

Efek Beroperasinya Kabel Laut Bali–Nusa Lembongan Terhadap Sistem Kelistrikan Tiga Nusa

Yohanes Made Arie Prawira, Ida Ayu Dwi Giriantari, I Wayan Sukerayasa
Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana
Denpasar, Bali
prawira79@gmail.com, dayu.giriantari@unud.ac.id, sukerayasa@unud.ac.id

Abstrak—Sistem kelistrikan kawasan Tiga Nusa yang awalnya dioperasikan secara *isolated*, kini telah mendapatkan sumber suplai baru dari pulau Bali melalui kabel laut Bali–Nusa Lembongan. Dengan beroperasinya kabel laut, akan berpengaruh terhadap aliran daya, besar susut energi, dan tingkat keamanan suplai.

Analisis diawali dengan melakukan peramalan beban hingga tahun 2033 menggunakan metode *time series*. Selanjutnya nilai *load factor* dan *loss factor* sistem kelistrikan Tiga Nusa dihitung, untuk digunakan dalam perhitungan susut energi. Analisis tingkat keamanan suplai akan menggunakan 3 skenario dengan penerapan kondisi *n-1*.

Dari hasil analisis, diperoleh: besar susut energi tahunan sistem kelistrikan Tiga Nusa sebelum beroperasinya kabel laut ialah sebesar 201,48 MWh. Dengan mengoperasikan 2 line kabel laut Bali-Nusa Lembongan mengakibatkan susut energi sebesar 297,84 MWh, selanjutnya dengan mengoperasikan 1 line kabel laut mengakibatkan susut energi sebesar 407,34 MWh. Hasil analisis tingkat keamanan suplai sistem kelistrikan Tiga Nusa dengan beroperasinya kabel laut akan tetap aman hingga tahun 2033.

Kata kunci—Kabel Laut; Aliran Daya; Susut Energi; Tingkat Keamanan Suplai

I. PENDAHULUAN

Provinsi Bali dengan ibukota Denpasar terletak antara 803°40”-850°48” LS dan antara 11425°53”- 11542°40” BT dengan luas wilayah keseluruhan 5.636,66 km², yang terdiri atas beberapa pulau yaitu Pulau Bali, Nusa Penida, Nusa Ceningan, Nusa Lembongan, Pulau Serangan dan Pulau Menjangan.

Kawasan Tiga Nusa (Nusa Lembongan, Nusa Penida, dan Nusa Ceningan) termasuk bagian dari Kabupaten Klungkung. Kawasan Tiga Nusa memiliki luas dua per tiga dari wilayah Kabupaten Klungkung yaitu sekitar 202,84 Km² dengan jumlah penduduk 46.749 jiwa yang terdiri dari 8.543 KK. [7]

Sistem kelistrikan kawasan Tiga Nusa awalnya dioperasikan secara *isolated*. Sistem kelistrikan di kawasan ini dipasok oleh pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD), pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), dan pembangkit listrik tenaga Bayu (PLTB). Keberadaan pembangkit di

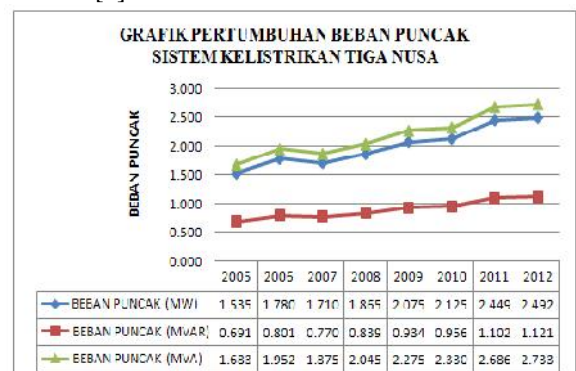
kawasan Tiga Nusa ini memiliki daya mampu sebesar 4.866 kW dengan beban puncak 2.492 kW. [5]. Selain biaya pokok produksi energi listrik yang mahal, kendala yang sering dihadapi sistem kelistrikan di kawasan ini ialah beroperasinya PLT Bayu tidak dapat beroperasi secara konstan dan maksimal karena sangat tergantung pada arah dan kecepatan angin.

Guna meningkatkan suplai daya listrik dan menurunkan biaya pokok produksi, PLN telah berhasil menambahkan suplai daya listrik baru, berupa 2 line kabel laut 20 kV Bali-Nusa Lembongan. Suplai kabel laut berasal dari GI Gianyar dengan *landing point* pulau Bali berada di GH Pering, dan *landing point* Nusa Lembongan berada di GH Jungut Batu. Dengan tambahan suplai daya yang berasal dari Pulau Bali ini, diharapkan dapat membantu melayani kebutuhan daya kawasan Tiga Nusa.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Gambaran Umum Sistem Kelistrikan Tiga Nusa

Sistem kelistrikan Tiga Nusa memiliki kapasitas pembangkitan dengan daya mampu sebesar 4,278 MW dan beban puncak pada tahun 2012 tercatat sebesar 2,492 MW. Pertumbuhan beban di kawasan ini memiliki persentase pertumbuhan rata-rata sebesar 7,4 % dari tahun 2005 hingga tahun 2012. [6]



Gambar 1. Grafik Pertumbuhan Beban Puncak Sistem Kelistrikan Tiga Nusa

Setelah beroperasinya kabel laut Bali-Nusa Lembongan, sumber pembangkitan energi listrik yang utamanya ditopang oleh PLTD Kutampi, akan diganti dengan pasokan energi dari Bali (GI Gianyar) melalui kabel laut *line 1* dan *line 2*.

Untuk kabel laut Bali-Nusa Lembongan, kabel laut yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut [4]:

Tipe kabel : XLPE 3 inti + *fiber optic*
Diameter : 240 mm²
Konduktor : Tembaga (Cu)
Daya Mampu : 13 MW x 2

B. Studi Aliran Daya

Studi aliran daya (*load flow*) biasanya dilakukan untuk mengevaluasi kondisi sistem kelistrikan yang sudah ada (*existing*) dan pada masa yang akan datang. Hal tersebut dapat dikaitkan dengan adanya penambahan beban baru, penambahan pembangkit baru, hubungan interkoneksi dengan sistem daya lain, dan hubungan jaringan transmisi baru. Tujuan diadakannya studi aliran daya ialah untuk mengetahui tegangan, arus, daya aktif atau daya reaktif di berbagai titik/bus pada jaringan listrik pada kondisi operasi normal [3].

Dengan kata lain studi aliran daya sangat penting dilakukan untuk menganalisis kelayakan operasi suatu sistem dalam keadaan *existing* bila dibandingkan dengan keadaan/ perencanaan sistem untuk masa yang akan datang.

C. Metode Newton-Raphson

Metode Newton-Raphson merupakan salah satu metode yang sering digunakan dalam studi analisis aliran daya. Dalam metode ini diasumsikan tegangan awal yang digunakan dalam menghitung selisih daya (*power mismatch*) S , yaitu: [2]

$$\Delta S = S_{ij-i}^{sch} - (V_i^{[k]})^* (\sum Y_{ij} V_j^k) \quad (1)$$

Untuk menetapkan kriteria konvergensi yang dinyatakan dengan $S \leq \epsilon$, dengan epsilon memiliki toleransi spesifik atau indeks akurasi, sebuah matriks diperoleh dari invers matriks Jacobian dari persamaan daya input:

$$P_i = |V_i| \sum |Y_{ij}| |V_j| \cos(\theta_i - \psi_{ij} - \theta_{ij}) \quad (2)$$

$$Q_i = |V_i| \sum |Y_{ij}| |V_j| \sin(\theta_i - \psi_{ij} - \theta_{ij}) \quad (3)$$

keterangan:

θ_i adalah sudut antara V_i dan V_j .

ψ_{ij} adalah sudut admitansi

Persamaan ini mengikuti perhitungan dari formula matriks Jacobian, yang diberikan oleh persamaan berikut:

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial P}{\partial V} & \frac{\partial P}{\partial \theta} \\ \frac{\partial Q}{\partial V} & \frac{\partial Q}{\partial \theta} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Yang mengantarkan untuk solusi koreksi error tegangan V

$$V^{(k+1)} = J(V^k)^{-1} \Delta S^{(k)} \quad (5)$$

Daya kompleks S , dapat dijabarkan dalam bentuk kutub atau bujur sangkar

$$|\Delta V| = (\Delta e + \Delta f) \quad (6)$$

$$V = |\Delta V| \angle \theta_v \quad (7)$$

$$S = P + \Delta Q \quad (8)$$

Sekali lagi, metode ini cocok digunakan untuk menganalisis suatu sistem yang besar. Selain itu, metode ini tidak akan berjalan dengan baik apabila matriks Jacobian singular, atau jika sistem sedang dalam kondisi gangguan, dengan ratio distribusi X/R rendah.

D. Susut Energi

Perhitungan susut energi dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Susut energi} = R_{BP} \times F_{LS} \times 8760 \quad (9)$$

Keterangan:

R_{BP} = Rugi daya pada saat beban puncak

F_{LS} = Loss Factor

8760 = Jumlah jam dari periode 1 tahun

Dari persamaan di atas terdapat nilai *Loss Factor*. Untuk menentukan besar nilai *Loss Factor*, diawali dengan menentukan nilai *Load Factor* yang dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut:

$$F_{LD} = \frac{\text{beban rata-rata}}{\text{beban puncak}} \quad (10)$$

Sehingga

$$F_{LS} = 0.15 F_{LD} + (1 - 0.15) F_{LD}^2 \quad (11)$$

Keterangan:

F_{LD} = Load Factor

F_{LS} = Loss Factor

E. Keamanan Suplai Tenaga Listrik

Keamanan suplai tenaga listrik didefinisikan sebagai kemampuan sistem tenaga listrik untuk menyediakan tenaga listrik sampai pada pengguna akhir (konsumen) dengan level kontinuitas dan kualitas tertentu secara berkelanjutan.

Untuk tugas akhir ini, yang dibahas adalah mengenai kecukupan sistem. Penilaian kecukupan sistem dilakukan dengan menggunakan pengertian kontingensi N-1. Kontingensi N-1 ialah kondisi pada saat salah satu penyedia tenaga listrik terbesar dikeluarkan dari sistem. Sistem dikatakan aman apabila cadangan daya minimum dalam kondisi N-1 lebih besar dari nol.

Dalam menganalisis tingkat keamanan suplai tenaga listrik, hal utama yang harus diketahui ialah kapasitas suplai total, daya mampu dari tiap-tiap pembangkit, dan peramalan beban puncak yang dimiliki oleh suatu sistem kelistrikan.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam analisis hasil penelitian ini adalah dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Mengumpulkan data *single line diagram* sistem kelistrikan Tiga Nusa, spesifikasi kabel laut Bali-Nusa

- Lembongan, kapasitas tiap-tiap pembangkit yang ada di Tiga Nusa, jenis dan panjang penghantar, impedansi saluran, data transformator, dan data beban
- Melakukan peramalan beban puncak sistem kelistrikan Tiga Nusa untuk mengetahui beban puncak tahun 2013-2033 pada sistem kelistrikan Tiga Nusa, yang akan dilakukan dengan menggunakan metode *time series*.
 - Melakukan analisis aliran daya.
Analisis aliran daya diperoleh dengan menggunakan metode *Newton Raphson* untuk mengetahui besarnya susut daya dan drop tegangan yang terjadi pada tiap titik/bus pada sistem kelistrikan Tiga Nusa untuk kondisi sebelum dan sesudah beroperasinya kabel laut. Sehingga dapat diketahui dimana lokasi dengan susut daya dan drop tegangan yang tidak sesuai dengan standar PLN. Selanjutnya dapat dianalisis faktor-faktor penyebab terjadinya perubahan susut daya dan drop tegangan yang terjadi pada sistem Kelistrikan Tiga Nusa.
 - Melakukan perhitungan susut energi.
Perhitungan susut energi diawali dengan menghitung *load factor* dan *loss factor* yang didapat berdasarkan perhitungan dari data sampel beban harian (16-22 Desember 2012).
 - Perhitungan dan analisis tingkat keamanan suplai sistem kelistrikan Tiga Nusa yang akan dilakukan dengan tiga (3) skenario dengan penerapan kondisi n-1 yang melibatkan sumber pembangkitan energi listrik yang menyuplai sistem kelistrikan Tiga Nusa.
 - Penyusunan laporan dari hasil analisis dan perhitungan yang didapat.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A Analisis Aliran Daya

Analisis aliran daya yang dilakukan pada sistem kelistrikan Tiga Nusa bertujuan untuk mengetahui persentase susut daya dan drop tegangan yang terjadi akibat adanya suplai daya baru berupa kabel laut.

Untuk persamaan susut daya dapat diuraikan sebagai berikut [1]:

$$\text{susut} = \frac{P_{\text{ujung kirim}} - P_{\text{ujung terima}}}{P_{\text{ujung kirim}}} \times 100\% \quad (12)$$

1) Susut Daya

Dengan bantuan *software* ETAP 5.03, maka diperoleh besar pembangkitan dan losses yang dihasilkan, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2, gambar 3, dan gambar 4.

<u>SUMMARY OF TOTAL GENERATION, LOADING & DEMAND</u>				
	MW	Mvar	MVA	% PF
Source (Swing Buses):	1,785	1,235	2,170	82,24 Lagging
Source (Non-Swing Buses):	0,000	0,000	0,000	100,00 Lagging
Total Demand:	1,785	1,235	2,170	82,24 Lagging
Total Motor Load:	1,739	1,079	2,045	84,98 Lagging
Total Static Load:	0,000	0,000		
Apparent Losses:	0,046	0,156		
System Mismatch:	0,000	0,000		
Number of iterations: 2				

Gambar 2. *Output Report Manager ETAP* (sebelum beroperasinya kabel laut)

Dari gambar diatas dapat diketahui:

Total losses jaringan : 0,046 MW

Sumber/ pembangkitan : 1,785 MW

Maka:

$$\% \text{ Susut daya} = \frac{0,046 \text{ MW}}{1,785} \times 100\%$$

$$\% \text{ Susut daya} = 2,57 \%$$

<u>SUMMARY OF TOTAL GENERATION, LOADING & DEMAND</u>				
	MW	Mvar	MVA	% PF
Source (Swing Buses):	1,807	-1,193	2,165	83,46 Leading
Source (Non-Swing Buses):	0,000	0,000	0,000	100,00 Lagging
Total Demand:	1,807	-1,193	2,165	83,46 Leading
Total Motor Load:	1,739	1,079	2,046	84,98 Lagging
Total Static Load:	0,000	0,000		
Apparent Losses:	0,068	-2,272		
System Mismatch:	0,000	0,000		
Number of iterations: 2				

Gambar 3. *Output Report Manager ETAP* (pengoperasian 2 line kabel laut)

Dari gambar diatas dapat diketahui:

Total losses jaringan : 0,068 MW

Sumber/ pembangkitan : 1,807 MW

Maka:

$$\% \text{ Susut daya} = \frac{0,068 \text{ MW}}{1,807} \times 100\%$$

$$\% \text{ Susut daya} = 3,76 \%$$

<u>SUMMARY OF TOTAL GENERATION, LOADING & DEMAND</u>				
	MW	Mvar	MVA	% PF
Source (Swing Buses):	1,832	-1,173	2,175	84,23 Leading
Source (Non-Swing Buses):	0,000	0,000	0,000	100,00 Lagging
Total Demand:	1,832	-1,173	2,175	84,23 Leading
Total Motor Load:	1,739	1,079	2,046	84,98 Lagging
Total Static Load:	0,000	0,000		
Apparent Losses:	0,093	-2,251		
System Mismatch:	0,000	0,000		
Number of iterations: 3				

Gambar 4. *Output Report Manager ETAP* (pengoperasian 1 line kabel laut)

Dari gambar diatas dapat diketahui:

Total losses jaringan : 0,093 MW

Sumber/ pembangkitan : 1,832 MW

Maka:

$$\% \text{ Susut daya} = \frac{0,093 \text{ MW}}{1,832} \times 100\%$$

$$\% \text{ Susut daya} = 5,07 \%$$

2) Drop Tegangan

Dalam analisis drop tegangan sistem kelistrikan Tiga Nusa ditemukan bahwa: setelah beroperasinya kabel laut, drop tegangan kawasan Nusa Lembongan dan Nusa Ceningan yang awalnya memiliki drop tegangan yang cukup tinggi, akan mengalami perbaikan tegangan. Hal tersebut disebabkan karena sumber suplai energi listrik menjadi lebih dekat, namun untuk kawasan Nusa Penida akan mengalami peningkatan drop tegangan.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat seperti yang ditunjukkan pada tabel I di bawah ini.

TABEL I. DROP TEGANGAN SEBELUM DAN SETELAH BEROPERASINYA KABEL LAUT

KONDISI OPERASI	Lokasi	RATING	TEGANGAN BUS	DROP (%)
SEBELUM KABEL LAUT	NP0042 (Nusa Penida)	20 kV	19,427	2,86 %
	NP0066 (Nusa Penida)	20 kV	19,425	2,87 %
	JB0016 (N. Lembongan)	20 kV	19,108	4,46 %
	JB0003 (N. Lembongan)	20 kV	19,089	4,55 %
2 LINE KABEL LAUT	NP0042 (Nusa Penida)	20 kV	19,326	3,37 %
	NP0066 (Nusa Penida)	20 kV	19,324	3,38 %
	JB0016 (N. Lembongan)	20 kV	19,723	1,39 %
	JB0003 (N. Lembongan)	20 kV	19,768	1,17 %
1 LINE KABEL LAUT	NP0042 (Nusa Penida)	20 kV	19,059	4,71 %
	NP0066 (Nusa Penida)	20 kV	19,057	4,72 %
	JB0016 (N. Lembongan)	20 kV	19,462	2,69 %
	JB0003 (N. Lembongan)	20 kV	19,507	2,47 %

B. Perhitungan Susut Energi

Dalam melakukan perhitungan susut energi, perhitungan *load factor* dan *loss factor* sangat penting dilakukan. Untuk itu perlu diketahui besar beban puncak dan beban rata-rata yang dimiliki. Dengan menggunakan data sampel beban pada tanggal 16-22 Desember 2012, maka diperoleh data beban puncak dan beban rata-rata sistem kelistrikan Tiga Nusa seperti yang ditunjukkan pada tabel II di bawah ini.

TABEL II. BEBAN PUNCAK DAN BEBAN RATA-RATA TIGA NUSA (16-22 DESEMBER 2012)

Tanggal	Beban Puncak (kW)	Beban Rata-rata (kW)
16-12-2013	2413	1627,83
17-12-2013	2485	1586,63
18-12-2013	2370	1666,71
19-12-2013	2411	1646,79
20-12-2013	2473	1704,71

21-12-2013	2492	1674,75
22-12-2013	2414	1761,50

1) Perhitungan load factor dan loss factor

Untuk menentukan load factor dan Loss Factor dapat dicari menggunakan persamaan-persamaan berikut:

$$F_{LD} = \frac{\text{beban rata rata}}{\text{beban puncak}}$$

$$F_{LS} = 0.15 F_{LD} + (1 - 0.15) F_{LD}^2$$

Keterangan:

F_{LD} = Load Factor

F_{LS} = Loss Factor

Sehingga besar nilai load factor dan loss faktor dapat dilihat dalam tabel III di bawah ini:

TABEL III. NILAI LOAD FACTOR DAN LOSS FACTOR SISTEM KELISTRIKAN TIGA NUSA.

Tanggal	Load Factor	Loss Factor
16-12-2013	0,67	0,49
17-12-2013	0,64	0,44
18-12-2013	0,70	0,53
19-12-2013	0,67	0,49
20-12-2013	0,69	0,51
21-12-2013	0,67	0,48
22-12-2013	0,73	0,56
RATA-RATA	0,68	0,50

2) Analisis susut energi tahunan

Perhitungan susut energi dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Susut energi} = R_{BP} \times F_{LS} \times 8760$$

Diketahui:

$$R_{BP} \text{ sebelum K.L} = 46 \text{ kW}$$

$$R_{BP} \text{ 2 line K.L} = 68 \text{ kW}$$

$$R_{BP} \text{ 1 line K.L} = 93 \text{ kW}$$

$$F_{LS} = 0,50$$

$$\text{BPP PLTD} = \text{Rp } 3.062,65 / \text{kWh}$$

$$\text{BPP Jawa-Bali} = \text{Rp } 1.250 / \text{kWh}$$

Sehingga perhitungan yang diperoleh ialah sebagai berikut:

- Susut energi sebelum beroperasinya kabel laut:

$$\text{Susut energi} = 46 \times 0,50 \times 8760$$

$$= 201.480 \text{ kWh}$$

Total kerugian akibat susut energi

$$\text{Biaya} = 201.480 \times 3.062,65$$

$$= \text{Rp } 617.062.722$$

- Susut energi dengan pengoperasian 2 line kabel laut

$$\text{Susut energi} = 68 \times 0,50 \times 8760$$

$$= 297.840 \text{ kWh}$$

Total kerugian akibat susut energi

$$\text{Biaya} = 297.840 \times 1.250$$

= Rp 372.300.000

- Susut energi dengan pengoperasian 1 line kabel laut
 $\text{Susut energi} = 93 \times 0,50 \times 8760$
 $= 407.340 \text{ kWh}$
 Total kerugian akibat susut energi
 $\text{Biaya} = 407.340 \times 1.250$
 $= \text{Rp } 509.175.000$

Dari perhitungan di atas, dapat diketahui bahwa susut energi yang terjadi setelah beroperasinya kabel laut lebih besar bila dibandingkan dengan kondisi sebelum beroperasinya kabel laut.

Namun bila ditinjau dari sisi ekonomis, biaya yang terbuang akibat terjadinya susut energi akan menjadi lebih murah, yang diakibatkan karena biaya pokok produksi dengan suplai kabel laut memiliki harga yang lebih murah dibandingkan dengan biaya pokok produksi PLTD Kutampi.

C. Analisis Tingkat Keamanan Suplai

Analisis keamanan suplai pada sistem kelistrikan Tiga Nusa dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem kelistrikan Tiga Nusa dalam memenuhi beban yang terus mengalami peningkatan setiap tahunnya. Sistem kelistrikan Tiga Nusa dapat dikatakan aman apabila sistem tersebut dapat mempertahankan kontinuitas penyaluran daya sehingga seluruh beban dalam sistem kelistrikan Tiga Nusa dapat terlayani.

Untuk menganalisis tingkat keamanan suplai sistem kelistrikan Tiga Nusa akan dilakukan dalam 3 (tiga) skenario. Skenario 1 ialah pada kondisi sebelum beroperasinya kabel laut, skenario 2 ialah untuk kondisi setelah beroperasinya kabel laut, dan skenario 3 ialah diasumsikan hanya 1 line kabel laut yang beroperasi.

Dalam pembuatan skenario keamanan suplai, pembangkitan energi listrik di Tiga Nusa akan ditopang oleh PLTD sewa, PLTD Kutampi, PLTB Nusa Penida, dan Kabel Laut Bali-Nusa Lembongan. Khusus untuk PLTD sewa akan berhenti beroperasi pada tahun 2015. Hal tersebut diakibatkan karena telah berakhirnya kontrak PLTD sewa. Dan untuk kabel laut *line* 1 diasumsikan akan mulai beroperasi pada tahun 2014.

1) Keamanan suplai sistem kelistrikan Tiga Nusa sebelum beroperasinya kabel laut

Untuk analisis tingkat keamanan suplai sistem kelistrikan Tiga Nusa sebelum beroperasinya kabel laut, dapat dilihat dalam tabel IV di bawah ini:

TABEL IV. KEAMANAN SUPLAI SISTEM KELISTRIKAN TIGA NUSA SKENARIO 1

Tahun	Beban Puncak (MW)	Kondisi N-1 (MW)	Cadangan Daya (MW)	Keterangan
	1	2	(3)=(2)-(1)	
2013	2,73	1,72	-1,01	Tidak Aman
2014	3,00	1,72	-1,28	Tidak Aman
2015	3,29	0,24	-3,05	Tidak Aman
2016	3,61	0,24	-3,37	Tidak Aman

2017	3,96	0,24	-3,72	Tidak Aman
2018	4,33	0,24	-4,09	Tidak Aman
2019	4,73	0,24	-4,49	Tidak Aman
2020	5,16	0,24	-4,92	Tidak Aman
2021	5,61	0,24	-5,37	Tidak Aman
2022	6,09	0,24	-5,85	Tidak Aman
2023	6,60	0,24	-6,36	Tidak Aman
2024	7,13	0,24	-6,89	Tidak Aman
2025	7,69	0,24	-7,45	Tidak Aman
2026	8,27	0,24	-8,03	Tidak Aman
2027	8,89	0,24	-8,65	Tidak Aman
2028	9,52	0,24	-9,28	Tidak Aman
2029	10,19	0,24	-9,95	Tidak Aman
2030	10,88	0,24	-10,64	Tidak Aman
2031	11,59	0,24	-11,35	Tidak Aman
2032	12,34	0,24	-12,10	Tidak Aman
2033	13,11	0,24	-12,87	Tidak Aman

Dari tabel IV dapat dilihat bahwa dengan penerapan kondisi n-1 (PLTD sewa dikeluarkan dari sistem), cadangan daya yang dimiliki sistem kelistrikan Tiga Nusa sudah dapat digolongkan tidak aman.

Dengan kata lain sistem kelistrikan Tiga Nusa sudah seharusnya memiliki sumber suplai energi baru untuk menghindari terjadinya krisis energi di kawasan Tiga Nusa.

2) Keamanan suplai sistem kelistrikan Tiga Nusa setelah beroperasinya kabel laut

Analisis tingkat keamanan suplai sistem kelistrikan Tiga Nusa untuk kondisi setelah beroperasinya kabel laut Bali-Nusa Lembongan dilihat dalam tabel V.

TABEL V. KEAMANAN SUPLAI SISTEM KELISTRIKAN TIGA NUSA SKENARIO 2

Tahun	Beban Puncak (MW)	Kondisi N-1 (MW)	Cadangan Daya (MW)	Keterangan
	1	2	(3)=(2)-(1)	
2013	2,73	4,22	1,49	Aman
2014	3,00	17,22	14,22	Aman
2015	3,29	14,72	11,43	Aman
2016	3,61	14,72	11,11	Aman
2017	3,96	14,72	10,76	Aman
2018	4,33	14,72	10,39	Aman
2019	4,73	14,72	9,99	Aman
2020	5,16	14,72	9,56	Aman
2021	5,61	14,72	9,11	Aman
2022	6,09	14,72	8,63	Aman
2023	6,60	14,72	8,12	Aman
2024	7,13	14,72	7,59	Aman
2025	7,69	14,72	7,03	Aman
2026	8,27	14,72	6,45	Aman
2027	8,89	14,72	5,83	Aman
2028	9,52	14,72	5,20	Aman
2029	10,19	14,72	4,53	Aman
2030	10,88	14,72	3,84	Aman

2031	11,59	14,72	3,13	Aman
2032	12,34	14,72	2,38	Aman
2033	13,11	14,72	1,61	Aman

Dari tabel V dapat dilihat bahwa dengan penerapan kondisi n-1 (Kabel laut line 2 dikeluarkan dari sistem), cadangan daya yang dimiliki sistem kelistrikan Tiga Nusa masih berada dalam kondisi aman.

Dengan kata lain sistem kelistrikan Tiga Nusa akan memiliki suplai energi yang cukup hingga tahun 2033 dengan dapat beroperasinya kabel laut line 1 dan line 2.

3) Keamanan suplai sistem kelistrikan Tiga Nusa pengoperasian 1 line kabel laut

Analisis tingkat keamanan suplai sistem kelistrikan Tiga Nusa dengan asumsi hanya 1 line kabel laut yang akan beroperasi, dapat dilihat dalam tabel VI.

TABEL VI. KEAMANAN SUPLAI SISTEM KELISTRIKAN TIGA NUSA SKENARIO 3

Tahun	Beban Puncak (MW)	Kondisi N-1 (MW)	Cadangan Daya (MW)	Keterangan
	1	2	(3)=(2)-(1)	
2013	2,73	4,22	1,49	Aman
2014	3,00	4,22	1,22	Aman
2015	3,29	1,72	-1,57	Tidak Aman
2016	3,61	1,72	-1,89	Tidak Aman
2017	3,96	1,72	-2,24	Tidak Aman
2018	4,33	1,72	-2,61	Tidak Aman
2019	4,73	1,72	-3,01	Tidak Aman
2020	5,16	1,72	-3,44	Tidak Aman
2021	5,61	1,72	-3,89	Tidak Aman
2022	6,09	1,72	-4,37	Tidak Aman
2023	6,60	1,72	-4,88	Tidak Aman
2024	7,13	1,72	-5,41	Tidak Aman
2025	7,69	1,72	-5,97	Tidak Aman
2026	8,27	1,72	-6,55	Tidak Aman
2027	8,89	1,72	-7,17	Tidak Aman
2028	9,52	1,72	-7,80	Tidak Aman
2029	10,19	1,72	-8,47	Tidak Aman
2030	10,88	1,72	-9,16	Tidak Aman
2031	11,59	1,72	-9,87	Tidak Aman
2032	12,34	1,72	-10,62	Tidak Aman
2033	13,11	1,72	-11,39	Tidak Aman

Dari tabel VI dapat dilihat bahwa dengan penerapan kondisi n-1 (Kabel laut line 2 dikeluarkan dari sistem), cadangan daya yang dimiliki sistem kelistrikan Tiga Nusa berada dalam kondisi tidak aman mulai tahun 2015.

Hal ini menandakan bahwa, kabel laut line 1 sudah harus mulai beroperasi paling lambat pada akhir tahun 2014, agar tingkat keamanan suplai sistem kelistrikan Tiga Nusa tetap dapat digolongkan aman.

V. KESIMPULAN

A. Simpulan

Dari hasil pembahasan dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat ditarik simpulan sebagai berikut:

1. Besar susut daya yang terjadi sebelum beroperasinya kabel laut sebesar 2,57 %, dan mengalami peningkatan setelah beroperasinya kabel laut menjadi 3,76 % jika mengoperasikan 2 line kabel laut, dan 5,07 % jika mengoperasikan 1 line kabel laut. Dan dari analisis drop tegangan, dapat diketahui bahwa setelah beroperasinya kabel laut, drop tegangan kawasan Nusa Lembongan dan Nusa Ceningan akan mengalami perbaikan tegangan yang disebabkan karena sumber suplai energi listrik menjadi lebih dekat, namun untuk kawasan Nusa Penida akan mengalami peningkatan drop tegangan.
2. Besarnya susut energi yang terjadi setelah beroperasinya kabel laut lebih besar bila dibandingkan dengan kondisi sebelum beroperasinya kabel laut. Namun bila ditinjau dari sisi ekonomis, biaya yang terbuang akibat terjadinya susut energi akan menjadi lebih murah diakibatkan perbedaan biaya pokok produksi antara PLTD Kutampi dan suplai kabel laut.
3. Namun suplai untuk kawasan Tiga Nusa akan sangat tergantung dari suplai kabel laut Bali-Nusa Lembongan. Sehingga jika suplai dari Bali terputus, maka akan terjadi krisis energi listrik untuk kawasan Tiga Nusa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Daniel Rohi, dkk. Vol II, No.1 Juni 2008, Jurnal EECIS. Aplikasi Pendekatan Aliran Daya untuk Estimasi Rugi Rugi Energi Sistem Distribusi Radial 20 kV.
- [2] Momoh, James A. Electric Power Distribution, Automation, Protection, and Control. Taylor and Francis Group, CRC Press. 2007: 44-45
- [3] Stevenson, William., D. Analisis Sistem Tenaga Listrik. Edisi Keempat. Jakarta : Erlangga. 1994
- [4] _____. _____. Pembangunan Sistem Interkoneksi Kabel Laut 20 KV Bali-Nusa Lembongan. Shanghai: Fujikura Shanghai Cable LTD
- [5] _____. Pembangkit Tiga Nusa. Klungkung: PT. PLN (Persero) Area Bali Timur. 2013
- [6] _____. Beban Puncak Penyulang Bali Timur 2005 s.d. 2012. Klungkung: PT. PLN (Persero) Area Bali Timur
- [7] <http://www.klungkungkab.go.id/index.php/profil/15/Kondisi-Geografis> , diakses tanggal 19 Maret 2013