

SIMULASI PENYESUAIAN BEBAN PADA TRANSFORMATOR DI GARDU INDUK NUSA DUA

I Made Eko Adi Setiawan¹, I Wayan Rinas², I Wayan Arta Wijaya³

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Email: ekoadi@student.unud.ac.id¹, rinas@unud.ac.id², artawijaya@ee.unud.ac.id³

Abstrak

Pembangunan yang pesat di wilayah Kuta Selatan mengakibatkan peningkatan kebutuhan energi listrik yang harus disuplai oleh Gardu Induk 150 kV Nusa Dua. Peningkatan jumlah beban mengakibatkan bertambahnya beban yang harus ditanggung transformator. Untuk mencegah kerugian yang terjadi karena kelebihan beban, dilakukan simulasi penyesuaian beban pada transformator di Gardu Induk Nusa Dua. Simulasi aliran daya dilakukan dengan menggunakan *software* ETAP dengan subjek beban transformator tenaga beserta beban penyulang-penyulangnya. Tujuan dilakukan simulasi untuk mengetahui kondisi pembebanan dan rugi daya sistem Gardu Induk Nusa Dua. Selanjutnya dirancang skenario penyesuaian beban transformator, kemudian disimulasikan kembali dengan *software* ETAP untuk mengetahui perubahan kondisi pembebanan dan besar rugi daya pada sistem Gardu Induk Nusa Dua. Hasil simulasi pada kondisi eksisting dengan operasi normal, beban transformator 1 sebesar 69,8% dan transformator 3 sebesar 71,8% dengan rugi daya total sebesar 14,1%. Setelah dilakukan 3 skenario perencanaan penyesuaian beban transformator, skenario 2 merupakan skenario terbaik dalam waktu jangka pendek dengan pembebanan pada transformator 1 sebesar 50,4%, transformator 2 sebesar 45,9%, dan transformator 3 sebesar 45,1% dengan rugi daya total sebesar 9,16%. Untuk waktu jangka panjang, skenario 3 direkomendasikan dengan penambahan satu unit transformator baru. Pembebanan transformator 1 sebesar 50,9%, transformator 2 sebesar 45,9%, dan transformator 3 sebesar 45,1% dengan rugi daya total sebesar 9,24%.

Kata Kunci: Simulasi Aliran Daya, Beban Transformator, Penyesuaian Beban, Rugi Daya.

Abstract

The rapid development in the South Kuta region has resulted in an increase in the demand for electricity energy that must be supplied by the 150 kV Nusa Dua substation. An increase in the amount of load results in an increase in the load that must be borne by the transformer. To prevent losses due to overload, a load adjustment simulation is performed on the transformer at the Nusa Dua Substation. Load flow simulation is done using ETAP software with the subject of the power transformer load along with the load-feeders. The purpose of the simulation is to know the loading conditions and power loss of the Nusa Dua substation system. Furthermore, the transformer load adjustment scenario is designed, then simulated again with ETAP software to determine changes in the loading conditions and the power loss in the Nusa Dua substation system. Simulation results in existing condition with normal operation, transformer 1 load is 69,8% and transformer 3 is 71,8% with a total power loss of 14,1%. After 3 planning scenarios for transformer load adjustment, scenario 2 is the best scenario in short term with the loading on transformer 1 is 50,4%, transformer 2 is 45,9%, and transformer 3 is 45,1% with total power loss of 9,16%. While for the long term, scenario 3 is recommended by adding a new transformer unit. Transformer 1 loading is 50,9%, transformer 2 is 45,9%, and transformer 3 is 45,1% with a total power loss of 9,24%.

Keywords: Load flow Simulation, Transformer Load, Load Adjustment, Losses

I. PENDAHULUAN

Pembangunan yang pesat disegala bidang merupakan faktor utama yang mempengaruhi peningkatan kebutuhan energi listrik setiap tahunnya. Agar peningkatan kebutuhan energi listrik sebanding dengan pertumbuhan pembangkit, maka diperlukan

perencanaan sistem sehingga ketersediaan sumber tenaga listrik yang kontinyu dan andal dapat terwujud [1].

Realisasi penjualan tenaga listrik selama lima tahun terakhir dari tahun 2013-2017 untuk Provinsi Bali tumbuh rata-rata sebesar 7,9% [2]. Data ini menunjukkan kenaikan pelanggan unruk wilayah Provinsi Bali mengalami peningkatan dan terus meningkat setiap

tahunnya yang mengakibatkan kebutuhan akan energi listrik juga meningkat.

Meningkatnya jumlah pelanggan otomatis dibarengi dengan meningkatnya jumlah beban yang harus ditanggung oleh sumber. Peningkatan beban secara kontinyu dan dibiarkan dalam waktu yang lama menyebabkan fenomena beban lebih (*overload*) pada sumber yang menyebabkan kerugian.

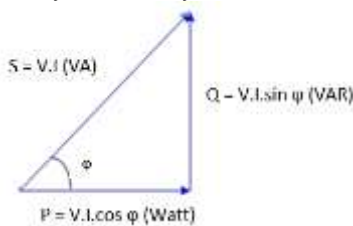
Gardu Induk 150 kV Nusa Dua terletak di jalan By Pass Ngurah Rai, Nusa Dua. Gardu Induk ini mensuplai energi listrik untuk 32 penyulang yang berada di wilayah Kuta Selatan yang merupakan wilayah pariwisata. Pembangunan yang pesat di wilayah Kuta Selatan menyebabkan meningkatnya kebutuhan energi listrik yang harus disuplai oleh Gardu Induk 150 kV Nusa Dua.

Pada penelitian ini dilakukan simulasi optimalisasi penyesuaian beban pada transformator di Gardu Induk Nusa Dua dengan menggunakan *software* ETAP.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Segitiga Daya

Segitiga daya merupakan grafik hubungan yang terbentuk oleh tiga jenis daya listrik yang digambarkan sebagai segitiga siku-siku, yang secara vektor adalah penjumlahan daya aktif dan daya reaktif. Adapun sebagai hasilnya ialah daya semu atau daya buta [3].



Gambar 1. Segitiga Daya [3]

Sesuai dengan hubungan segitiga daya diatas, hubungan antara daya reaktif, daya semu dan daya nyata dapat diekspresikan ke dalam sebuah persamaan pitagoras berikut ini:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots \dots \dots (1)$$

Dengan keterangan:

- S = Daya Semu (VA)
- P = Daya Nyata (Watt)
- Q = Daya Reaktif (VAR)

B. Transformator

Transformator adalah alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui suatu gandengan magnet berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet [4]. Penggunaan transformator memungkinkan dipilihnya tegangan yang sesuai untuk berbagai keperluan, misalnya keperluan akan tegangan tinggi dalam pengiriman energi listrik jarak jauh. Daya

transformator bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi dirumuskan sebagai berikut:

$$S = \sqrt{3}V.I \dots \dots \dots (2)$$

Dengan keterangan:

- V = Tegangan (Volt)
- I = Arus (Ampere)

Sehingga untuk menghitung arus beban penuh (I_{FL}) pada sisi primer (I_P) dan sisi sekunder (I_S) dapat menggunakan rumus:

$$I_P = \frac{S}{V_P \sqrt{3}} \dots \dots \dots (3)$$

$$I_S = I_{FL} = \frac{S}{V_S \sqrt{3}} \dots \dots \dots (4)$$

Sementara untuk perhitungan persentase pembebanan transformator dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\% \text{Pembanaan} = \frac{I_{\text{terukur}}}{I_{FL}} \dots \dots \dots (5)$$

C. Rugi-Rugi Transformator

Arus yang mengalir pada kumparan akan menimbulkan rugi-rugi tembaga. Sedangkan fluks pada inti akan menimbulkan rugi-rugi arus eddy dan rugi-rugi histerisis, kedua rugi-rugi ini disebut rugi-rugi inti. Semua rugi-rugi ini akan menimbulkan suhu yang tinggi pada isolasi transformator. Untuk rugi-rugi transformator dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\cos \phi = \frac{P}{S} \dots \dots \dots (6)$$

$$P_p = S_p \times \cos \phi \dots \dots \dots (7)$$

$$\text{Losses} = P_s - P_p \dots \dots \dots (8)$$

Dengan keterangan:

- $\cos \phi$ = Faktor Daya
- P_p = Daya Nyata yang Dipakai (Watt)
- S_p = Daya Semu yang Dipakai (VA)
- P_s = Daya Nyata yang Disalurkan (Watt)

Dari data rugi-rugi yang telah diketahui daya semunya, maka persentase total rugi-rugi dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\% \text{Losses} = \frac{\Delta S}{S_{\text{Kirim}}} \times 100\% \dots \dots \dots (9)$$

D. Software ETAP

ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*) adalah *software* yang berfungsi untuk menganalisis sistem tenaga listrik yang menampilkan secara GUI (*Graphical User Interface*). Berbagai macam analisa tenaga listrik dapat dilakukan dengan menggunakan *software* ETAP diantaranya, seperti analisa lairan daya dan analisa hubung singkat.

III. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Gardu Induk 150 kV Nusa Dua yang berlokasi di Jalan By Pass Ngurah Rai, Nusa Dua. Penelitian dilakukan dengan membuat pemodelan sistem aliran daya sistem eksisting untuk disimulasikan dengan *software* ETAP, hasil simulasi kemudian dianalisis dan dilakukan perhitungan pembebanan dan rugi daya untuk dibandingkan dengan hasil simulasi. Setelah mengetahui kondisi sistem eksisting, selanjutnya menyusun solusi berupa perencanaan dan pemodelan skenario penyesuaian beban transformator. Dari hasil simulasi dan perhitungan yang dilakukan, hasil kondisi sistem eksisting dibandingkan dengan sistem setelah dilakukan skenario penyesuaian beban. Hasil dari skenario aliran daya yang paling optimal direkomendasikan untuk sistem dalam jangka waktu pendek maupun dalam jangka waktu panjang berdasarkan hasil analisisnya.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Simulasi Aliran Daya Gardu Induk Nusa Dua Kondisi Eksisting

Pada sistem eksisting dengan kondisi operasi normal, dari tiga transformator yang ada pada gardu induk, dua transformator berfungsi aktif sebagai penyuplai daya listrik dan satu transformator berfungsi sebagai transformator cadangan. *Single line diagram* simulasi ETAP dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Single Line Diagram ETAP Sistem Eksisting

Hasil simulasi aliran daya sistem eksisting dengan kondisi operasi normal dikelompokkan ke dalam bentuk. Tabel I menampilkan data pembebanan dan Tabel II menampilkan data persentase pembebanan dan rugi daya.

Tabel I. Data Bus Loading Hasil Simulasi ETAP Kondisi Eksisting

No.	Bus	kV	% Tegangan	MVA	Amp.	% PF
1	Bus 1	150	100	89,872	345,9	80,6
2	Bus 2	20	99,2	41,876	1218,6	85,0
3	Bus 3	20	0	0	0	0
4	Bus 4	20	99,36	43,101	1252,2	85,0
5	Bus 5	0,4	99,19	0,001	1	85,0

Tabel II. Data Branch Loading dan Losses hasil Simulasi Kondisi Eksisting

No.	Transformator	Loading (output)		From-To Bus Flow		Losses		% Drop Vmag
		MVA	%	MW	Mvar	kW	kVar	KvA
1	Transformator 1	41,876	69,8	35,689	26,286	93,9	4226,2	0,8
2	Trasformator 3	43,101	71,8	36,730	26,938	94	4231,2	0,64
3	Trafo P.S	0,001	0,2	0,001	0	0	0	0,01
Total						187,9	8457,3	

B. Rugi Daya Total Sistem Eksisting

Rugi daya terbesar pada simulasi kondisi eksisting terdapat pada transformator 3 sebesar 94 kW + 4231,2 kVAR. Setiap transformator dapat diketahui daya semunya, dengan menggunakan persamaan (1) dan hasil data rugi daya lengkapnya ditampilkan pada Tabel III.

Perhitungan daya semu transformator 1:

$$S = \sqrt{94^2 + 4231,2^2}$$

$$S = \sqrt{17911889,44} = 4232,24 \text{ kVA}$$

Tabel III. Data Rugi Daya Transformator

No.	Transformator	Losses		
		kW	kVAR	kVA
1	Transformator 1	93,9	4226,2	4227,24
3	Transformator 3	94	4231,2	4232,24
Total		187,9	8457,4	8459,48

Dari data rugi daya yang sudah dihitung daya semunya, dengan menggunakan persamaan (9) maka persentase total rugi daya hasil simulasi ETAP dapat dihitung sebagai berikut.

$$\%Losses = \frac{8459,48 \text{ kVA}}{60000 \text{ kVA}} \times 100\% = 14,1\%$$

Rugi daya yang diizinkan dalam jaringan 20 kV adalah 10% [5]. Rugi daya pada sistem distribusi primer Gardu Induk 150 kV Nusa Dua telah melebihi batas maksimal.

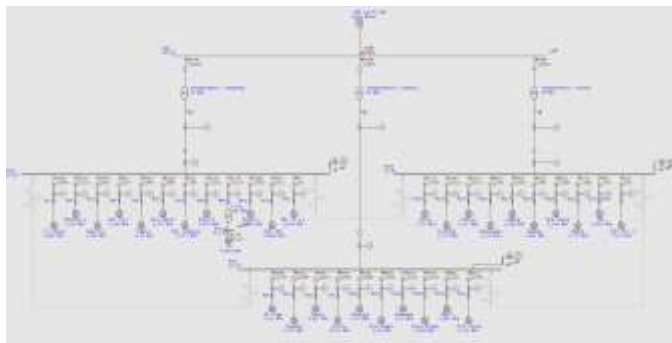
C. Perencanaan Penyesuaian Beban Transformator

Tujuan utama dari penyesuaian beban adalah untuk mengantisipasi dan mencegah kolapsnya sistem tenaga yang disebabkan oleh transformator yang kelebihan beban (*over load*). Pembebanan transformator pada kondisi eksisting yang telah disimulasikan dengan *software* ETAP diperoleh hasil berikut, pada transformator 1 beban mencapai 69,8% dengan beban puncak harian terbesar bulan April 2019 sebesar 1267 A atau 73,15%, kondisi ini belum bisa dikatakan *over load* tetapi sudah mendekati nominal *over load* (80%). Hal ini harus dicegah agar tidak terjadi kerugian. Sedangkan untuk pembebanan transformator 3 mencapai 71,8% dengan beban puncak harian

terbesar bulan April 2019 sebesar 1432 A atau 82,16%, kondisi ini sudah terindikasi *over load* sehingga sudah harus dilakukan penyesuaian untuk penurunan atau pengurangan beban transformator.

D. Skenario 1 Perencanaan Penyesuaian Beban Transformator

Skenario 1 memprioritaskan pemindahan beban penyulang yang berfluktuasi beban tinggi yang mensuplai beban industri dan komersil terbanyak. Pada skenario 1, sepuluh beban penyulang dipindahkan ke transformator 2. Setelah menentukan penyulang yang dipindah ke transformator 2, selanjutnya dilakukan simulasi aliran daya pada ETAP untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada kondisi pembebanan dan rugi dayanya. *Single line diagram* ETAP skenario 1 dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Single Line Diagram ETAP Skenario 1

Hasil simulasi aliran daya skenario 1 dikelompokkan kedalam bentuk tabel. Tabel IV menampilkan hasil data pembebanan dan Tabel V menampilkan data persentase pembebanan dan rugi daya.

Tabel IV. Data Bus Loading Hasil Simulasi ETAP Skenario 1

No.	Bus	kV	% Tegangan	MVA	Amp.	% PF
1	Bus 1	150	100	88,703	341,4	82
2	Bus 2	20	99,76	21,472	621,3	85,0
3	Bus 3	20	100,05	35,858	1034,6	85,0
4	Bus 4	20	101,48	28,045	797,8	85,0
5	Bus 5	0,4	99,76	0,001	1	85,0

Tabel V. Data Branch Loading dan Losses Hasil Simulasi ETAP Skenario 1

No.	Transformator	Loading (output)		From-To Bus Flow		Losses		% Drop Vmag
		MVA	%	MW	Mvar	kW	kVar	
1	Transformator 1	21,472	35,8	18,274	12,358	23,3	1046,9	0,24
2	Transformator 2	35,858	59,8	30,548	21,975	68,6	3085,8	0,05
3	Trasnformator 3	28,045	46,7	23,877	16,491	38,2	1717,4	1,48
4	Trafo P S	0,001	0,2	0,001	0	0	0	0,01
Total						130,1	5850,1	

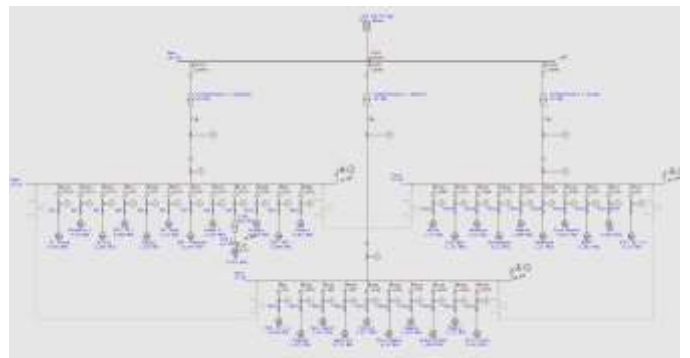
Sedangkan untuk persentase rugi daya total skenario 1 dihitung sebagai berikut.

$$\%Losses = \frac{5851,55 \text{ kVA}}{60000 \text{ kVA}} \times 100\% = 9,75\%$$

Terjadi penurunan total rugi daya sebesar 4,35% dari kondisi eksisting. Persentase rugi daya skenario 1 sudah sesuai standar yang ditetapkan.

E. Skenario 2 Perencanaan Penyesuaian beban transformator

Pada skenario 2, penyulang dari transformator 1 dan 3 dipindahkan ke transformator 2. Namun pada skenario ini, penyulang yang dipilih untuk dipindahkan merupakan penyulang-penyulang yang bebannya bervariasi, yaitu ada penyulang yang berfluktuasi tinggi dan berfluktuasi rendah. Jumlah penyulang yang akan dipindah ke transformator 2 adalah 10 penyulang, lima dari transformator 1 dan lima dari transformator 3. Setelah menentukan penyulang yang dipindah ke transformator 2, selanjutnya dilakukan simulasi aliran daya pada ETAP untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada kondisi pembebanan dan rugi dayanya. *Single line diagram* skenario 2 dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Single Line Diagram ETAP Skenario 2

Hasil simulasi aliran daya skenario 2 dikelompokkan kedalam bentuk tabel. Tabel VI menampilkan hasil data pembebanan dan Tabel VII menampilkan data persentase pembebanan dan rugi daya.

Tabel VI. Data Bus Loading Hasil Simulasi ETAP Skenario 2

No.	Bus	kV	% Tegangan	MVA	Amp.	% PF
1	Bus 1	150	100	87,957	338,5	82,1
2	Bus 2	20	98,5	30,251	886,1	85
3	Bus 3	20	98,88	27,534	803,8	85
4	Bus 4	20	99,19	27,051	787,2	85
5	Bus 5	0,4	98,54	0,001	1	85

Tabel VII. Data Branch Loading dan Losses Hasil Simulasi ETAP Skenario 2

No.	Transformator	Loading (output)		From-To Bus Flow		Losses		% Drop Vmag
		MVA	%	MW	Mvar	KW	kVar	KvA
1	Transformator 1	30,251	50,4	25,76	18,065	47,3	2129,5	1,45
2	Transformator 2	27,534	45,9	23,444	16,280	39,4	1775,2	1,12
3	Trasnformator 3	27,051	45,1	23,028	15,843	35,4	1593,5	0,81
4	Trafo P.S	0,001	0,2	0,001	0	0	0	0,01
Total						122,1	5498,2	

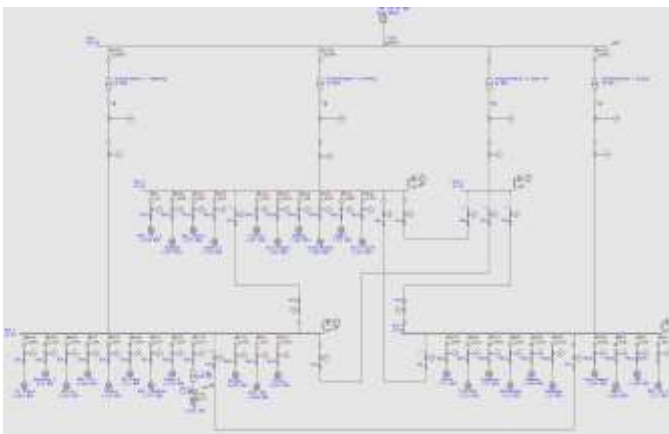
Untuk persentase rugi daya total skenario 2 dihitung sebagai berikut.

$$\%Losses = \frac{5499,56 \text{ kVA}}{60000 \text{ kVA}} \times 100\% = 9,16\%$$

Penurunan persentase rugi daya sebesar 4,94% dari kondisi eksisting. Persentase rugi daya skenario 2 sudah sesuai dengan standar yang ditetapkan.

F. Skenario 3 Perencanaan Penyesuaian Beban Transformator

Dengan aktifnya transformator 2 sebagai penyuplai daya listrik untuk beban atau penyulang, maka tidak ada lagi transformator cadangan. Pada skenario 3, dilakukan penambahan satu unit transformator yang digunakan sebagai transformator cadangan. Pembebanan skenario 3 diatur dengan membebankan 12 penyulang pada transformator 1, 10 penyulang pada transformator 2, dan 10 penyulang pada transformator 3. Sedangkan transformator 4 dijadikan transformator cadangan, sebagai *backup* apabila pada transformator lain mengalami gangguan. Setelah menentukan pembebanan setiap transformator, selanjutnya dilakukan simulasi aliran daya pada ETAP untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada kondisi pembebanan dan rugi dayanya. *Single line diagram* skenario 3 dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Single Line Diagram ETAP Skenario 3

Pada skenario 3 dilakukan penambahan 1 bus sebagai penghubung transformator 4 dengan bus beban pada setiap transformator aktif. Untuk hasil

simulasi aliran daya skenario 3 dikelompokkan kedalam bentuk tabel. Pada Tabel VIII menampilkan hasil data pembebanan dan pada Tabel IX menampilkan data persentase pembebanan dan rugi daya.

Tabel VIII. Data Bus Loading Hasil Simulasi ETAP Skenario 3

No.	Bus	kV	% Tegangan	MVA	Amp.	% PF
1	Bus 1	150	100	88,256	339,7	82,1
2	Bus 2	20	100,9	30,537	873,8	85
3	Bus 3	20	98,9	27,534	803,8	85
4	Bus 4	20	99,2	27,051	787,2	85
5	Bus 5	0,4	100,9	0,001	1	85
6	Bus 6	20	100	0	0	0

Tabel IX. Data Branch loading dan Losses Hasil Simulasi ETAP Skenario 3

No.	Transformator	Loading (output)		From-To Bus Flow		Losses		% Drop Vmag
		MVA	%	MW	Mvar	KW	kVar	KvA
1	Transformator 1	30,573	50,9	26,006	18,258	48,3	2171,8	0,91
2	Transformator 2	27,534	45,9	23,444	16,280	39,4	1775,2	1,12
3	Trasnformator 3	27,051	45,1	23,028	15,843	35,4	1593,5	0,81
4	Transformator 4	0	0	0	0	0	0	0
5	Trafo P.S	0,001	0,2	0,001	0	0	0	0,01
Total						123,1	5540,5	

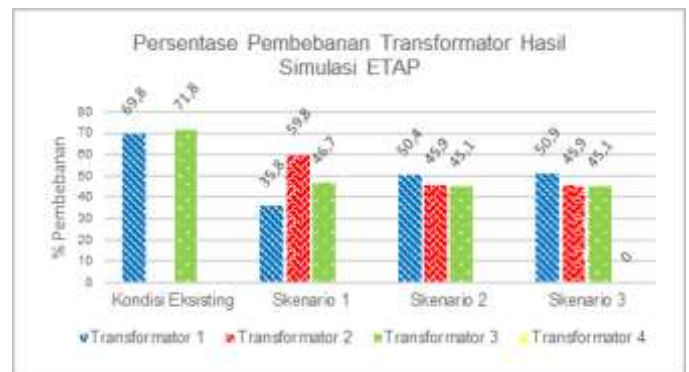
Untuk persentase rugi daya total skenario 3 dihitung sebagai berikut.

$$\%Losses = \frac{5541,87 \text{ kVA}}{60000 \text{ kVA}} \times 100\% = 9,24\%$$

Terjadi penurunan rugi daya sebesar 4,86% dari kondisi eksisting. Persentase rugi daya total skenario 3 sudah sesuai dengan standar.

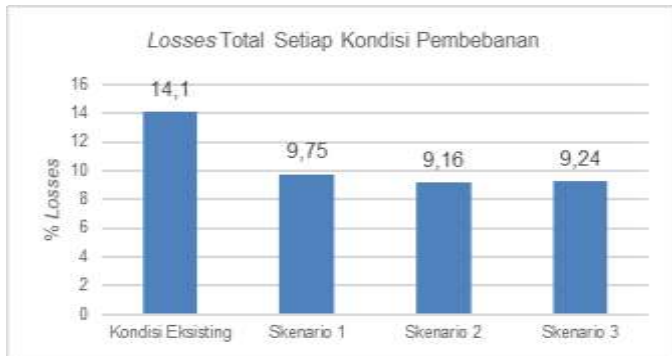
G. Rekomendasi Skenario Penyesuaian Beban Transformator

Berikut ini adalah hasil dari simulasi kondisi eksisting beserta ketiga skenario yang disimulasikan dengan ETAP, dijabarkan dalam bentuk grafik pada Gambar 6 menampilkan persentase pembebanan dan Gambar 7 menampilkan persentase rugi daya total.



Gambar 6. Grafik Perbandingan Persentase Pembebanan Transformator Hasil Simulasi ETAP

REFERENSI



Gambar 7. Grafik Perbandingan Rugi Daya Total Hasil Simulasi ETAP

Dengan mempertimbangkan hasil simulasi di atas, maka rekomendasi yang dapat dipilih berdasarkan jangka waktu adalah:

Untuk kondisi pembebanan dalam waktu jangka pendek dan peningkatan beban yang tidak signifikan, skenario 2 dipilih sebagai solusi paling optimal. Kelebihan skenario adalah rugi daya total sudah sesuai standar dan kondisi pembebanan transformator cukup merata. Pada skenario 2 masih memungkinkan dilakukan penambahan pembebanan pada transformator.

Untuk kondisi pembebanan dalam waktu jangka panjang dengan peningkatan beban yang cukup signifikan, skenario 3 dipilih sebagai solusi paling optimal. Dengan ditambahkannya satu transformator yang difungsikan sebagai transformator cadangan, maka kontinuitas penyaluran daya listrik ke konsumen dapat terjamin.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan, pada kondisi eksisting dengan operasi normal, pembebanan transformator 1 mencapai 69,8% dengan rugi daya sebesar 93,9 kW dan pembebanan transformator 3 mencapai 71,8% dengan rugi daya sebesar 94 kW. Dengan rugi daya total sebesar 14,1%. Setelah dilakukan penyesuaian beban dengan memindahkan masing-masing 5 beban penyulang dari transformator 1 dan transformator 3 ke transformator 2 yang sebelumnya sebagai transformator cadangan, terjadi penurunan pembebanan pada transformator 1 menjadi 50,4% dengan rugi daya 47,3 kW dan transformator 3 menjadi 45,1% dengan rugi daya 35,4 kW. Aktifnya transformator 2 menanggung beban sebesar 45,9% dengan rugi daya 39,4 kW. Rugi daya total setelah dilakukan penyesuaian beban turun menjadi 9,16%. Terjadi penurunan rugi daya total sebesar 4,94% dari kondisi eksisting.

- [1] Candranurani, C., Garniwa, I. "Optimalisasi Penyaluran Daya PLN di Pulau Bangka Untuk Sistem Kelistrikan Sumatera". *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, Vol 15 No 1. 2012.
- [2] PT. PLN (Persero). *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2018-2027*. Jakarta. 2018.
- [3] Daryanto. *Keterampilan Kejuruan Teknik Listrik*. PT. Sarana Tutorial Nurani Sejahtera, Bandung. 2010.
- [4] Zuhail & Zhanggischan. *Prinsip Dasar Elektroteknik*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta. 2004.
- [5] PT. PLN (Persero). *Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) Nomor 72*. Jakarta. 1987.