

OPTIMASI PENYALURAN DAYA PLTM SALIDO KE JARINGAN DISTRIBUSI PLN

Adrianti¹⁾

Refdinal Nazir¹⁾

Fajri Hakim²⁾

- 1) Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Andalas Padang
email: adrianti@ft.unand.ac.id,
- 2) Alumni Jurusan Teknik Elektro Unand, email: fajri.hakim@yahoo.co.id

Abstrak

Pengintegrasian pembangkit tersebar ke jaringan PLN di ujung saluran yang panjang sering menghadapi kendala jatuh tegangan. Tegangan yang jauh dibawah level nominal menyebabkan pembangkit tidak dapat menyalurkan daya ke system. Daya yang dihasilkan dari generator dibatasi oleh batasan arus stator akibat turunnya tegangan generator. Tulisan ini menganalisis metoda yang dapat dilakukan terhadap PLTM Salido, untuk mengatasi permasalahan tegangan terminal generator yang sangat rendah, terutama saat beban puncak, yang menyebabkan pembangkit ini terpaksa dilepas dari sistem. Analisa aliran daya menggunakan software ETAP Power Station digunakan sebagai tool untuk simulasi pencarian skema operasi yang dapat memperbaiki keadaan tersebut. Hasil analisis menunjukkan dengan injeksi daya reaktif dari generator ke jaringan PLN dan optimasi seting governor, PLTM dapat tetap menyuplai daya ke jaringan walaupun saat kondisi beban puncak. Sehingga diperoleh energi yang dapat disuplai PLTM Salido ke jaringan PLN menjadi meningkat.

Kata kunci: daya aktif, daya reaktif; jatuh tegangan, pembangkit tersebar, PLTM

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Pembangkit listrik skala kecil tersebar (*Distributed Generation/DG*) dari sumber energi terbarukan, diharapkan menjadi salah satu solusi krisis energi listrik yang terjadi di Indonesia. Potensi pembangkit skala kecil tersebar dari sumber daya air cukup besar di Sumatera Barat, sekitar 461,1 MW belum dimanfaatkan, baru sekitar 44,3 MW yang sudah dioperasikan [1].

Pembangkit Listrik Tenaga Minihydro (PLTM) Salido adalah salah satu DG yang berada di daerah Pesisir Selatan, Sumatera Barat. PLTM ini memiliki 2 unit generator, masing-masing 400 kVA yang telah beroperasi dan juga telah terhubung ke sistem kelistrikan PLN pada jaringan distribusi saluran 20 KV. PLTM Salido diharapkan dapat membantu

pasokan listrik di daerah Pesisir Selatan yang memang kekurangan suplai daya karena lokasinya yang jauh dari pembangkit-pembangkit besar PLN.

1.2 Permasalahan

PLTM Salido menyuplai daya ke jaringan distribusi 20 KV PLN, dimana jaringan distribusi di daerah ini sudah lama memiliki masalah rendahnya tegangan akibat besarnya *voltage drop* yang terjadi di sepanjang saluran distribusi dan juga kurangnya pasokan daya reaktif yang cukup dekat dengan beban.

Saat sistem distribusi dalam kondisi berbeban ringan, PLTM Salido dapat menyuplai daya listrik ke jaringan PLN. Namun saat kondisi beban berat (biasanya antara jam 17.00 sampai 22.00), tegangan di jaringan distribusi menjadi sangat rendah, sehingga tegangan yang dirasakan oleh terminal generator PLTM Salido juga rendah. Nilai tegangan yang sangat rendah ini berada dibawah nilai tegangan minimal yang dapat ditahan oleh generator. Akibatnya pembangkit dilepaskan dari sistem untuk menjaga keamanan pembangkit. Generator sinkron PLTM Salido mempunyai batas minimal tegangan terminal yaitu 80 % dari tegangan nominal 400 V, atau sebesar 320 V. Sedangkan batasan arus stator maksimal adalah 577 A.

Tidak optimalnya penyaluran daya pada PLTM Salido karena rendahnya tegangan yang membatasi daya output generator tentu sangat merugikan. Terutama pada saat beban puncak, dimana kebutuhan daya listrik sedang tinggi, PLTM justru tidak dapat mengirimkan daya ke jaringan. Sementara PLTM Salido memiliki potensi sumber daya air 3 x 330 kW.^[3]

2. Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian untuk mengatasi permasalahan PLTM Salido dan usulan optimasi adalah dengan melakukan injeksi daya aktif dan reaktif yang divariasikan pada generator menggunakan simulasi aliran daya software ETAP Power Station. Berdasarkan simulasi untuk berbagai kondisi sistem dan daya keluaran PLTM, diharapkan dapat diperoleh kondisi operasi terbaik bagi skema pembangkitan PLTM.

Dari kondisi rendahnya tegangan, serta jauhnya jaringan ini dari pembangkit besar, diperkirakan terjadi kekurangan daya reaktif pada jaringan distribusi tersebut. Kekurangan daya reaktif ini semakin signifikan saat beban berat, karena dengan bertambahnya beban maka

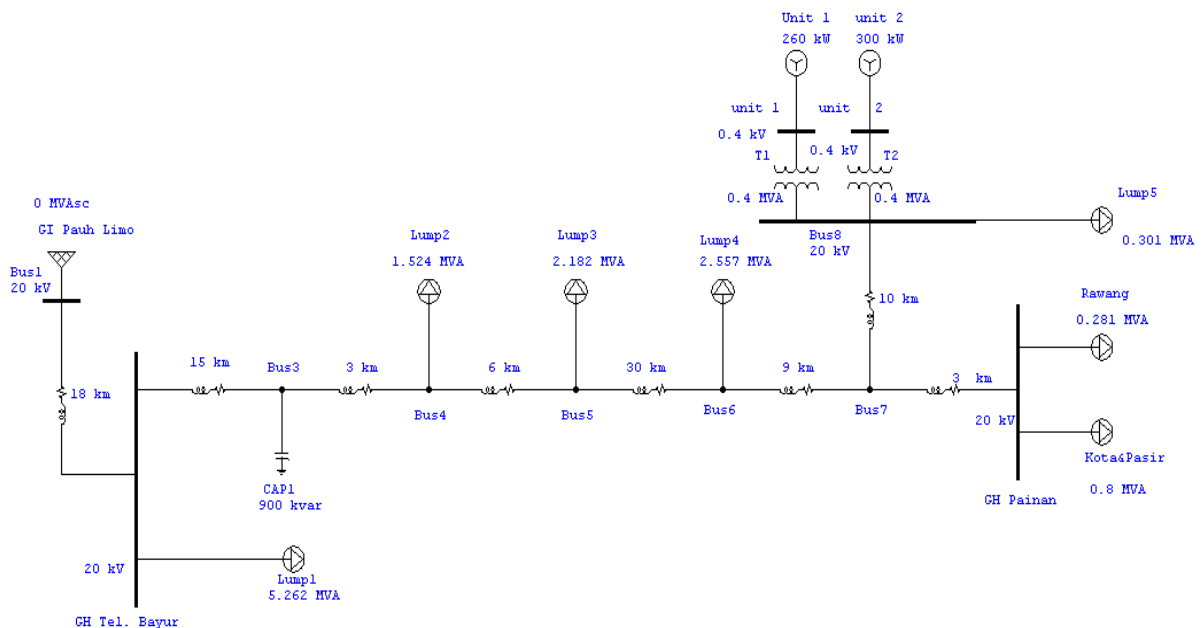
kebutuhan daya reaktif juga akan semakin meningkat. Akibatnya tegangan semakin turun. Saat pengambilan data di PLTM Salido, diketahui bahwa PLTM Salido hanya menyuplai daya aktif ke jaringan PLN, dan tidak menyuplai daya reaktif.

Berdasarkan data kondisi PLTM Salido tersebut, dibangun hipotesa, jika PLTM Salido menyuplai daya reaktif ke jaringan PLN, diharapkan akan memperbaiki tegangan di jaringan PLN dan tentunya juga tegangan di terminal generator PLTM. Berdasarkan hipotesa ini dilakukan serangkaian simulasi skema pembangkitan daya aktif dan daya reaktif yang disuplai PLTM Salido ke jaringan, disamping itu juga pemanfaatan total potensi air yang ada dengan menambah satu unit pembangkit lagi disamping dua unit yang telah ada.

3. Hasil dan pembahasan

3.1 Penyaluran Daya PLTM Salido Kondisi Eksisting

Saat ini terdapat 2 buah generator PLTM Salido yang beroperasi dan terhubung ke saluran 20 kV feeder Bungus. Single line diagram PLTM Salido terhubung ke jaringan PLN seperti ditunjukkan gambar 1.



Sumber: PLN Cab. Padang

Gbr.1 Diagram Satu Garis PLTM Salido Terhubung ke Jaringan PLN

Data kondisi eksisting ini diperlihatkan dari hasil perhitungan aliran daya pada tabel 1 dan tabel 2.

Tabel-1. Hasil Perhitungan Aliran Daya Sistem Distribusi Pesisir Selatan Waktu Beban Ringan

Bus ID	Voltage		Generation		Motor Load		Static Load		Load Flow					XFMR	
	kV	%Mag	Ang	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar	ID	MW	Mvar	Amp	% PF	% Tap
*Bus1	20.000	102.000	0.0	8.227	6.465	0	0	0	0	GH Tel. Bayur	8.227	6.465	296	78.63	
Bus3	20.000	82.651	-7.5	0	0	0	0	0.000	-0.615	Bus4	3.798	2.979	168	78.69	
Bus4	20.000	81.337	-8.1	0	0	0.194	0.120	0.728	0.451	GH Tel. Bayur	-3.798	-2.364	156	84.90	
Bus5	20.000	79.286	-8.8	0	0	0.278	0.172	0.991	0.614	Bus3	-3.764	-2.898	168	79.24	
Bus6	20.000	73.081	-11.0	0	0	0.326	0.202	0.987	0.611	Bus5	2.841	2.326	130	77.38	
Bus7	20.000	72.570	-10.9	0	0	0	0	0	0	Bus4	-2.800	-2.229	130	78.23	
Bus8	20.000	72.629	-10.6	0	0	0.038	0.024	0.115	0.071	Bus6	1.531	1.443	76	72.77	
GH Painan	20.000	72.383	-11.0	0	0	0.138	0.085	0.409	0.254	Bus7	0.147	0.463	19	30.29	
GH Tel. Bayur	20.000	88.444	-4.9	0	0	0.671	0.416	2.974	1.843	Bus5	-1.460	-1.276	76	75.29	
unit 1	0.400	85.909	-8.6	0.260	0.000	0	0	0	0	GH Painan	0.548	0.341	25	84.90	
unit 2	0.400	85.971	-8.2	0.300	0.000	0	0	0	0	Bus6	-0.146	-0.459	19	30.22	
										Bus8	-0.402	0.119	16	-95.92	
										unit 1	0.403	-0.116	16	-96.11	
										unit 2	-0.258	0.009	10	-99.94	-15.000
										unit 2	-0.298	0.012	11	-99.92	-15.000
										Bus7	-0.547	-0.339	25	85.00	
										Bus3	3.946	2.711	156	82.42	
										Bus1	-7.591	-4.970	296	83.66	
										Bus8	0.260	0.000	436	100.00	
										Bus8	0.300	0.000	503	100.00	

* Indicates a voltage regulated bus (voltage controlled or swing type machine connected to it)
Indicates a bus with a load mismatch of more than 0.1 MVA

Tabel-2. Hasil Perhitungan Aliran Daya Sistem Distribusi Pesisir Selatan Waktu Beban Berat

Bus ID	Voltage		Generation		Motor Load		Static Load			
	kV	%Mag	Ang	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar	
*Bus1	20.000	104.000	0.0	11.269	9.794	0	0	0	0	
Bus3	20.000	76.860	-10.0	0	0	0	0	0.000	-0.532	
Bus4	20.000	75.178	-10.7	0	0	0.300	0.186	0.962	0.596	
Bus5	20.000	72.671	-11.7	0	0	0.377	0.234	1.129	0.699	
Bus6	20.000	65.401	-14.5	0	0	0.389	0.241	0.942	0.584	
Bus7	20.000	64.756	-14.5	0	0	0	0	0	0	
Bus8	20.000	64.779	-14.2	0	0	0.049	0.030	0.116	0.072	
GH Painan	20.000	64.528	-14.6	0	0	0.177	0.110	0.417	0.258	
GH Tel. Bayur	20.000	84.622	-6.6	0	0	1.038	0.643	4.212	2.610	
unit 1	0.400	76.714	-11.7	0.260	0.000	0	0	0	0	
unit 2	0.400	76.778	-11.3	0.300	0.000	0	0	0	0	

* Indicates a voltage regulated bus (voltage controlled or swing type machine connected to it)
Indicates a bus with a load mismatch of more than 0.1 MVA

Dari tabel 1 , saat beban ringan, terlihat tegangan terminal unit 1 dan unit 2 PLTM Salido adalah 85,9% atau 344 V yaitu nilai yang dapat diterima oleh generator. Saat beban berat (tabel 2), terlihat tegangan terminal hanya 76,7%, atau 307 V sehingga PLTM harus dilepaskan dari jaringan PLN.

3.2 Optimasi Pembangkitan Daya PLTM Salido 2 unit generator

Generator sinkron yang terhubung ke infinite bus dapat juga mensuplai daya reaktif ke sistem dengan cara menaikkan arus medan. Mengubah-ubah arus medan yang diberikan berarti mengubah faktor daya generator sinkron tersebut. Suatu generator yang *over excited* akan memiliki faktor daya *leading*. Sehingga generator akan mensuplai daya reaktif ke sistem.

Dengan memperbaiki pola pembangkitan, dimana PLTM juga memberikan daya reaktif ke jaringan maka akan diperoleh kondisi seperti yang diperlihatkan pada table 3.

Tabel-3. Hasil Perhitungan Aliran Daya Sistem Distribusi Pesisir Selatan Waktu Beban Berat Dengan PLTM Salido Memberikan Daya Reaktif ke Sistem

Bus ID	Voltage kV	Voltage		Generation		Motor Load		Static Load	
		%Mag.	Ang	MW	Mvar	MW	Mvar	MW	Mvar
*Bus1	20.000	104.000	0.0	11.374	9.508	0	0	0	0
Bus3	20.000	77.592	-10.3	0	0	0	0	0.000	-0.542
Bus4	20.000	75.986	-11.0	0	0	0.300	0.186	0.983	0.609
Bus5	20.000	73.638	-12.1	0	0	0.377	0.234	1.159	0.718
Bus6	20.000	67.228	-15.2	0	0	0.389	0.241	0.995	0.617
Bus7	20.000	66.867	-15.3	0	0	0	0	0	0
Bus8	20.000	67.238	-15.0	0	0	0.049	0.030	0.124	0.077
GH Painan	20.000	66.636	-15.5	0	0	0.177	0.110	0.445	0.276
GH Tel. Bayur	20.000	84.985	-6.8	0	0	1.038	0.643	4.248	2.633
unit 1	0.400	81.357	-12.6	0.293	0.141	0	0	0	0
unit 2	0.400	81.357	-12.6	0.293	0.141	0	0	0	0

Dari tabel 3 terlihat terjadi perbaikan nilai tegangan di terminal generator unit 1 dan unit 2 dari sekitar 76,7% (table 2) menjadi 81,36%. Akibatnya kedua unit generator dapat tetap menyuplai daya ke jaringan, walaupun dalam kondisi beban berat.

3.3 Optimasi Pembangkitan Daya PLTM Salido 3 Unit Generator

Berdasarkan potensi energi air yang ada di PLTM Salido, masih dimungkinkan untuk menambah 1 unit PLTM. Jika unit ke 3 unit juga memberikan daya ke PLN, ada 2 skenario operasi yang mungkin, yaitu :

1. Tiga unit generator yang masing-masing mensuplai daya reaktif ke sistem
2. Pembangkitan Daya Reaktif pada 2 unit generator, 1 unit generator tidak menyuplai daya reaktif

Perbandingan hasil simulasi untuk masing-masing skenario pembangkitan tersebut, dirangkum pada Tabel 4.

Tabel 4 Perbandingan Hasil Aliran Daya untuk Skenario Pembangkitan 3 Unit Generator Kondisi Beban Berat

Skenario	Unit	Suplai MW	Suplai MVAR	V (%)
Skenario 1	1	0,302	0,146	84,288
	2	0,302	0,146	84,288
	3	0,302	0,146	84,288
Total Pembangkitan skenario 1		0,906	0,438	
Skenario 2	1	0,297	0,143	82,94
	2	0,297	0,143	82,94
	3	0,323	0	81,28
Total Pembangkitan skenario 2		0,917	0,286	

Dari table 4 dapat dilihat, pada skenario 1 diperoleh profil tegangan yang lebih yang lebih baik dari pada skenario 2 karena suplai daya reaktif yang lebih besar. Tetapi total daya aktif

yang disuplai ke jaringan pada skenario 1 lebih kecil dari pada skenario 2. Bagi pemilik PLTM skenario 2 akan lebih disukai, karena jumlah daya yang terjual (MW) akan lebih besar. Pembelian daya yang dilakukan oleh PLN dari pembangkit tersebar hanya daya aktif saja (MWh/KWh). Dari sisi PLN sebagai pemilik jaringan, skenario 1 akan lebih disukai karena memberikan perbaikan yang lebih signifikan terhadap kondisi sistem (level tegangan).

3.4 Perhitungan Energi

Energi masing-masing unit generator yang dihasilkan sesuai persamaan:

$$E = P \times t \quad (1)$$

Dimana:

E = Energi listrik dalam kilowatt hour (kWh)

P = Daya listrik dalam kilowatt (kW)

t = waktu dalam jam (H), dihitung 24 jam/hari jika generator beroperasi penuh, dan 19 jam/hari jika generator dilepas pada beban puncak

sedangkan energi total pembangkitan dirumuskan:

$$E_{total} = E_{unit 1} + E_{unit 2} + E_{unit 3} \quad (2)$$

E_{total} = Energi total unit-unit yang beroperasi

Berdasarkan berbagai kondisi pembangkitan PLTM Salido yang sudah dibahas, dihasilkan daya output dan energi per hari yang berbeda untuk masing-masing generator seperti yang diperlihatkan Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Pembangkitan Generator PLTM

Perbandingan	Eksisting		Optimasi 2 Unit beroperasi		3 Unit beroperasi skenario 1			3 Unit beroperasi skenario 2		
	Unit 1	Unit 2	Unit 1	Unit 2	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 1	Unit 2	Unit 3
Daya (kW)	260	300	293	293	302	302	302	297	297	323
Energi (kWh)	4940	5700	7032	7032	7248	7248	7248	7128	7128	7752
Total Energi perhari (MWh)	10,640		14,064		21,852			22,008		

4. Analisa Hasil

Dari tabel 5, energi yang disuplai ke jaringan pada kondisi eksisting, nilainya sangat rendah karena generator tidak beroperasi pada beban puncak (sekitar 5 jam). Setelah dilakukan optimasi yaitu dengan membuat generator menghasilkan daya reaktif dan optimasi seting governor, energi yang dapat disuplai meningkat karena tidak terjadi lagi pelepasan pembangkit dari jaringan. Peningkatan energi yang disuplai PLTM semakin besar saat unit pembangkit bertambah menjadi 3 unit.

Peningkatan energi yang dapat disuplai pembangkit ke jaringan untuk optimasi 2 unit disebabkan suplai daya reaktif dari PLTM mampu sedikit memenuhi kebutuhan daya reaktif sistem sehingga dapat memperbaiki tegangan sistem. Akibatnya tegangan terminal generator juga membaik.

5. Kesimpulan & Saran

Optimasi yang dilakukan terhadap PLTM Salido dapat meningkatkan energi yang dikirim pembangkit tersebut ke jaringan distribusi Pesisir Selatan. Nilainya sebesar 14,06 MWh perhari, dibandingkan sebelum optimasi sebesar 10,64 MWh perhari. Pemanfaatan semua potensi air yang ada dengan penambahan 1 unit pembangkit lagi, dapat meningkatkan lebih lanjut suplai energi dari PLTM salido sampai 22 MWh per hari.

6. Daftar Pustaka

1. <http://www.alpensteel.com/article/50-104-energi-sungai-pltmh--micro-hydro-power/1920--pltmh-dan-plts-menjadi-sumber-listrik-pedesaan.pdf>
2. Nazir, Refdinal & Ahmad Topan. “*Analisis Manfaat Teknis Pengintegrasian PLTM Tersebar Pada Sistem Distribusi*”. Padang: Department of Electrical Engineering Faculty Andalas University
3. Winter Rainer and Ramaness Parasuraman.2008.”*Validation Report Salido Kecil Mini Hydropower Plant, Indonesia*” TÜV NORD CERT GmbH JI/CDM Certification Program Langemarckstrasse 20 45141 Essen, Germany