Kajian Interkoneksi PLTM Kumbi 1.300 KW pada Sistem Lombok

Erwin Yusuf¹, Ahmad Deni Mulyadi¹

¹Departemen Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung

email : erwin.yusuf@polban.ac.id, deni_m2001@yahoo.com

Abstrak

Pulau Lombok mempunyai potensi pembangkit listrik tenaga air terutama yang bersekala kecil seperti PLTM. Karena, pulau memiliki gunung Rinjani yang kawasan hutannya masih terawat dengan baik. Salah satunya adalah daerah aliran sungai Kumbi di desa Lebah Sempage, Kecamatan Narmada Kabupaten Lombok Barat. Potensi tenaga listrik yang dapat dihasilkan pada lokasi tersebut sebesar 1.300 kW. Adapun, pembangunan pusat pembangkit dapat dilaksanakan apabila mendapat kepastian bahwa listrik yang diproduksi harus dapat tersalurkan sepenuhnya ke beban. Produksi listrik PLTM Kumbi akan disalurkan melalui Sistem Interkoneksi Lombok. Dimana, sistem interkoneksi tersebut harus mampu menyalurkan tambahan daya yang diproduksi oleh PLTM Kumbi sebesar 1.300 kW. Sehingga diperlukan suatu kajian interkoneksi PLTM Kumbi 1.300 kW ke Sistem Interkoneksi Lombok. Untuk memastikan produksi listrik yang dihasilkan oleh PLTM dapat tersalurkan dengan baik. Kajian interkoneksi tersebut akan menganalisis aliran daya dan short circuit dengan menggunakan simulasi computer. Interkoneksi PLTM ke jaringan disimulasikan pada tahun 2021. Dari hasil simulasi didapatkan bahwa daya yang dihasilkan oleh PLTM dapat tersalurkan dengan baik tanpa perlu mengganti peralatan proteksi yang telah ada pada jaringan.

Kata Kunci: Energi Terbarukan, Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM), Distributed Generator, Aliran Daya, Hubung Singkat.

PENDAHULUAN

Pulau Lombok mempunyai Gunung Rinjani yang kawasan hutannya masih terawat dengan baik dan menghasilkan beberapa aliran sungai dengan debit yang cukup tinggi. Sehingga, pulau Lombok memiliki potensi pembangkit listrik tenaga air bersekala kecil yang melimpah, seperti pembangkit listrik tenaga mini/mikrohidro (PLTM/PLTMH). Salah satunya adalah sungai Kumbi di desa Lebah Sempage, Kecamatan Narmada Kabupaten Lombok Barat. Dengan debit dan head yang ada, potensi tenaga listrik yang dapat dihasilkan pada lokasi tersebut sebesar 1.300 kW. Sehingga pada lokasi tersebut dapat dibangun PLTM dengan kapasitas 1.300 kW. Adapun lokasi tersebut dapat dilihat pada gambar 1 berikut.

PLTM merupakan pembangkit listrik energi terbarukan yang telah menjadi salah satu pilihan dalam memenuhi peningkatan kebutuhan masyarakat terhadap listrik. Dimana tiap tahun semakin bertambah seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dan perkembangan ekonomi penduduk. Pembangkit energi terbarukan biasanya menghasilkan energi listrik dengan kapasitas kecil. Biasanya pembangkit tersebut

akan diinterkoneksi dengan jaringan distribusi (Distributed Generation (DG)) supaya dekat dengan pusat beban.

Gambar 1 Lokasi Intake PLTM Kumbi 1.300 kW

Saat ini, kebutuhan listrik di Pulau Lombok telah dilayani oleh sistem interkoneksi 150 kV. Sistem Interkoneksi Lombok 150 kV ini telah beroperasi sejak 2013 setelah pembangkit listrik Jeranjang unit 3 (1x25 MW) dioperasikan untuk memasok beban Mataram. Sistem ini telah diperluas ke Lombok Timur setelah transmisi 150 kV Jeranjang - Sengkol - Selong - Pringgabaya selesai pada tahun 2014. Sehingga saat ini, sistem interkoneksi 150 kV meliputi gardu induk Ampenan, Jerajang, mantang, Sengkol, Kuta, Pakamontong / Selong dan Pringbaya. Sistem Lombok ini akan terus dikembangkan seperti ditunjukkan pada gambar 2 [1].

Gambar 2 Rencana Pengembangan Sistem Interkoneksi Lombok 2016-2025

Kebutuhan listrik di kecamatan Narmada telah dilayani oleh sistem Lombok melalui GI Ampenan 150/20 kV dan GI Mantang. PLTM 1.300 kW, agar dapat menyalurkan listriknya ke konsumen, akan dinterkoneksi pada jaringan distribusi 20 kV yang di GI Ampenan.

Pembangunan pusat pembangkit dapat dilaksanakan apabila mendapat kepastian bahwa listrik yang diproduksi dapat tersalurkan sepenuhnya ke beban. Selain itu, jaringan distribusi tersebut harus mampu menyalurkan tambahan daya yang diproduksi oleh PLTM Kumbi 1.300 kW. Sehingga diperlukan suatu kajian interkoneksi PLTM Kumbi 1.300 kW ke sistem Lombok. Kajian ini dilakukan untuk memastikan produksi listrik yang dihasilkan oleh PLTM dapat tersalurkan dengan baik.

RUMUSAN MASALAH

Untuk memastikan produksi listrik yang dihasilkan oleh PLTM dapat tersalurkan dengan baik, maka diperlukan kajian interkoneksi PLTM ke jaringan interkoneksi. Dimana, kajian interkoneksi itu terdiri

dari kajian aliran daya dan kajian arus hubung singkat untuk koordinasi peralatan proteksi [2].

Dengan kajian tersebut, beberapa kriteria penyambungan pembangkit listrik baru ke jaringan dapat di analisis. Adapun kriteria tersebut sebagai berikut [3]:

1. Tingkat kualitas layanan sebelum dan sesudah interkoneksi,
2. Perlu tidaknya penambahan kompensator,
3. Penanggulangan Tegangan Gangguan,
4. Rating peralatan yang ada harus dapat melebihi kapasitas arus hubung singkat.

A. Aliran Daya

Perhitungan aliran daya pada dasarnya adalah menghitung besar tegangan dan sudut fasa setiap bus pada kondisi tunak dan dengan beban seimbang. Hasil perhitungan ini dilakukan untuk mengukur daya aktif dan daya reaktif yang mengalir pada jaringan. Besarnya daya aktif dan daya reaktif pada jaringan ditentukan oleh daya yang dibangkitkan pembangkit serta rugi-rugi daya pada jaringan.

Perhitungan aliran daya diperlukan untuk melihat tersalurkannya atau tidak daya yang dibangkitkan oleh PLTM Kumbi dalam sistem tenaga.

Sistem tenaga listrik terdiri dari beberapa bus. Setiap bus dalam sistem tenaga listrik dikelompokkan menjadi 3 tipe bus, yaitu:

- Bus beban (bus PQ), pada bus beban besaran variabel daya aktif dan daya Reaktif telah diketahui, sedangkan besar tegangan dan sudut phasanya dihitung.
- Bus generator (bus P-V), pada bus generator besaran variabel tegangan dan daya aktif telah diketahui, sedangkan sudut fasa tegangan dan daya reaktif dihitung.
- Bus ayun (swing/slack), pada bus ayun besaran variabel tegangan dan sudut phasanya telah diketahui, sudut fasa pada bus referensi menjadi acuan untuk sudut fasa tegangan pada bus yang lain. Konsep bus ayun dalam aliran beban berguna untuk menanggung seluruh rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan.

Ada beberapa metode untuk menyelesaikan perhitungan aliran daya, diantaranya adalah; metode Gauss Seidel, metode Newton Raphson, dan Metode Fast-Decoupled. Adapun untuk menyelesaikan persamaan aliran daya pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode Newton-Raphson [3][5]. Dengan metode Newton-Raphson persamaan aliran

daya dinyatakan bahwa tegangan bus dan admitansi saluran dalam bentuk polar, seperti pada Persamaan (1) dan (2).

$$P_i = V_i^* \sum_{n=1}^n Y_{in} V_n \quad (1)$$

$$Q_i = -Im \left\{ V_i^* \sum_{n=1}^n Y_{in} V_n \right\} \quad (2)$$

dimana P_i adalah besar daya aktif pada bus ke- i ; Q_i adalah besar daya reaktif pada bus ke- i ; V_i^* adalah besar tegangan pada bus ke- i ; V_n adalah besar tegangan pada bus ke- n ; dan Y_{in} adalah besar admitansi antara bus ke- i dan bus ke- n .

Hasil perhitungan daya menggunakan Persamaan (1) dan (2) akan diperoleh nilai $P_1^{(k)}$ dan $Q_1^{(k)}$. Hasil ini digunakan untuk menghitung nilai $\Delta P_1^{(k)}$ dan $\Delta Q_1^{(k)}$ menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta P_1^{(k)} = P_{i \text{ spec}} - P_{i \text{ calc}}^{(k)} \quad (3)$$

$$\Delta Q_1^{(k)} = Q_{i \text{ spec}} - Q_{i \text{ calc}}^{(k)} \quad (4)$$

dimana $P_{i \text{ calc}}^{(k)}$ adalah besar daya aktif perhitungan pada bus ke- i ; $P_{i \text{ spec}}$ adalah besar daya aktif yang diketahui pada bus ke- i ; $Q_{i \text{ calc}}^{(k)}$ adalah besar daya reaktif perhitungan pada bus ke- i ; $Q_{i \text{ spec}}$ besar daya reaktif yang diketahui pada bus ke- i .

Hasil perhitungan Persamaan (3) dan (4) digunakan untuk membentuk matriks Jacobian, persamaan matriks Jacobian dapat dilihat pada Persamaan (5).

$$\begin{bmatrix} \Delta P^{(k)} \\ \Delta Q^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta^{(k)} \\ \Delta |V|^{(k)} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Setelah nilai $\Delta \delta^{(k)}$ dan $\Delta |V|^{(k)}$ didapat, lalu menghitung nilai tersebut untuk iterasi berikutnya, yaitu dengan menambahkan nilai $\Delta \delta_i^{(k)}$ dan $\Delta |V_i|^{(k)}$, sehingga diperoleh persamaan (6) dan (7).

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \quad (6)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \quad (7)$$

Hasil perhitungan Persamaan (6) dan (7). digunakan lagi untuk proses iterasi selanjutnya, yaitu dengan memasukkan nilai ini ke dalam Persamaan (1) dan (2) sebagai langkah awal perhitungan aliran daya. Proses ini dilakukan terus menerus yaitu n -iterasi sampai diperoleh nilai yang konvergen.

B. Arus Hubung Singkat

Kajian arus hubung singkat diperlukan untuk memeriksa atau memilih rating peralatan dan

menentukan pengaturan relay. Hubung singkat sendiri dalam sistem ketenagalistrikan berupa sambungan tidak normal (termasuk arc) dengan impedansi yang relatif rendah, baik disengaja maupun tidak disengaja antara dua titik dengan potensi yang berbeda. Hubung singkat biasanya juga disebut gangguan atau gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat dapat terjadi akibat adanya isolasi yang tembus atau rusak karena tidak tahan terhadap tegangan lebih, baik yang berasal dari dalam maupun yang berasal dari luar (akibat sambaran petir).

Dalam keadaan gangguan hubung singkat, arus yang mengalir pada jaringan melampaui batas arus kerja (arus nominal) dari suatu sistem. Gangguan hubung singkat ini tidak hanya merusak peralatan atau elemen-elemen sirkuit yang dilaluinya, tetapi juga dapat juga menyebabkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terganggu dan dapat menyebabkan tegangan lebih pada tempat-tempat tertentu.

Bila gangguan hubung singkat dibiarkan berlangsung dengan lama pada suatu sistem daya, banyak pengaruh- pengaruh yang tidak diinginkan yang dapat terjadi [6]:

1. Berkurangnya batas-batas kestabilan untuk sistem daya.
2. Rusaknya perlengkapan yang berada dekat dengan gangguan yang disebabkan oleh arus tak seimbang, atau tegangan rendah yang ditimbulkan oleh hubung singkat.
3. Ledakan-ledakan yang mungkin terjadi pada peralatan yang mengandung minyak isolasi sewaktu terjadinya suatu hubung singkat, dan yang mungkin menimbulkan kebakaran sehingga dapat membahayakan orang yang menanganinya dan merusak peralatan – peralatan yang lain.
4. Terpecah-pecahnya keseluruhan daerah pelayanan sistem daya itu oleh suatu rentetan tindakan pengamanan yang diambil oleh sistem – sistem pengamanan yang berbeda – beda; kejadian ini dikenal sebagai “cascading”.

Ada beberapa jenis gangguan hubung singkat atau short circuit pada sistem tenaga listrik, yaitu:

1. Simetri atau seimbang
 - a. Tiga fasa (LLL)
 - b. Tiga fasa ke tanah (LLLG)
2. Tidak simetri atau tidak seimbang
 - a. Satu fasa ke tanah (LG)
 - b. Dua fasa ke tanah (LLG)

c. Antar fasa (LL)

Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Gambar 3 Gangguan Satu Fasa ke Tanah

Pada Gambar 3 diatas menunjukkan rangkaian pengganti akibat dari hubung singkat Satu Fasa ke Tanah sehingga muncul Impedansi gangguan (Z_f)

Persamaan Awal

$$V_{a1} = V_f - I_{a1} \cdot Z_1$$

$$V_{a2} = -I_{a2} \cdot Z_2$$

$$V_{a0} = -I_{a0} \cdot Z_0$$

Persamaan pada saat gangguan fasa ke tanah :

$$I_b = 0$$

$$I_c = 0$$

$$V_a = I_a \cdot Z_f$$

Dari persamaan diatas didapatkan persamaan arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.

$$I_{\text{fault}} = \frac{3V}{(Z_1 + Z_2 + Z_0) + 3Z_f} \quad (10)$$

Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa

Gambar 4 Gangguan Dua Fasa

Pada Gambar 4. diatas menunjukkan rangkaian pengganti akibat dari hubung singkat Dua Fasa sehingga muncul Impedansi gangguan (Z_1).

Persamaan pada kondisi fault yaitu :

$$I_b = 0$$

$$I_b = I_c$$

$$V_b - V_c = I_b \cdot Z_f \quad (11)$$

Dari persamaan diatas diperoleh persamaan arus hubung singkat dua fasa sebagai berikut:

$$I_{\text{fault}} = \frac{-j\sqrt{3} V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \quad (12)$$

Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah

Gambar 5 Gangguan Dua Fasa ke Tanah

Pada

gambar 5 diatas menunjukkan rangkaian pengganti akibat dari hubung singkat Dua Fasa ke Tanah sehingga muncul Impedansi gangguan (Z_1).

$$I_{\text{fault}} = \frac{V_f}{Z_1 + \frac{Z_2(Z_0 + 3Z_f)}{Z_2 + Z_0 + 3Z_f}} \quad (13)$$

Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Gambar 6 Gangguan Tiga Fasa

Pada Gambar 6 diatas menunjukkan rangkaian pengganti akibat dari hubung singkat tiga fasa sehingga muncul Impedansi gangguan (Z_1) pada setiap fasanya. Sehingga persamaan arus gangguan hubung singkatnya yaitu :

$$I_a = I_1 = \frac{V_a}{Z_1 + Z_f}$$

$$I_b = a^2 I_1$$

$$I_c = a I_1$$

STUDI INTERKONEKSI PLTM KUMBI**A. Proyeksi Neraca Energi**

Proyeksi kebutuhan beban dan rencana penambahan kapasitas pembangkit di sistem Lombok periode tahun

2016-2025 terdapat pada neraca daya sesuai Tabel 1 [1].

Selama periode tersebut, direncanakan penambahan pembangkit baru dengan kapasitas total sekitar 730 MW dan reserve margin (RM) cukup tinggi berkisar antara 38% sampai 97%. Kondisi reserve margin 97% terjadi pada tahun 2019 dikarenakan adanya penugasan dari Pemerintah untuk program pembangunan pembangkit 35 GW yang harus diselesaikan pada tahun 2019.

TABEL 1
PROYEKSI NERACA ENERGI PADA SISTEM LOMBOK

PROYEK	Unit	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
KEBUTUHAN											
Produksi Energi	GWh	1,290	1,459	1,623	1,779	1,918	2,067	2,226	2,393	2,562	2,743
Load Factor	%	65	66	67	68	68	69	70	71	71	72
Beban Puncak	MW	225	252	277	300	320	341	364	387	410	434
PASOKAN											
Kapasitas Terpasang	MW	274	222	130	130	100	40	40	40	40	40
Daya Mampu Netto		238	186	125	125	95	35	35	35	35	35
Kapasitas Terpasang PLN		119	119	27	27	27	27	27	27	27	27
IPP		13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
SEWA		142	90	90	90	60	0	0	0	0	0
Retired & Mothballed		0	62	0	0	0	0	0	0	0	0
Tambahan Kapasitas											
SEWA											
PLTU Sewa Lombok					50*)						
PLN ON GOING & COMMITTED											
Lombok (FTP1)	PLTU	50									
Lombok Peaker	PLTGU/MGU			150							
MPP Lombok	PLTG/MG	50									
IPP ON GOING & COMMITTED											
Lombok Timur	PLTU		50								
PLTM Tersebar	PLTM			1	2						
RENCANA TAMBAHAN KAPASITAS											
Lombok (FTP2)	PLTU			50	50						
Lombok 2	PLTU				50	50					
Lombok 3	PLTU									50	50
Lombok (Load Follower)	PLTGU								100		
Sembalun (FTP2)	PLTP									20	
PLTSa Tersebar	PLTSa		1								
PLTBM Tersebar	PLTBM						5				
TOTAL TAMBAHAN KAPASITAS	MW	100	51	201	102	50	5	0	100	70	50
TOTAL KAPASITAS SISTEM	MW	374	373	482	584	604	549	549	649	719	769
TOTAL DAYA MAMPU NETTO	MW	338	336	476	578	598	538	538	638	708	758
RESERVED MARGIN (RM)	%	50	33	72	93	87	58	48	65	73	75

B. Perencanaan Penambahan Pembangkit

Berdasarkan proyeksi neraca energi diatas, sebaiknya interkoneksi PLTM Kumbi dilakukan setelah tahun 2019. Hal ini dilakukan untuk menghindari tidak terserapnya daya yang dihasilkan pada tahun tersebut. Waktu interkoneksi PLTM Kumbi yang paling tepat adalah pada tahun 2021. Dengan asumsi terlambatnya interkoneksi Lombok Peaker 150 MW.

C. Studi Interkoneksi Pembangkit pada Sistem Lombok melalui Jaringan GH Panaraga1

Berdasarkan diagram interkoneksi sistem Lombok seperti yang ditunjukkan pada gambar 7. Saat ini,

kebutuhan beban Narmada dilayani oleh Sistem Interkoneksi Lombok 150 kV melalui GI Ampenan dan GI Mantang. Saat ini GI Ampenan memiliki 2 unit trafo 150/20 kV, trafo 1 dan trafo 2. Adapun Beban Narmada terhubung pada Trafo 2. Selain melayani beban Narmada, trafo 2 juga melayani beban Perumnas, P. Batudawa dan Taman. Pada Trafo 2 ini juga terhubung kepada PLTD Ampenan dan PLTD Taman serta beberapa PLTMH seperti PLTMH Sesaot dan PLTMH Cakra.

Sedangkan beban Narmada dan GI Ampenan dihubungkan oleh GH Panaraga1. GH Panaraga1 ini terhubung pada 2 bus beban, diantaranya beban Panaraga1 dan beban Narmada. Berdasarkan jarak dan ketersediaan jaringan, PLTM Kumbi untuk menyalurkan energi listriknya akan terhubung pada GH Panaraga1. Adapun jarak yang dibutuhkan ke jaringan tie in 20 kV Panaraga sejauh 1km.

Gambar 7 Diagram Sistem Interkoneksi Lombok 150 kV (Sumber: PT PLN (Persero)-Cabang Lombok)

D. Data Peralatan Jaringan Distribusi 20kV Panaraga

Jalur Distribusi

Jalur distribusi terdiri dari kawat 3 (tiga) fasa dengan luas penampang 158mm². Adapun, tinggi tiang dari tanah ke kawat sebesar 14 meter.

Peralatan Proteksi

Berdasarkan hasil survey, data short circuit breaking capacity dan short circuit making circuit peralatan yang terpasang di jaringan 20 kV Panaraga adalah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 dibawah ini.

TABEL 2
DATA PERALATAN PROTEKSI PADA JARINGAN 20 kV PANARAGA

No	Jenis Pemutus	Short Circuit Breaking Capacity	Short Circuit Making Capacity
1	LBS	25 kA	63 kA

No	Jenis Pemutus	Short Circuit Breaking Capacity	Short Circuit Making Capacity
2	PMT	25 kA	63 kA
3	Recloser	12,5 kA	31,5 kA

SIMULASI DAN ANALISIS

A. Analisis Aliran Daya

Analisis aliran daya dilakukan dengan menggunakan simulasi program komputer, diagram alirnya ditampilkan pada gambar 8.

Gambar 8 Diagram Alir Simulasi Studi Aliran Daya Sistem Lombok dengan Masuknya PLTM Kumbi

Simulasi aliran daya ini dilakukan pada proyeksi tahun 2021. Dimana beban puncak pada Sistem Interkoneksi Lombok saat itu sebesar 341MW. Mengingat PLTM sebagai pembangkit terbaru yang dibangun untuk menggantikan peran PLTD. Maka pada simulasi ini ada beberapa PLTD yang tidak

diaktifkan. Terutama beberapa unit dari PLTD Taman dan PLTD Ampenan. Simulasi ini juga mengasumsikan terlambatnya interkoneksi Lombok Peaker 150 MW.

Simulasi aliran daya dilakukan pada dua keadaan. Pertama adalah simulasi aliran daya sebelum PLTM Kumbi masuk ke jaringan interkoneksi. Kedua adalah simulasi aliran daya setelah PLTM Kumbi masuk ke jaringan.

Berdasarkan diagram alir pada gambar 8, maka didapatkan hasil simulasi yang ditampilkan pada gambar 9, Tabel 3 dan Tabel 4.

(a). Sebelum Interkoneksi Kumbi

(b). Setelah Interkoneksi Kumbi

Gambar 9 Simulasi Aliran Daya PLTM Kumbi dengan ETAP

Terlihat pada gambar 9, pada tahun 2021, PLTM Kumbi akan diinterkoneksi pada bus Panaraga1. Dimana, bus tersebut melayani beban Panaraga1 dan beban Narmada.

Berdasarkan hasil survey, bus beban Narmada terdiri dari 2 beban. Pada tahun 2021 beban 1 membutuhkan daya sebesar 3.913 kVA sedangkan beban 2 membutuhkan 2.698 kVA. Kedua beban tersebut dilayani oleh GI Ampenan dan GI Mantang. Dari simulasi yang hasilnya ditunjukkan pada tabel 3. GI Ampenan melalui GH Panaraga1 memenuhi 706 kW daya nyata dan 42 kVAR daya reaktif dan GI Mantang memenuhi 5.688 kW daya nyata dan 745 kVAR daya reaktif.

TABEL 3
ALIRAN DAYA ANTAR BUS GI SEBELUM INTERKONEKSI PLTM KUMBI

Dari	Ke	P (kW)	Q (kVAR)
GI Ampenan	Perumnas	3.969	667
GI Ampenan	P. Batudawa	1.071	226
GI Ampenan	Taman	6.270	1.387

Dari	Ke	P (kW)	Q (kVAR)
GI Ampenan	GH Panaraga1	4.843	719
GI Mantang	Narmada	5.688	745
GH Panaraga1	Panaraga	4.024	544
GH Panaraga1	Narmada	706	42
Kumbi	GH Panaraga1		

Sedangkan pada tabel 4, memperlihatkan aliran daya pada bus beban Narmada pada tahun 2021 setelah interkoneksi PLTM Kumbi. Pada tahun tersebut, kebutuhan beban Narmada dilayani oleh GI Ampenan melalui GH Panaraga1 memenuhi 1.215 kW daya nyata dan 379 kVAR daya reaktif dan GI Mantang memenuhi 5.209 kW daya nyata dan 424 kVAR daya reaktif. Aliran daya dari GI Mantang menjadi berkurang diakibatkan adanya tambahan pasokan dari PLTM Kumbi sebesar 1.295 kW melalui GH Panaraga1. Selain meningkatkan pasokan daya ke beban Narmada, PLTM Kumbi juga dapat meningkatkan pasokan ke beban Panaraga1. Pasokan daya ke beban tersebut 4.024 kW daya nyata 544 kVAR daya reaktif sebelum interkoneksi, menjadi 4.115 kW daya nyata 556 kVAR daya reaktif setelah interkoneksi PLTM Kumbi.

TABEL 4

ALIRAN DAYA ANTAR BUS GI SESUDAH INTERKONEKSI PLTM KUMBI

Dari	Ke	P (kW)	Q (kVAR)
G1 Ampenan	Perumnas	3.998	672
GI Ampenan	P. Batudawa	1.078	228
GI Ampenan	Taman	6.314	1.397
GI Ampenan	GH Panaraga	4.116	93
GI Mantang	Narmada	5.209	424
GH Panaraga1	Panaraga	4.115	556
GH Panaraga1	Narmada	1.215	379
Kumbi	GH Panaraga	1.295	933

Berdasarkan simulasi aliran daya baik sebelum atau setelah interkoneksi PLTM Kumbi, menunjukkan bahwa kualitas tegangan pada pengumpulan JTM Narmada masih dalam batasan kriteria operasi yaitu masih diantara 90% -105% dari tegangan nominal.

TABEL 5

KUALITAS TEGANGAN BUS SEBELUM INTERKONEKSI PLTM KUMBI

Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (%)	Sudut Phasa (derajat)
G1 Ampenan	19.763	98.81	-0.23
Perumnas	18.825	94.13	-3.39
P. Batudawa	19.747	98.74	-0.27
Taman	19.512	97.56	-0.45
GH Panaraga1	19.233	96.16	-1.83
B. Narmada	19.073	95.36	-2.37

Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (%)	Sudut Phasa (derajat)
B. Panaraga1	19.227	96.13	-1.84
Kumbi	19.233	96.16	-1.83

TABEL 6

KUALITAS TEGANGAN BUS SESUDAH INTERKONEKSI PLTM KUMBI

Bus	Tegangan (kV)	Tegangan (%)	Sudut Phasa (derajat)
G1 Ampenan	19.832	99.16	-0.07
Perumnas	18.893	94.46	-3.24
P. Batudawa	19.818	99.09	-0.11
Taman	19.581	97.91	-0.29
GH Panaraga1	19.449	97.24	-1.56
B. Narmada	19.102	95.91	-2.30
B. Panaraga1	19.442	97.21	-1.56
Kumbi	19.474	97.73	-0.42

Sebagaimana yang ditunjukkan oleh tabel 5 dan tabel 6. Nilai tegangan tertinggi setelah interkoneksi PLTM Kumbi seperti yang ditunjukkan pada tabel 6 terjadi pada bus GI Ampenan, sebesar 19.832kV atau 99.16% dari tegangan nominal. Sedangkan nilai tegangan terendah terjadi pada bus beban Narmada sebesar 19.102kV atau 95.91%.

B. Analisis Hubung Singkat

Simulasi hubung singkat dilakukan dengan membuat gangguan (fault) pada beberapa bus yang terhubung pada beban Narmada dan PLTM Kumbi. Pada kajian interkoneksi ini, simulasi gangguan yang dilakukan adalah; gangguan yang terjadi pada Phasa-Netral dan gangguan 3 (tiga) Phasa. Berdasarkan teori gangguan 3 (tiga) phasa akan menghasilkan arus hubung singkat paling tinggi dari jenis gangguan lainnya. Simulasi ini dilakukan dengan membandingkan arus hubung singkat yang diakibatkan oleh gangguan sebelum dan sesudah interkoneksi PLTM Kumbi. Adapun hasil dari simulasi dapat dilihat pada gambar 10 dan tabel 7.

(a). Sebelum Interkoneksi Kumbi (b). Setelah Interkoneksi Kumbi

Gambar 10 Simulasi Hubung Singkat PLTM Kumbi dengan ETAP

Pada gambar 10 dapat dilihat hasil simulasi untuk gangguan Phasa-Netral sebelum dan sesudah interkoneksi PLTM Kumbi. Dari hasil simulasi ini tidak ditemukan perbedaan yang besar arus hubung singkat yang dihasilkan oleh gangguan Phasa-Netral di beberapa bus sebelum dan sesudah interkoneksi PLTM Kumbi. Sebagai contoh, pada bus Panaraga arus hubung singkat gangguan Phasa-Netral yang dihasilkan sebelum interkoneksi sebesar 2,52 kA dan tegangan gangguan sebesar 15,21 kV. Sedangkan, setelah interkoneksi arus hubung singkat gangguan Phasa-Netral yang dihasilkan sebesar 2,56 kA dan tegangan gangguan sebesar 15,27 kV.

TABEL 7
HASIL SIMULASI HUBUNG SINGKAT SEBELUM DAN SESUDAH
INTERKONEKSI PLTM KE JARINGAN

Bus	Arus Hubung Sebelum Interkoneksi PLTM (kA)		Arus Hubung Setelah Interkoneksi PLTM (kA)	
	Fault L-N	Fault 3 ϕ	Fault L-N	Fault 3 ϕ
G1 Ampenan	1.36	16.63	1.36	16.74
Perumnas	0.48	1.56	0.48	1.54
P. Batudawa	1.25	11.64	1.25	11.7
Taman	1.24	8.96	1.24	8.99
GH Panaraga	2.52	4.7	2.56	4.88
B. Narmada	0.854	13.06	0.854	13.11
B. Panaraga	2.51	4.69	2.55	4.87
Kumbi	2.7	4.17	2.76	4.36

Adapun hasil simulasi arus hubung singkat yang dihasilkan oleh gangguan Phasa-Netral dan 3 (tiga) Phasa dapat dilihat pada tabel 7. Dari tabel tersebut, tidak ditemukan arus hubung singkat yang melebihi rating peralatan (Tabel 2) yang terpasang pada bus terdekat dengan PLTM di sistem interkoneksi lombok.

KESIMPULAN

Dari hasil kajian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa interkoneksi PLTM Kumbi yang rencananya akan beroperasi pada tahun 2021 layak untuk dilakukan. Produksi energi yang dihasilkan oleh PLTM Kumbi dapat menambah pasokan dari kebutuhan beban pada Sistem Lombok, terutama beban Narmada. Hal ini, didasarkan pada kajian aliran daya dan hubung singkat yang telah dilakukan. Dari hasil kajian tersebut dapat disimpulkan sebagaimana berikut:

1. Tingkat kualitas layanan sebelum dan sesudah interkoneksi,

Dari hasil simulasi, aliran daya sebelum interkoneksi proyek menunjukkan bahwa tegangan pada bus JTM terdekat ke lokasi PLTM Kumbi (bus Panaraga1) adalah 19.233 kV dan tegangan pada akhir pengumpan bus Narmada JTM adalah 19.073 kV. Sementara itu, setelah masuknya proyek, nilai tegangan JTM terdekat ke lokasi adalah 19.442 kV dan 19.474 kV untuk pengumpan JTM Narmada akhir. Ini menunjukkan bahwa kualitas tegangan pada pengumpan JTM Narmada masih dalam batasan kriteria operasi yaitu masih diantara 90% - 105% dari tegangan nominal.

2. Tidak perlu penambahan kompensator,

Karena tegangan di JTM terdekat dengan lokasi proyek masih dalam batasan kriteria operasi. Kemudian kompensator proyek belum dipersyaratkan.

3. Gangguan hubung singkat tidak menghasilkan tegangan berlebih.

Hasil simulasi, saat terjadi hubung singkat pada bus di JTM terdekat dengan lokasi proyek, tidak ada gejala tegangan gangguan yang berlebih seperti yang ditunjukkan pada gambar 10. Sehingga diperkirakan interkoneksi PLTM tidak akan menyebabkan tegangan gangguan yang berlebih.

4. Rating peralatan yang ada harus dapat melebihi kapasitas arus hubung singkat.

Hasil simulasi rangkaian pendek seperti yang ditunjukkan pada tabel 7, menunjukkan bahwa nilai arus hubung singkat tidak melebihi nilai peralatan yang ada.

REFERENSI

- [1] PT PLN (Persero), Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) 2016 – 2025.
- [2] Khan, Shoaib., Industrial Power Systems, Taylor & Francis Group, LLC, 2008.
- [3] PT PLN (Persero), Pedoman Penyambungan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan ke Sistem Distribusi PLN, Juli 2014.

- [4] Junior, W. S. D., Power System Analysis, New York: McGraw-Hill, Inc, 1984.
- [5] Sadaat, Hadi., Power System Analysis, New York: McGraw-Hill, Inc, 1999.
- [6] Stevenson, William D., Elements Of Power System Analysis McGraw-Hill Series in Electrical Engineering. Power and Energy, 1994.
- [7] Short, Tom., Electric Power Distribution Handbook, CRC Press LLC, Florida, 2004.
- [8] Gano, Rimbo., Pane, Zulkarnaen., Studi Aliran Daya pada Jaringan Distribusi 20kV yang Terinterkoneksi dengan Distributed Generation (Studi Kasus: Penyulang PM.6 GI Pematang Siantar), Singuda Ensikom, Vol.11 No.29/April 2015.
- [9] Suyono, Hadi., Hasanah, Rini Nur., Utomo, Teguh., Letik, Markus D., Analisis Stabilitas Sistem Daya pada Interkoneksi PLTMH Ampelgading di Gardu Induk Turen, Jurnal EECCIS Vol. 6, No. 2, Desember 2012.
- [10] Adhy Kurniawan, 2009. Pedoman Studi Kelayakan Hidrologi, Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.
- [11] Kroposki, B., "DG Power Quality, Protection and Reliability Cas Studies," New York, 2003.
- [12] Budi Pratama, M., Yusuf, Erwin, Studi Aliran Daya PLTU Kaltim 6 pada Sistem Kaseltentimra. Journal of Science Technology and Entrepreneurship, 1 (1), 76-81. 2019.