kapasitas 5MW, PLTS Paokmotong kapasitas 5MW, dan PLTS Sambelia kapasitas 5 MW sehingga pada Case 4 total kapasitas PLTS menjadi 20 MW.

Pada gambar 4.4 grafik diatas bisa dilihat, saat keadaan awal (Base Case) tanpa integrasi PLTS maka sistem telah mensuplai daya kedalam jaringan, profil tegangan pada titik terendah terdapat pada busbar PLTD PAOKMOTONG BB1, dengan nilai bus voltage 0,965 dalam satuan p.u. atau nilai 19,29 dalam satuan KV, dan nilai profil tegangan tertinggi berada pada busbar BAYAN (1) dengan nilai bus

voltage 1,034 dalam satuan p.u. atau nilai 20,68 dalam satuan KV.

Kemudian dengan integrasi PLTS pada Case 1, dengan integrasi 5 MW PLTS, terjadi kenaikan profil tegangan, kenaikan profil tegangan pada titik terendah berada pada bus PLTD PAOKMOTONG BB1 dengan nilai bus voltage 0,966 dalam satuan p.u. atau nilai 19,31 dalam satuan KV, dan peningkatan nilai profil tegangan tertinggi berada pada busbar BAYAN (1) dengan nilai bus voltage 1,035 dalam satuan p.u. atau nilai 20,69 dalam satuan KV.

Pada Case 2, dengan integrasi 10 MW PLTS, terjadi kenaikan profil tegangan, kenaikan profil tegangan pada titik terendah berada pada bus PLTD PAOKMOTONG BB1 dengan nilai bus voltage 0,967 dalam satuan p.u. atau nilai 19,35 dalam satuan KV, dan peningkatan nilai profil tegangan tertinggi berada pada busbar BAYAN (1) dengan nilai bus voltage 1,037 dalam satuan p.u. atau nilai 20,73 dalam satuan KV.

Berikutnya pada Case 3, dengan integrasi 15 MW PLTS, terjadi kenaikan profil tegangan, kenaikan profil tegangan pada titik terendah berada pada bus PLTD PAOKMOTONG BB1 dengan nilai bus voltage 0,970 dalam satuan p.u. atau nilai 19,38 dalam satuan KV, dan peningkatan nilai profil tegangan tertinggi berada pada busbar BAYAN (1) dengan nilai bus voltage 1,039 dalam satuan p.u. atau nilai 20,75 dalam satuan KV.

Dalam case 4, pengintegrasian 4 PLTS dengan total kapasitas 20 MW maka dapat dilihat profil tegangan meningkat, tegangan terendah berada pada bus PLTD PAOKMOTONG BB1 dengan profil tegangan 0,970 dalam satuan p.u. atau 19,38 dalam satuan kV, dan kenaikan profil tegangan tertinggi berada di bus BAYAN (1) yaitu 1,039 dalam satuan p.u. atau 20,75 dalam satuan Kv.

Profil tegangan pada bus 20 kV yang diperoleh pada keadaan awal (base case) menggunakan pembangkit konvensional seperti PLTD, PLTU, tanpa integrasi PLTS, memberikan hasil report data yang di tampilkan dalam bentuk grafik profil tegangan, profil tegangan bus masih dalam batas tegangan yang normal, tidak berada dalam kondisi under voltage dibawah 0,95 P.u ataupun berada pada kondisi over voltage diatas 1,05 P.u. Begitu juga setelah integtrasi PLTS kedalam sistem kelistrikan lombok, pada setiap case, mulai dari case 1 sampai case 4 profil tegangan menjadi naik, profil tegangan tertinggi pada case 4 di bus BAYAN (1) tetapi masih berada dalam nilai batas tegangan yang normal atau stabil diantara 0,95 hingga 1,05 P.u.

Jadi penambahan level penetrasi daya dari PLTS kedalam sistem kelistrikan lombok menunjukkan pengaruh terhadap profil tegangan seperti yang dapat dilihat di gambar 4.3 dan 4.4, dari awal kondisi base case hingga masuknya PLTS dengan 4 case level penetrasi PLTS, semakin tinggi

level penetrasi dari PLTS akan memberikan dampak kenaikan profil tegangan pada bus. Terbukti bahwa dengan menyambungkan atau pengintegrasian Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) didekat pusat beban dapat membantu meningkatkan profil tegangan. Besarnya level penetrasi daya yang diinjeksikan kedalam sistem juga akan mempengaruhi besarnya kenaikan profil tegangan disetiap titik bus.

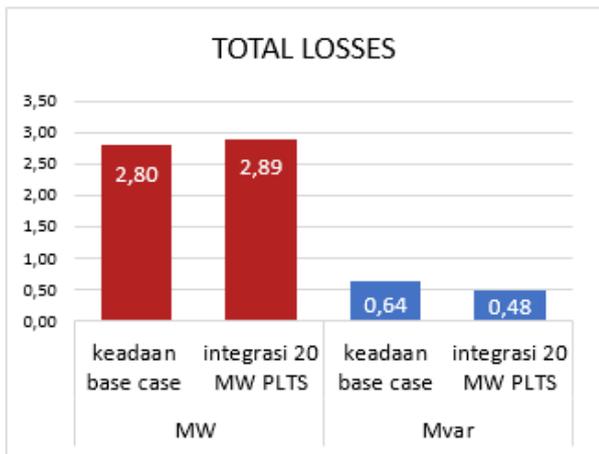
4.4. Rugi-rugi daya (Power losses)

Rugi daya yang timbul disebabkan oleh karena panjangnya saluran transmisi serta impedansi pada saluran. Rugi-rugi daya dari hasil report pada tabel dibawah ini cukup besar, saat keadaan awal (Base case) sebelum penetrasi Photovoltaic atau PLTS total rugi daya yang terjadi adalah 2,80 MW, dan 2, 89 MVar, dari total rugi-rugi daya ini dapat menjelaskan bahwa daya yang disuplai dari pembangkitan memberikan pengaruh terhadap beban yang akan dilayani menjadi kurang maksimal akibat dari losses atau rugi daya pada saluran.

Tabel 1. total rugi-rugi daya sistem Lombok

KONDISI	TOTAL RUGI DAYA	
	MW	MVar
BASE CASE (tanpa integrasi PLTS)	2,80	0,64
INTEGRASI 20 MW PLTS	2,89	0,48

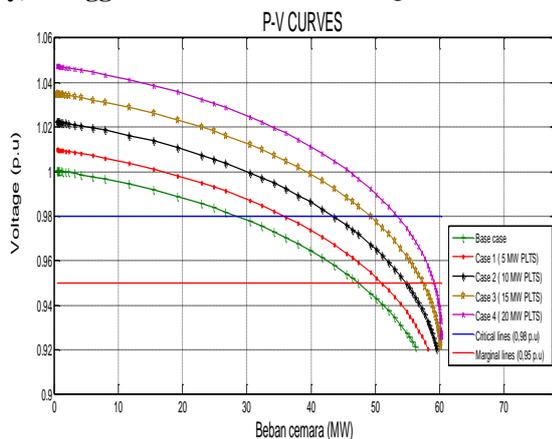
Ketika 4 Pembangkit PLTS dari PLTS Sengkol, PLTS Pringgabaya, PLTS Paokmotong, PLTS Sambelia dengan total kapasitas 20 MW PLTS masuk kedalam sistem dapat dilihat bahwa meskipun losses atau rugi daya nyata (MW) mengalami kenaikan sedikit menjadi 2,89 MW , namun disini rugi daya reaktif mengalami penurunan menjadi 0,48 Mvar. Tegangan berhubungan dengan daya reaktif (MVar) sehingga dengan rugi daya reaktif yang turun akan mempengaruhi kenaikan profil tegangan. Berikut ini adalah diagram bar dari total rugi daya pada saat kondisi sebelum integrasi pembangkit PLTS dan setelah integrasi pembangkit PLTS:



Gambar 8. Bar diagram rugi-rugi daya

Dari hasil analisis terlihat bahwa total rugi daya aktif menjadi sedikit meningkat meskipun begitu pada gambar bar diagram rugi-rugi daya terjadi penurunan rugi daya reaktif yang signifikan, hal ini disebabkan oleh karena integrasi dari pembangkit listrik tenaga surya didekat pusat beban, integrasi PLTS ini membantu dalam menurunkan rugi daya reaktif (Q) yang terjadi. Daya reaktif sangat mudah untuk dibangkitkan oleh generator namun sangat sulit untuk ditransmisikan, sehingga dengan integrasi PLTS didekat pusat beban maka akan membantu memenuhi kebutuhan daya reaktif yang akhirnya integrasi PLTS ini memberikan dampak yang signifikan dalam meningkatkan profil tegangan.

4.5. Analisa kestabilan statis tegangan (static voltage stability) menggunakan kurva P-V dan Q-V



Gambar 9. Grafik kurva P-V

Analisis kestabilan menggunakan kurva P-V, pada Analisa ini dengan melakukan peningkatan pembebanan yang bertujuan untuk analisis batas pembebanan maksimal sampai mana sistem akan mampu menerima pembebanan

dengan analogi peningkatan pembebanan secara linear sehingga pada akhirnya tegangan mencapai voltage collapse. Dari gambar 4.6 dapat dilihat bahwa Base case adalah keadaan normal sebelum adanya integrasi dari PLTS. Case 1 adalah kurva dimana telah diintegrasikan 1 PLTS yaitu PLTS Sengkol dengan kapasitas 5 MW. Kemudian Case 2 adalah kurva dengan integrasi 2 PLTS yaitu PLTS Sengkol kapasitas 5 MW dan PLTS Pringgabaya kapasitas 5MW, sehingga pada Case 2 total kapasitas PLTS menjadi 10 MW. Case 3 adalah kurva dengan integrasi 3 PLTS yaitu PLTS Sengkol kapasitas 5 MW, PLTS Pringgabaya kapasitas 5MW, dan PLTS Paokmotong kapasitas 5MW sehingga pada Case 3 total kapasitas PLTS menjadi 15 MW. Case 4 adalah kurva dengan integrasi 4 PLTS yaitu PLTS Sengkol kapasitas 5 MW, PLTS Pringgabaya kapasitas 5MW, PLTS Paokmotong kapasitas 5MW, dan PLTS Sambelia kapasitas 5 MW sehingga Case 4 dengan total kapasitas PLTS menjadi 20 MW.

K keadaan normal (Base Case) sebelum integrasi PLTS, dari grafik dan Tabel 4.2 dapat dilihat sistem mampu mempertahankan profil tegangan 0,95 p.u pada pembebanan daya aktif (P) sebesar 46,418759 MW, apabila pembebanan daya aktif (P) ditambahkan sedikit melewati nilai pembebanan daya aktif 46,418759 MW maka akan terjadi voltage collapse.

Selanjutnya dengan Case 1 dengan integrasi 1 pembangkitan PLTS kapasitas 5 MW, disini terlihat bahwa sistem mampu untuk menahan profil tegangan di 0,95 p.u yaitu pada kondisi pembebanan daya aktif (P) sampai sebesar 50,170693 MW, setelah melebihi batas pembebanan daya aktif tersebut baru akan terjadi voltage collapse, artinya adalah terjadi peningkatan kemampuan sistem dalam mempertahankan tegangan pada level nominal 0,95 p.u dengan pembebanan daya aktif yang lebih tinggi dibandingkan nilai pembebanan pada keadaan Base Case (pada Case 1 kemampuan sistem menanggung pembebanan daya aktif meningkat sebesar 3,751934 MW dari kondisi base case).

Kemudian pada Case 2, masuknya 2 pembangkitan PLTS kapasitas total 10 MW maka disini terlihat bahwa sistem mampu untuk menahan profil tegangan di 0,95 p.u yaitu pada kondisi pembebanan daya aktif (P) sampai sebesar 53,922631 MW, setelah melebihi batas pembebanan daya aktif tersebut, baru akan terjadi voltage collapse, artinya terjadi peningkatan kemampuan sistem dalam mempertahankan tegangan pada level nominal 0,95 p.u dengan pembebanan daya aktif yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai pembebanan pada keadaan Case 1 (Pada Case 2 ini kemampuan sistem menanggung pembebanan daya aktif meningkat sebesar 3,751934 MW dari kondisi Case 1).

Berikutnya pada Case 3 dengan integrasi atau masuknya 3 PLTS kapasitas total 15 MW, disini terlihat bahwa sistem mampu untuk menahan profil tegangan di 0,95 p.u yaitu pada kondisi pembebanan daya aktif (P) sampai sebesar 57,205574 MW, setelah melebihi batas pembebanan daya aktif tersebut, baru akan terjadi voltage collapse, artinya terjadi peningkatan kemampuan sistem dalam mempertahankan tegangan pada level nominal 0,95 p.u dengan pembebanan daya aktif yang lebih tinggi dibandingkan nilai pembebanan pada keadaan Case 2 (pada Case 3 ini kemampuan sistem menanggung pembebanan daya aktif meningkat sebesar 3,282943 MW dari kondisi Case 2).

Dan pada Case 4 pengintegrasian total 4 PLTS kedalam sistem dengan total kapasitas 20 MW, disini sistem mampu menahan profil tegangan di batas kritis 0,95 p.u dengan peningkatan pembebanan daya aktif (P) hingga sebesar 59,081543 MW, setelah melebihi batas pembebanan daya aktif tersebut, baru akan terjadi voltage collapse, artinya adalah terjadi peningkatan kemampuan sistem dalam mempertahankan tegangan pada level nominal 0,95 p.u dengan pembebanan daya aktif yang lebih tinggi dibandingkan nilai pembebanan pada keadaan Case 3 (pada Case 4 ini kemampuan sistem menanggung pembebanan daya aktif meningkat sebesar 1,875969 MW dari kondisi Case 3).

Apabila tingkat pembebanan pada tiap kondisi operasi mulai dari kondisi awal base case, hingga masuknya injeksi 1 pembangkit PLTS sampai injeksi 4 pembangkit PLTS melebihi nilai pembebanan masing-masing kondisi operasi maka tegangan akan turun melebihi batas tegangan yang diijinkan sehingga sistem dapat dikatakan memiliki tegangan yang tidak stabil.

Tabel 2. Hasil report loadability dari kurva P-V

PV Curves (MW)	Base case (p.u)	Case 1 (p.u)	case 2 (p.u)
0.458	1.000457	1.009844	1.022361
0.458458	1.000455	1.009842	1.022359
0.458916	1.000455	1.009842	1.022359
0.459374	1.000455	1.009842	1.022359
0.46029	1.000455	1.009842	1.022359
0.461206	1.000454	1.009841	1.022358
0.463038	1.000454	1.009841	1.022358
0.46487	1.000453	1.00984	1.022357
0.468534	1.000451	1.009838	1.022355
0.472198	1.00045	1.009837	1.022354

0.479526	1.000446	1.009833	1.02235
0.486854	1.000443	1.00983	1.022347
0.50151	1.000437	1.009824	1.022341
0.516166	1.000431	1.009818	1.022335
0.545478	1.000418	1.009805	1.022322
0.57479	1.000406	1.009793	1.02231
0.633414	1.00038	1.009767	1.022284
0.692038	1.000355	1.009742	1.022259
0.809286	1.000304	1.009691	1.022208
0.926534	1.000253	1.00964	1.022157
1.16103	1.000151	1.009538	1.022055
1.395526	1.000047	1.009434	1.021951
1.864518	0.999836	1.009223	1.02174
2.33351	0.999621	1.009008	1.021525
3.271494	0.999179	1.008566	1.021083
4.209478	0.998721	1.008108	1.020625
6.085446	0.997754	1.007141	1.019658
7.961414	0.996717	1.006104	1.018621
11.713349	0.994427	1.003814	1.016331
15.465285	0.991828	1.001215	1.013732
19.217222	0.988893	0.99828	1.010797
22.969158	0.985586	0.994973	1.00749
24.845125	0.98378	0.993167	1.005684
26.721094	0.981864	0.991251	1.003768
30.47303	0.977671	0.987058	0.999575
32.348997	0.975373	0.98476	0.997277
34.224966	0.972927	0.982314	0.994831
36.100933	0.970319	0.979706	0.992223
37.9769	0.96753	0.976917	0.989434
39.852869	0.964541	0.973928	0.986445
41.728838	0.961326	0.970713	0.98323
43.604807	0.957852	0.967239	0.979756
45.480772	0.954079	0.963466	0.975983
46.418759	0.952063	0.96145	0.973967
47.356741	0.94995	0.959337	0.971854
49.23271	0.94539	0.954777	0.967294
50.170693	0.942916	0.952303	0.96482
51.108675	0.940289	0.949676	0.962193
52.046662	0.937485	0.946872	0.959389
52.984644	0.934475	0.943862	0.956379
53.922631	0.931217	0.940604	0.953121
54.860614	0.927656	0.937043	0.94956
55.329605	0.925737	0.935124	0.947641

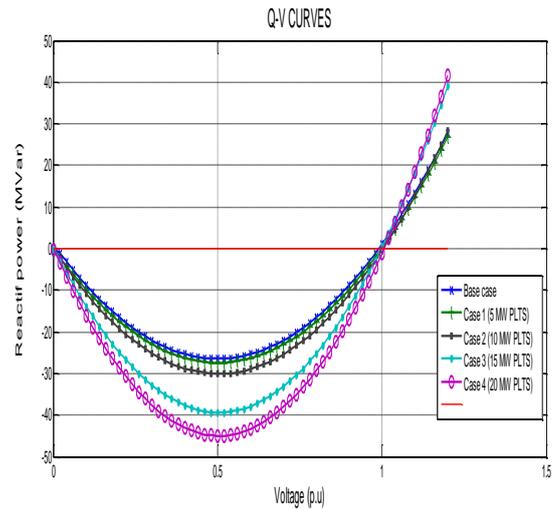
55.798596	0.923709	0.933096	0.945613
56.267587	0.921553	0.93094	0.943457
56.736583	0.919246	0.928633	0.94115
57.205574	0.916758	0.926145	0.938662
57.674565	0.914042	0.923429	0.935946
58.143556	0.911034	0.920421	0.932938
58.378052	0.909389	0.918776	0.931293
58.612547	0.907626	0.917013	0.92953
58.847043	0.905718	0.915105	0.927622
59.081543	0.903623	0.91301	0.925527
59.316039	0.901281	0.910668	0.923185
59.433284	0.899985	0.909372	0.921889
59.550534	0.898581	0.907968	0.920485
59.66778	0.897038	0.906425	0.918942
59.78503	0.895303	0.90469	0.917207
59.843655	0.894339	0.903726	0.916243
59.902275	0.893289	0.902676	0.915193
59.9609	0.892124	0.901511	0.914028
60.019525	0.890796	0.900183	0.9127
60.07815	0.889217	0.898604	0.911121
60.107463	0.88827	0.897657	0.910174
60.136771	0.887143	0.89653	0.909047
60.151429	0.886467	0.895854	0.908371
60.166084	0.885737	0.895124	0.907641
60.166542	0.878734	0.888121	0.900638
60.167001	0.878763	0.88815	0.900667
60.167459	0.878792	0.888179	0.900696
60.167918	0.878821	0.888208	0.900725
60.168831	0.87888	0.888267	0.900784
60.169748	0.878941	0.888328	0.900845
60.171583	0.879064	0.888451	0.900968
60.173413	0.879193	0.88858	0.901097
60.177077	0.87946	0.888847	0.901364
60.180742	0.879764	0.889151	0.901668
60.188071	0.880436	0.889823	0.90234
60.191731	0.881102	0.890489	0.903006
60.193566	0.881666	0.891053	0.90357
60.195396	0.882424	0.891811	0.904328

PV Curves (MW)	case 3 (p.u)	case 4 (p.u)
0.458	1.0348786	1.0473958
0.458458	1.0348766	1.0473938

0.458916	1.0348766	1.0473938
0.459374	1.0348766	1.0473938
0.46029	1.0348766	1.0473938
0.461206	1.0348756	1.0473928
0.463038	1.0348756	1.0473928
0.46487	1.0348746	1.0473918
0.468534	1.0348726	1.0473898
0.472198	1.0348716	1.0473888
0.479526	1.0348676	1.0473848
0.486854	1.0348646	1.0473818
0.50151	1.0348586	1.0473758
0.516166	1.0348526	1.0473698
0.545478	1.0348396	1.0473568
0.57479	1.0348276	1.0473448
0.633414	1.0348016	1.0473188
0.692038	1.0347766	1.0472938
0.809286	1.0347256	1.0472428
0.926534	1.0346746	1.0471918
1.16103	1.0345726	1.0470898
1.395526	1.0344686	1.0469858
1.864518	1.0342576	1.0467748
2.33351	1.0340426	1.0465598
3.271494	1.0336006	1.0461178
4.209478	1.0331426	1.0456598
6.085446	1.0321756	1.0446928
7.961414	1.0311386	1.0436558
11.713349	1.0288486	1.0413658
15.465285	1.0262496	1.0387668
19.217222	1.0233146	1.0358318
22.969158	1.0200076	1.0325248
24.845125	1.0182016	1.0307188
26.721094	1.0162856	1.0288028
30.47303	1.0120926	1.0246098
32.348997	1.0097946	1.0223118
34.224966	1.0073486	1.0198658
36.100933	1.0047406	1.0172578
37.9769	1.0019516	1.0144688
39.852869	0.9989626	1.0114798
41.728838	0.9957476	1.0082648
43.604807	0.9922736	1.0047908
45.480772	0.9885006	1.0010178
46.418759	0.9864846	0.9990018
47.356741	0.9843716	0.9968888

49.23271	0.9798116	0.9923288
50.170693	0.9773376	0.9898548
51.108675	0.9747106	0.9872278
52.046662	0.9719066	0.9844238
52.984644	0.9688966	0.9814138
53.922631	0.9656386	0.9781558
54.860614	0.9620776	0.9745948
55.329605	0.9601586	0.9726758
55.798596	0.9581306	0.9706478
56.267587	0.9559746	0.9684918
56.736583	0.9536676	0.9661848
57.205574	0.9511796	0.9636968
57.674565	0.9484636	0.9609808
58.143556	0.9454556	0.9579728
58.378052	0.9438106	0.9563278
58.612547	0.9420476	0.9545648
58.847043	0.9401396	0.9526568
59.081543	0.9380446	0.9505618
59.316039	0.9357026	0.9482198
59.433284	0.9344066	0.9469238
59.550534	0.9330026	0.9455198
59.66778	0.9314596	0.9439768
59.78503	0.9297246	0.9422418
59.843655	0.9287606	0.9412778
59.902275	0.9277106	0.9402278
59.9609	0.9265456	0.9390628
60.019525	0.9252176	0.9377348
60.07815	0.9236386	0.9361558
60.107463	0.9226916	0.9352088
60.136771	0.9215646	0.9340818
60.151429	0.9208886	0.9334058
60.166084	0.9201586	0.9326758
60.166542	0.9131556	0.9256728
60.167001	0.9131846	0.9257018
60.167459	0.9132136	0.9257308
60.167918	0.9132426	0.9257598
60.168831	0.9133016	0.9258188
60.169748	0.9133626	0.9258798
60.171583	0.9134856	0.9260028
60.173413	0.9136146	0.9261318
60.177077	0.9138816	0.9263988
60.180742	0.9141856	0.9267028
60.188071	0.9148576	0.9273748

60.191731	0.9155236	0.9280408
60.193566	0.9160876	0.9286048
60.195396	0.9168456	0.9293628



Gambar 10. Grafik kurva Q-V

Dari gambar 10. dapat dilihat bahwa Base case adalah keadaan normal sebelum adanya integrasi dari PLTS. Case 1 adalah kurva dimana telah diintegrasikan 1 PLTS yaitu PLTS sengkol dengan kapasitas 5 MW. Kemudian case 2 adalah kurva dengan integrasi 2 PLTS yaitu PLTS sengkol kapasitas 5 MW dan PLTS pringgabaya kapasitas 5MW, sehingga pada case 2 total kapasitas PLTS menjadi 10 MW. Pada case 3 adalah kurva dengan integrasi 3 PLTS yaitu PLTS sengkol kapasitas 5 MW, PLTS pringgabaya kapasitas 5MW, dan PLTS pmtong kapasitas 5MW sehingga pada case 3 total kapasitas PLTS menjadi 15 MW. Case 4 adalah kurva dengan integrasi 4 PLTS yaitu PLTS sengkol kapasitas 5 MW, PLTS pringgabaya kapasitas 5MW, PLTS pmtong kapasitas 5MW, dan PLTS sambelia kapasitas 5 MW sehingga pada case 4 total kapasitas PLTS menjadi 20 MW.

Gambar 4.7, saat keadaan normal (Base Case) tanpa integrasi PLTS, dari grafik dapat dilihat bahwa sistem mampu mempertahankan pembebanan daya reaktif (Q) sebesar -26,030091 Mvar, apabila pembebanan daya reaktif (Q) ditambahkan sedikit melewati nilai pembebanan tersebut maka tegangan akan turun secara drastis.

Selanjutnya dengan integrasi PLTS pada Case 1 kapasitas 5 MW PLTS, kurva warna hijau sistem dapat mempertahankan pembebanan daya reaktif (Q) hingga -27,030091 Mvar dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan Tabel 4.3, setelah melewati batas pembebanan daya reaktif tersebut maka tegangan mengalami penurunan secara drastis, integrasi 5 MW PLTS pada Case 1 ini memperlihatkan bahwa terjadi peningkatan kemampuan sistem dalam

menanggung pembebanan daya reaktif yang meningkat sebesar -0,999999 Mvar dari kondisi Base Case.

Pada Case 2 dengan kapasitas total 10 MW PLTS, pada kurva terlihat sistem dapat mempertahankan pembebanan daya reaktif (Q) hingga -30,0006 Mvar dapat dilihat pada tabel 4.3, setelah melewati batas pembebanan daya reaktif tersebut maka tegangan mengalami penurunan secara drastis, integrasi 10 MW PLTS pada Case 2 ini memperlihatkan bahwa terjadi peningkatan kemampuan sistem dalam menanggung pembebanan daya reaktif yang meningkat sebesar -2,97051 Mvar dari kondisi Case 1.

Di Case 3 dengan kapasitas total 15 MW PLTS, sistem dapat mempertahankan pembebanan daya reaktif (Q) hingga -39,6272 Mvar, setelah melewati batas pembebanan daya reaktif tersebut maka tegangan mengalami penurunan secara drastis, integrasi 5 MW PLTS pada Case 3 ini memperlihatkan bahwa terjadi peningkatan kemampuan sistem dalam menanggung pembebanan daya reaktif yang meningkat sebesar -9,6266 Mvar dari kondisi Case 2.

Dan pada Case 4 dengan pengintegrasian 4 PLTS atau semua total 4 PLTS disistem kelistrikan lombok dengan kapasitas total 20 MW PLTS, sistem dapat mempertahankan pembebanan daya reaktif (Q) hingga -44,6322 Mvar, setelah melewati batas pembebanan daya reaktif tersebut maka tegangan mengalami penurunan secara drastis, pada Case 4 ini memperlihatkan bahwa terjadi peningkatan kemampuan sistem dalam menanggung pembebanan daya reaktif yang meningkat sebesar -5,005 Mvar dari kondisi Case 3.

Dari analisis kurva Q-V, diketahui bahwa semakin rendah (minimum) nilai reaktif power margin maka hal tersebut menunjukkan loadability atau kemampuan sistem dalam menanggung pembebanan daya reaktif (Q) berarti semakin baik juga, sehingga semakin kebawah (minimum) pada kondisi pembebanan daya reaktif yang lebih besar akan meningkatkan kemampuan dari bus untuk mempertahankan profil tegangan pada pembebanan daya reaktif yang lebih besar.

Tabel 3. Hasil report loadability dari kurva Q-V

PV Generator(2) Voltage in p.u.	Base case (Mvar)	case 1 (Mvar)	case 2 (Mvar)
1.2	27.77062	26.77062	28.31527
1.18	24.7082	23.7082	25.01338
1.16	21.73511	20.73511	21.80777
1.14	18.85131	17.85131	18.69843
1.12	16.05677	15.05677	15.68534
1.1	13.35148	12.35148	12.76848
1.08	10.73541	9.735414	9.947839

1.06	8.208536	7.208536	7.223395
1.04	5.770854	4.770854	4.595165
1.02	3.42233	2.42233	2.063118
1	1.162941	0.162941	-0.37276
0.98	-1.00734	-2.00734	-2.71248
0.96	-3.08853	-4.08853	-4.95607
0.94	-5.08067	-6.08067	-7.10352
0.92	-6.98376	-7.98376	-9.15486
0.9	-8.79785	-9.79785	-11.1101
0.88	-10.523	-11.523	-12.9693
0.86	-12.1591	-13.1591	-14.7323
0.84	-13.7064	-14.7064	-16.3994
0.82	-15.1647	-16.1647	-17.9704
0.8	-16.5342	-17.5342	-19.4453
0.78	-17.8148	-18.8148	-20.8243
0.76	-19.0067	-20.0067	-22.1073
0.74	-20.1098	-21.1098	-23.2943
0.72	-21.1241	-22.1241	-24.3853
0.7	-22.0498	-23.0498	-25.3804
0.68	-22.8868	-23.8868	-26.2796
0.66	-23.6351	-24.6351	-27.0829
0.64	-24.2949	-25.2949	-27.7903
0.62	-24.8662	-25.8662	-28.4018
0.6	-25.3489	-26.3489	-28.9174
0.58	-25.7427	-26.7427	-29.3373
0.56	-26.0486	-27.0486	-29.6616
0.54	-26.2661	-27.2661	-29.89
0.52	-26.3953	-27.3953	-30.0226
0.5	-26.4362	-27.4362	-30.0595
0.48	-26.389	-27.389	-30.0006
0.46	-26.2536	-27.2536	-29.8462
0.44	-26.0301	-27.0301	-29.5961
0.42	-25.7186	-26.7186	-29.2503
0.4	-25.3191	-26.3191	-28.8091
0.38	-24.8318	-25.8318	-28.2723
0.36	-24.2567	-25.2567	-27.64
0.34	-23.5939	-24.5939	-26.9124
0.32	-22.8436	-23.8436	-26.0896
0.3	-22.0061	-23.0061	-25.1719
0.28	-21.0818	-22.0818	-24.1595
0.26	-20.0659	-21.0659	-23.0535
0.24	-18.9655	-19.9655	-21.843
0.22	-17.7779	-18.7779	-20.5435

0.2	-16.5032	-17.5032	-19.149
0.18	-15.1417	-16.1417	-17.6597
0.16	-13.6937	-14.6937	-16.0759
0.14	-12.1604	-13.1604	-14.3988
0.12	-10.545	-11.545	-12.6318
0.1	-8.82798	-9.82798	-10.7536
0.08	-7.03422	-8.03422	-8.79135
0.06	-5.15884	-6.15884	-6.73965
0.04	-3.18795	-4.18795	-4.63584
0.02	-1.1616	-2.1616	-2.36584
0	0.104743	-0.13526	-0.09583

0.62	-37.1705	-42.5494
0.6	-37.8568	-43.3081
0.58	-38.4145	-43.9243
0.56	-38.8437	-44.3981
0.54	-39.1445	-44.7301
0.52	-39.3171	-44.9191
0.5	-39.3616	-44.9658
0.48	-39.2783	-44.8701
0.46	-39.0672	-44.6322
0.44	-38.7286	-44.252
0.42	-38.2627	-43.7296
0.4	-37.6699	-43.0651
0.38	-36.9502	-42.2585
0.36	-36.1042	-41.3099
0.34	-35.1321	-40.2194
0.32	-34.0346	-38.9872
0.3	-32.8095	-37.6137
0.28	-31.4607	-36.0996
0.26	-29.9874	-34.4459
0.24	-28.3902	-32.6549
0.22	-26.6695	-30.6945
0.2	-24.8262	-28.611
0.18	-22.8613	-26.3862
0.16	-20.7762	-24.0206
0.14	-18.5691	-21.5157
0.12	-16.245	-18.8768
0.1	-13.8044	-16.1191
0.08	-11.2501	-13.1397
0.06	-8.583	-10.0747
0.04	-5.8102	-6.93224
0.02	-2.9364	-3.5384
0	-0.0626	-0.14456

PV Generator(2)	case 3 (Mvar)	case 4 (Mvar)
Voltage in p.u.		
1.2	39.0788	41.57101
1.18	34.62794	36.66796
1.16	30.30762	31.90814
1.14	26.11776	27.29151
1.12	22.05835	22.81806
1.1	18.12934	18.48775
1.08	14.33069	14.30059
1.06	10.66234	10.25651
1.04	7.124306	6.355543
1.02	3.716511	2.597655
1	0.438916	-1.01718
0.98	-2.70853	-4.48898
0.96	-5.72587	-7.81779
0.94	-8.61314	-11.0036
0.92	-11.3704	-14.0464
0.9	-13.9977	-16.9463
0.88	-16.4951	-19.7033
0.86	-18.8627	-22.3174
0.84	-21.1005	-24.7886
0.82	-23.2086	-27.117
0.8	-25.1871	-29.3025
0.78	-27.0359	-31.3452
0.76	-28.7553	-33.2452
0.74	-30.3452	-35.0024
0.72	-31.8059	-36.6169
0.7	-33.1372	-38.0887
0.68	-34.3395	-39.4178
0.66	-35.4114	-40.6043
0.64	-36.3554	-41.6481

V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian berkaitan dengan judul yang penulis ambil disini mengenai pengaruh integrasi PV terhadap kestabilan statis tegangan pada sistem kelistrikan Lombok, dengan menganalisis pengaruh yang disebabkan oleh injeksi pembangkit PLTS kedalam sistem kelistrikan lombok maka disini penulis mengambil kesimpulan dari hasil analisa yang sudah dilakukan diantaranya :

1. Pada penelitian ini, dari analisis kestabilan statis tegangan menggunakan kurva P-V dengan analogi peningkatan

pembebanan secara linear menunjukkan bahwa: mulai dari keadaan awal Base Case, dan integrasi 1 PLTS kapasitas 5 MW hingga integrasi 4 PLTS kapasitas 20 MW kedalam sistem memberikan dampak pada kemampuan sistem dalam mempertahankan level tegangan pada batas 0,95 p.u yang menjadi lebih baik karena adanya peningkatan kemampuan sistem dalam menanggung pembebanan daya aktif (MW) yang lebih besar akibat integrasi PLTS, semakin besar kapasitas PLTS yang diintegrasikan maka kemampuan sistem dalam mempertahankan pembebanan daya aktif (MW) akan semakin lebih tinggi, seperti pada kondisi Base Case sistem mampu menahan pembebanan daya aktif hanya pada 46.41876 MW, baru kemudian tegangannya collapse. Setelah diintegrasikan PLTS pada case 1 maka kemampuan sistem dalam menanggung pembebanan daya aktif meningkat menjadi 50.17069 MW, artinya ada peningkatan kemampuan sistem untuk mempertahankan kondisi pembebanan yang lebih tinggi dan jika ditambahkan sedikit saja pembebanan yang melebihi batas pembebanan daya aktif (MW) tersebut maka baru akan menyebabkan penurunan tegangan secara drastis atau dikenal dengan voltage collapse.

2. Analisa menggunakan kurva Q-V dapat disimpulkan bahwa dengan pengintegrasian pembangkit PLTS kedalam sistem kelistrikan lombok yang dibandingkan dengan keadaan Base Case hingga integrasi PLTS (Case 1 kapasitas 5 MW PLTS, Case 2 kapasitas total 10 MW PLTS, Case 3 kapasitas total 15 MW PLTS, Case 4 kapasitas total 20 MW) maka diperoleh hasil bahwa: terjadi peningkatan kemampuan dari sistem dalam menanggung pembebanan daya reaktif (MVar) yang lebih tinggi sehingga dapat mempertahankan tegangan, sebelum tegangan turun secara drastis ini dikarenakan akibat dari integrasi PLTS yang bertambah, seperti pada kondisi Base Case sistem mampu menahan pembebanan daya reaktif hanya pada -26.4362 MVar, baru kemudian tegangannya collapse. Setelah diintegrasikan PLTS pada case 1 maka kemampuan sistem dalam menanggung pembebanan daya reaktif meningkat menjadi -27.4362 MVar, artinya terjadi peningkatan kemampuan sistem dalam menanggung pembebanan sebelum tegangan collapse, hal ini terbukti dengan hasil perbandingan grafik kurva Q-V dengan reaktif power margin yang semakin besar menuju titik minimum. Apabila ditambahkan sedikit daya reaktif yang melewati kemampuan sistem menanggung pembebanan daya reaktif tersebut maka akan terjadi penurunan tegangan secara drastis seperti yang bisa dilihat pada gambar 4.7. Nilai reaktif power margin semakin mencapai nilai minimum artinya kemampuan sistem dalam mempertahankan tegangan pada kondisi pembebanan daya

reaktif yang lebih tinggi akan semakin baik atau dikatakan sistem memiliki loadability yang baik.

3. Pengintegrasian PLTS pada bus 150 KV menunjukkan terjadinya kenaikan profil tegangan, dimana saat keadaan awal (Base Case) tanpa integrasi PLTS maka sistem telah mensuplai daya kedalam jaringan, profil tegangan pada titik terendah terdapat pada busbar GI AMPENAN BB1/BB2, dengan nilai bus voltage 0,999 dalam satuan p.u, dan nilai profil tegangan tertinggi berada pada busbar GI TANJUNG dengan nilai bus voltage 1,009 dalam satuan p.u, kemudian setelah pengintegrasian 4 PLTS pada keadaan Case 4 dengan total kapasitas 20 MW menunjukkan terjadi peningkatan profil tegangan, yakni tegangan terendah pada bus GI AMPENAN BB1/BB2 profil tegangan naik menjadi 1,000 dalam satuan p.u., dan kenaikan profil tegangan tertinggi berada di bus GI TANJUNG, profil tegangan naik menjadi 1,014 dalam satuan p.u. Begitu juga di bus 20 KV dengan pengintegrasian PLTS menunjukkan terjadinya kenaikan profil tegangan, dimana saat keadaan awal (Base Case) terdapat profil tegangan pada titik terendah pada busbar PLTD POKMOTONG BB1, dengan nilai bus voltage 0,965 dalam satuan p.u, dan nilai profil tegangan tertinggi berada pada busbar BAYAN (1) dengan nilai bus voltage 1,034 dalam satuan p.u, kemudian setelah pengintegrasian 4 PLTS pada keadaan Case 4 dengan total kapasitas 20 MW menunjukkan terjadi peningkatan profil tegangan, yakni tegangan terendah pada bus PLTD PAOKMOTONG BB1, profil tegangan naik menjadi 0,970 dalam satuan p.u., dan kenaikan profil tegangan tertinggi berada di bus BAYAN (1), profil tegangan naik menjadi 1,039 dalam satuan p.u. Jadi hal ini membuktikan bahwa integrasi PLTS akhirnya memberikan dampak signifikan dalam menaikkan profil tegangan.

Pengintegrasian pembangkit PLTS kedalam sistem meskipun terlihat bahwa rugi daya aktif (MW) naik sedikit, yaitu dari nilai 2,80 MW menjadi 2,89 MW namun disini juga menunjukkan terjadinya penurunan rugi daya reaktif (MVar), yaitu dari nilai 0.64 MVar turun menjadi 0,48 MVar, hal ini dikarenakan integrasi PLTS dekat dengan pusat beban sehingga memberikan dampak rugi daya reaktif (MVar) yang berkurang, tegangan berhubungan dengan daya reaktif sehingga daya reaktif (Mvar) akan mempengaruhi peningkatan profil tegangan.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Setiadi, A. U. Krismanto, and N. Mithulanathan, "Enabling BES in large PV plant for stability enhancement of power systems with high RES," 2017 IEEE Innov. Smart Grid Technol. - Asia Smart Grid Smart Community, ISGT-Asia 2017, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/ISGT-Asia.2017.8378383.
- [2] N. Dhlamini and S. P. Daniel Chowdhury, "Solar Photovoltaic Generation and its Integration Impact on the Existing Power Grid," 2018 IEEE PES/IAS PowerAfrica, PowerAfrica 2018, pp. 710–715, 2018, doi: 10.1109/PowerAfrica.2018.8521003.
- [3] Y. J. Liu, C. Y. Huang, Y. R. Chang, and Y. Der Lee, "Voltage impact mitigation by smart inverter control for PV integration at distribution networks," Proc. 4th IEEE Int. Conf. Appl. Syst. Innov. 2018, ICASI 2018, pp. 192–195, 2018, doi: 10.1109/ICASI.2018.8394565.
- [4] Q. T. Tran, M. Cong Pham, L. Parent, and K. Sousa, "Integration of PV Systems into Grid: From Impact Analysis to Solutions," Proc. - 2018 IEEE Int. Conf. Environ. Electr. Eng. 2018 IEEE Ind. Commer. Power Syst. Eur. IEEEIC/I CPS Eur. 2018, pp. 2–7, 2018, doi: 10.1109/IEEEIC.2018.8494400.
- [5] E. Munkhchuluun and L. Meegahapola, "Impact of the solar photovoltaic (PV) generation on long-term voltage stability of a power network," 2017 IEEE Innov. Smart Grid Technol. - Asia Smart Grid Smart Community, ISGT-Asia 2017, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/ISGT-Asia.2017.8378456.
- [6] Y. SIREGAR, "Penentuan Lokasi Swing Bus Di Jaringan Listrik Sumatera Bagian Utara 150 Kv," Tek. J. Sains dan Teknol., vol. 13, no. 2, p. 123, 2017, doi: 10.36055/tjst.v13i2.4017.
- [7] S. Humena, "Dampak masuknya PLTS Isimu 10 MW terhadap profil tegangan pada sistem kelistrikan 150 KV Gorontalo," p. 2, 2018, doi: Dielektrika, [P-ISSN 2086-9487] [E-ISSN 2579-650x] 125 Vol. 5, No. 2: 125 - 132, Agustus 2018.
- [8] D. dan D. S. K. Arismunandar Artono, "Teknik Tenaga Listrik Jilid II, Pradnya," 1993.
- [9] M. Dewantara, P. Studi, T. Elektro, F. Teknik, and U. M. Surakarta, "Analisis rugi-rugi daya pada saluran transmisi tegangan tinggi 150 kv dari gardu induk wonogiri sampai gardu induk wonosari," TK Electr. Eng. Electron. Nucl. Eng., 2018, [Online]. Available: <http://eprints.ums.ac.id/60172/>.
- [10] K. Prabha, "[Prabha Kundur] Power System Stability and Control.Pdf." p. 1176, 1994.
- [11] J. I. G. Mercado, V. M. R. Ramos, J. H. T. Hernandez, and J. Z. Ayala, "Voltage stability assessment by the modal analysis and the load-flow linear sensitivity techniques," 2018 IEEE Int. Autumn Meet. Power, Electron. Comput. ROPEC 2018, no. Ropec, 2019, doi: 10.1109/ROPEC.2018.8661370.
- [12] K. Loji, I. E. Davidson, and R. Tiako, "Voltage Profile and Power Losses Analysis on a Modified IEEE 9-Bus System with PV Penetration at the Distribution Ends," Proc. - 2019 South. African Univ. Power Eng. Conf. Mechatronics/Pattern Recognit. Assoc. South Africa, SAUPEC/RobMech/PRASA 2019, pp. 703–708, 2019, doi: 10.1109/RoboMech.2019.8704802.
- [13] C. W. Winanti, "Analisis Statis dan Dinamis Stabilitas Tegangan Sistem Tenaga Listrik CNOOC SES Ltd," Dep. Tek. Elektro Fak. Tek. Univ. Indones. Depok, 2011.
- [14] mohammad Hammad and A. Harb, "static analysis for voltage stability of the nothern jordanian power system," static Anal. Volt. Stab. nothern jordanian power Syst., pp. 2–3, 2018.
- [15] F. Ditya and A. U. Krismanto, "Implementasi Statcom Untuk Meningkatkan Kestabilan Tegangan Pada Sistem 150Kv Pt . Pln Sulselbar (Sulawesi Selatan Dan," 2019.
- [16] F. T. Industri, "Penentuan lokasi optimal SVC menggunakan metode Continuation Power Flow (CPF) untuk meningkatkan stabilitas tegangan steady state dengan minimum losses. 2016.
- [17] F. T. Elektro, "Aliran daya optimal dinamis dengan penyimpanan energi mempertimbangkan batas keamanan dan kestabilan tegangan," 2018.
- [18] eka meilia Suryanti, Rosmaliati, and ida bagus fery Citarsa, "Analisis Unjuk Kerja Sistem Fotovoltaik on-Grid Pada," Dielektr. ISSN 2086-9487 Vol. 1, vol. 1, no. 2, pp. 82–95, 2014.

VII. BIODATA PENULIS

- [19] T. T. Gultom, "Pemanfaatan Photovoltaic Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya," *J. Mudira Indure*, vol. 1, no. 3, pp. 33–42, 2015,
- [20] H. E. Patoding and M. Sau, *Buku Ajar Energi Dan Operasi Tenaga Listrik Dengan Aplikasi Etap - Google Books*, I. DEEPUBLISHER (grup penerbitan CV BUDI UTAMA), 2019.
- [21] PT. PLN, "Standar-Standar Tegangan, SPLN 1:1995," *Standar Perusah. List. Negara*, p. 5, 1995.
- [22] D. Rahmat, T. Yang, and M. Esa, "Aturan jaringan sistem tenaga listrik (GRID CODE) menteri energi dan sumber daya mineral republik indonesia, no. 3, 2020.
- [23] Z. Hu, "Static voltage stability analysis under different accident conditions," 2019 4th Int. Conf. Intell. Green Build. Smart Grid, IGBSG 2019, no. 3, pp. 206–209, 2019, doi: 10.1109/IGBSG.2019.8886227.
- [24] B. A. Candra, "analisa pengaruh operasi On-Grid pembangkit terdistribusi terhadap profil tegangan dan rugi-rugi daya pada jaringan distribusi 1."
- [25] H. M. Sultan, A. A. Zaki Diab, O. N. Kuznetsov, Z. M. Ali, and O. Abdalla, "Evaluation of the impact of high penetration levels of PV power plants on the capacity, frequency and voltage stability of Egypt's unified grid," *Energies*, vol. 12, no. 3, 2019, doi: 10.3390/en12030552.
- [26] S. Barik and D. Das, "MDPSO Based Q-PQV bus pair technique-a novel method to maintain the voltage of remotely located buses with renewable DGs," *Asia-Pacific Power Energy Eng. Conf. APPEEC*, vol. 2018-October, pp. 394–399, 2018, doi: 10.1109/APPEEC.2018.8566630.



Alfian Daniel Toding lahir di Kuala Kencana pada tanggal 4 April 1998, Putra dari Bapak Toding Leppa' dan Ibu Yuliana Rante. Penulis adalah putra pertama dari 4 bersaudara. Penulis menempuh sekolah dasar pada tahun 2004 hingga tahun 2010 di SD YPPK Waonaripi Tiga Raja, Timika. Kemudian melanjutkan Pendidikan di SMP YPPK Santo Bernardus Timika pada tahun 2010 hingga tahun 2013. Setelah itu melanjutkan pendidikan di SMA Kristen Barana' Toraja Utara pada tahun 2013 hingga tahun 2016. Pada tahun 2017 penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Institut Teknologi Nasional Malang, Jurusan Teknik Elektro-S1, Peminatan Energi Listrik, selama duduk di bangku kuliah, penulis aktif menjadi salah satu asisten di Laboratorium Sistem Transmisi dan Distribusi Daya Elektrik.