

**ANALISIS RENCANA PEMASANGAN TRANSFORMATOR SISIPAN PADA
SALURAN TRANSFORMATOR DISTRIBUSI PENYULANG PAGUTAN
(Studi Kasus : Transformator Distribusi AM097 Di Jalan Banda Seraya,
Pagesangan, Kota Mataram)**

**AN ANALYSIS OF INSERTION TRANSFORMER INSTALLATION PLAN ON DISTRIBUTION
TRANSFORMER – LINE IN PAGUTAN FEEDER**

(Case Study: Distribution Transformer of AM097 On Banda Seraya Street, Pagesangan, Mataram City)

M. Najmul Fadli¹, Ni Made Seniari², I Made Ginarsa³

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas mataram, NTB

Email: ¹mnajmulfadli@gmail.com, ²seniari_nimade@unram.ac.id, ³kadekjin@unram.ac.id

ABSTRAK

Data lapangan menunjukkan pembebanan Transformator Distribusi AM097 di Jalan Banda Seraya Pagutan, Kota Mataram, sudah *overload* sebesar 92,82%, tegangan pelanggan paling ujung bernilai 183,85 V, rugi daya saluran 15,87 kW. *Drop* tegangan mencapai 25,10% melebihi batas yang diizinkan dalam SPLN No.72 tahun 1987 dengan nilai maksimal 5%. Untuk memperbaiki kondisi jaringan maka dilakukan analisis rencana pemasangan transformator sisipan menggunakan simulasi ETAP. Dengan memperhatikan penempatan transformator sisipan pada jarak 313,18 m dari transformator utama, beban transformator utama 69,16%, transformator sisipan kapasitas 100 kVA dibebani 47,13%. Setelah simulasi dijalankan didapatkan tegangan di ujung beban 222,3 V, *drop* tegangan 3,16%, dan rugi daya saluran sebesar 4,16%.

Kata Kunci : *Drop* tegangan, rugi daya saluran, Transformator sisipan.

ABSTRACT

The field data shows that loading at AM097 Distribution Transformer at Banda Seraya Pagutan Street, Mataram City, are overloaded by 92.82%. The tip customer voltage is 183.85 V, line power loss is 15.87 kW. The drop voltage reaches 25.10%, this is beyond the limit that allowed in SPLN No.72 of 1987 with maximum value of 5%. To stabilize the network condition, an analysis of insertion transformer installation plan using ETAP simulation are required. Taking into account to the placement of the insertion transformer at 313.18 m from the main transformer, the main transformer is 100 kVA and 47.13% loaded. After the simulation started, the tip customer voltage we get is 222.3 V, drop voltage is 3.16%, and line power loss of 4.16%.

Keywords : *drop voltage, line power loss, insertion transformer.*

PENDAHULUAN

Suatu sistem ketenagalistrikan terus mengalami perkembangan, salah satunya yaitu dengan terjadinya pertumbuhan pelanggan atau beban energi listrik dari tahun ke tahun. Sehingga, dibutuhkan sistem pendistribusian tenaga listrik yang mempunyai keandalan tinggi. Akan tetapi, sering terjadi permasalahan yang timbul pada pendistribusian ketenagalistrikan. Salah satunya adalah pembebanan transformator distribusi yang sudah melebihi kapasitas atau dapat dikatakan transformator *overload* (beban lebih). Transformator dikatakan *overload* jika kapasitas pembebanannya lebih dari 80%. Apabila hal ini terjadi dalam waktu yang lama, isolasi pada transformator

mengalami kerusakan karena panas yang berlebihan yang berujung pada rusaknya transformator. Selain hal tersebut, kelebihan beban pada transformator distribusi juga dapat menyebabkan terjadinya *drop* (jatuh) tegangan.

Terdapat dua metode alternatif untuk mengatasi permasalahan transformator *overload*, yaitu dengan metode pemasangan transformator sisipan dan *uprating* (peningkatan kapasitas) transformator. Transformator *overload* ini juga terjadi di salah satu transformator distribusi di PT. PLN (Persero) Area Mataram wilayah kerja Rayon Ampenan, yaitu Transformator Distribusi AM097 dengan kapasitas sebesar 200 kVA. Persentase pembebanannya telah mencapai

92,82 % dan *drop* tegangan ujung tertinggi sebesar 25,10%. Tentu hal ini menunjukkan perlu adanya tindakan terhadap transformator distribusi tersebut. Dengan memperhatikan letak beban maka tindakan yang tepat dilakukan adalah dengan pemasangan transformator sisipan. *Uprating* transformator hanya mengganti transformator yang sudah ada sehingga kapasitas pembebanannya semakin besar. Akan tetapi, belum dapat mengatasi *drop* tegangan secara maksimal jika dibandingkan dengan melakukan pemasangan transformator sisipan.

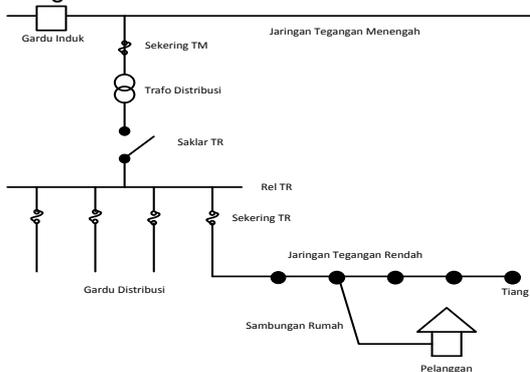
Dalam penelitian ini, penulis akan melakukan analisa terhadap rencana pemasangan transformator sisipan di Transformator Distribusi AM097. Diharapkan dengan penelitian ini, didapatkan perencanaan yang baik dan tentunya menambah keandalan sistem distribusi listrik di Jaringan Tegangan Rendah (JTR) di Transformator Distribusi AM097.

LANDASAN TEORI

Sistem Distribusi Sekunder

Kadir (2010), menyatakan sistem distribusi sekunder digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu distribusi ke beban-beban yang ada di konsumen. jadi sistem ini berfungsi menerima daya listrik dari sumber daya (transformator distribusi), juga akan mengirimkan serta mendistribusikan daya tersebut ke konsumen. Mengingat bagian ini berhubungan langsung dengan konsumen, maka kualitas listrik selayaknya harus sangat diperhatikan.

Pada sistem distribusi sekunder bentuk saluran yang paling banyak digunakan ialah sistem radial. Sistem ini dapat menggunakan kabel yang berisolasi maupun konduktor tanpa isolasi. Sistem ini biasanya disebut sistem tegangan rendah yang langsung akan dihubungkan kepada konsumen/pemakai tenaga listrik.



Gambar 1. Hubungan Tegangan Menengah ke Tegangan Rendah

Transformator Distribusi Sisipan

Transformator sisipan merupakan transformator tambahan yang dipasang oleh PT. PLN untuk menanggulangi berbagai kerugian yang ditimbulkan oleh transformator sebelumnya. Perbedaan transformator sisip dan transformator pasang baru adalah, jika transformator sisip hanya mengambil beban transformator sebelumnya, sedangkan transformator pasang baru adalah memasang transformator baru karena adanya permintaan baru.

Beberapa faktor yang dipertimbangkan oleh PT. PLN untuk menambah transformator sisipan adalah :

Transformator sebelumnya sudah *overload* dan besarnya *drop* tegangan pada JTR. Menurut PT. Perusahaan Listrik Negara (PT. PLN), 1987, tertuang dalam SPLN No. 72 pasal 4 ayat 19 tentang Pengaturan Tegangan dan Turun Tegangan, bahwa jatuh tegangan yang diperbolehkan pada transformator distribusi dibolehkan 3% dari tegangan kerja. Turun tegangan pada STR dibolehkan sampai 5% dari tegangan kerja.

Untuk menentukan kapasitas transformator sisipan yang dapat dipasang digunakan persamaan :

$$\text{Kapasitas Trafo} = \frac{(KVA \text{ Beban})}{0,8}$$

Peletakan transformator distribusi sisipan jarak ideal dari transformator distribusi pertama adalah :

$$L \text{ ideal} = \frac{10\% \times V \text{ lvc}}{I \text{ Beban Puncak} \times R \text{ saluran}}$$

Pembebanan Transformator

Menurut PT. PLN, 1997, yang tertuang dalam SPLN No. 50, transformator distribusi diusahakan agar tidak dibebani lebih dari 80 % atau dibawah 40 %. Jika melebihi atau kurang dari nilai tersebut transformator bisa dikatakan *overload* atau *underload*. Diusahakan agar transformator tidak dibebani keluar dari *range* tersebut.

$$kVA \text{ beban} = (I_R \times V_{R-N}) + (I_S \times V_{S-N}) + (I_T \times V_{T-N})$$

$$\% \text{ beban Transformator} = \frac{kVA \text{ Beban}}{kVA \text{ Trafo}} \times 100 \%$$

Tegangan Jatuh

Tegangan jatuh (*drop voltage*) atau juga rugi tegangan adalah perbedaan tegangan kirim dan tegangan terima karena adanya impedansi pada penghantar. Adapun penyebab jatuh tegangan yang paling berpengaruh adalah :

1. Panjang jaringan, jauhnya jaringan dari transformator.

2. Rendahnya tegangan yang diberikan dari transformator distribusi.
3. Jenis penghantar yang digunakan.
4. Sambungan penghantar atau konektor yang tidak baik.
5. Arus yang dihasilkan terlalu besar.

Menurut PT. Perusahaan Listrik Negara (PT. PLN), 1987, tertuang dalam SPLN No. 72 pasal 4 ayat 19 tentang Pengaturan Tegangan dan Turun Tegangan, bahwa jatuh tegangan yang diperbolehkan pada transformator distribusi dibolehkan 3% dari tegangan kerja. Turun tegangan pada STR dibolehkan sampai 5% dari tegangan kerja.

Persentase *drop* tegangan dapat dihitung melalui persamaan berikut :

$$V_{drop}(\%) = \left(\frac{V_S - V_R}{V_r} \right) \times 100 \%$$

dimana :

$$\begin{aligned} V_{drop}(\%) &= \text{drop tegangan } (\%) \\ V_S &= \text{tegangan kirim } (V) \\ V_R &= \text{tegangan terima } (V) \end{aligned}$$

Rugi Daya

Rugi daya saluran timbul karena adanya komponen resistansi dan reaktansi saluran dalam bentuk rugi daya aktif dan reaktif. Rugi daya aktif yang timbul pada komponen resistansi saluran distribusi akan terdisipasi dalam bentuk energi. Rugi daya dicari menggunakan rumus :

$$\Delta P = \frac{1}{3} (I_R^2 + I_S^2 + I_T^2 + I_N^2) \times R \times L$$

Dimana :

$$\begin{aligned} \Delta P &= \text{Rugi daya } (W) \\ I_R &= \text{Arus fasa R } (A) \\ I_S &= \text{Arus fasa S } (A) \\ I_T &= \text{Arus fasa T } (A) \\ I_N &= \text{Arus Netral } (A) \\ R &= \text{Resistansi saluran } (\Omega) \end{aligned}$$

Resistansi Penghantar

Resistansi adalah tahanan suatu penghantar baik itu pada saluran transmisi maupun distribusi yang menyebabkan kerugian daya.

Tabel 1. Karakteristik *Twisted* Kabel Aluminium

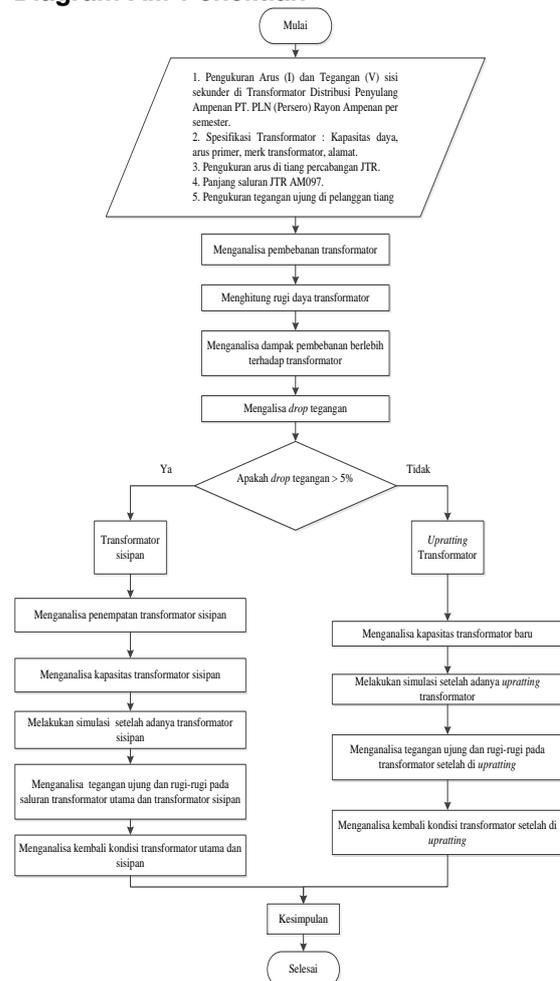
Ukuran Kabel (mm ²)	Fasa			Netral
	R (Ω/km)	KHA (A)	X (Ω/km)	Resistansi (Ω/km)
2×10	3,08	54	0,168	3,08
2×16	1,91	72	0,138	1,91
2×25	1,2	130	0,124	1,38
2×35	0,868	125	0,116	1,38
2×50	0,641	154	0,106	0,986
3×70	0,443	196	0,103	0,69
3×95	0,32	242	0,098	0,45

(PT. PLN, 2010)

METODE PENELITIAN

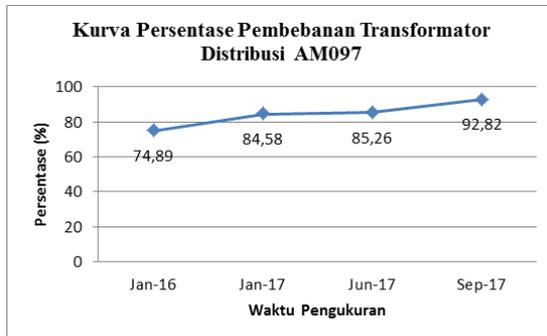
Penelitian tentang perencanaan pemasangan transformator sisipan ini menggunakan metode pengumpulan data, perhitungan, simulasi, dan analisa. Pengumpulan data akan dilakukan di PT. PLN (Persero) Rayon Ampenan Transformator Distribusi AM097, dengan terlebih dahulu melalui tahapan permintaan izin pengambilan data. Metode perhitungan akan dilakukan untuk mendapatkan besar pembebanan, besar *drop* tegangan, besar rugi daya pada transformator distribusi. Metode simulasi akan digunakan untuk mendapatkan nilai pembebanan dan nilai tegangan ujung transformator setelah dilakukannya pemasangan transformator sisipan, simulasi menggunakan ETAP 12.6.0. Metode analisa dilakukan untuk mendapatkan perbandingan nilai pembebanan, nilai tegangan ujung, dan rugi daya saat sebelum dan sesudah dilakukannya rencana pemasangan transformator sisipan.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN Analisis Beban Transformator Utama AM097



Gambar 3. Kurva pembebanan Transformator AM097 (PT. PLN, 2017)

Berdasarkan kurva diatas dapat dilihat bahwa seiring bertambahnya waktu, pembebanan Transformator Distribusi AM097 terus mengalami peningkatan. Hal ini diakibatkan adanya penambahan jumlah pelanggan listrik, ataupun adanya penambahan daya yang dilakukan oleh pelanggan. Bahkan pembebanan transformator telah mencapai 92,82% pada pengukuran terakhir pada bulan September 2017. Sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan yaitu besarnya pembebanan yang diizinkan pada transformator adalah 80% dari kapasitas keseluruhan. Transformator Distribusi AM097 ini dinyatakan telah mengalami overload (pembebanan lebih).

Data Pengukuran Transformator AM097 sebelum Rencana Transformator sisipan

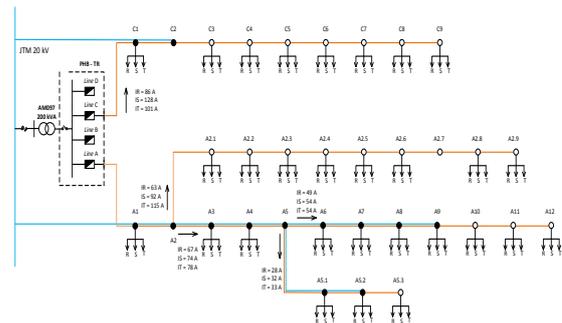
Transformator Distribusi AM097 merupakan jenis gardu tipe portal terdiri dari 2 jurusan yaitu jurusan A dan C. Berikut adalah data pengukuran terakhir tanggal 5 September 2017 pukul 21:04 WITA :

Tabel 2. Pengukuran tegangan sisi sekunder transformator

Daya	Pengukuran Tegangan					
	RN	SN	TN	RS	ST	RT
200 kVA	214	216	215	376	377	377

Tabel 3. Pengukuran arus sisi sekunder transformator

FASA	PENGUKURAN ARUS BEBAN (A)		
	LINE / JURUSAN		
	A	C	TOTAL
R	143	86	233
S	179	128	324
T	205	101	306
N	82	73	153



Gambar 4. Hasil pengukuran arus di tiang percabangan saluran

Analisis Tata Letak Transformator Sisipan

Letak yang ideal dalam penempatan transformator sisipan dari transformator utama dalam penelitian ini dapat dihitung dengan persamaan. Dengan menggunakan nilai data pengukuran arus total pada Tabel 3, yaitu dengan I fasa R = 233 A, I fasa S = 324, dan I fasa T = 306 A. Sebelum menghitung nilai jarak maksimal, terlebih dahulu dihitung nilai I_{rerata} dengan perhitungan sebagai berikut :

$$I_{rerata} = \frac{(I_R + I_S + I_T)}{3} = \frac{(233 + 324 + 306)}{3} = \frac{863}{3} = 287,67 \text{ A}$$

Kemudian menghitung nilai jarak ideal transformator sisipan dari transformator utama AM097, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$L_{ideal} = \frac{10\% \times V_{lvc}}{I_{Beban\ Puncak\ (rerata)} \times R_{saluran}} = \frac{10\% \times 400}{287,67 \times 0,443} = \frac{40}{127,35} = 0,31388 \text{ km} = 313,88 \text{ m}$$



Gambar 5. Peta rencana penempatan transformator sisipan AM097

Transformator sisipan ditempatkan di antara tiang G awang A8-A9 dengan rincian : jarak antara transformator sisipan dengan tiang A9 (Garsip AM097 – A9) = 56,83 m; dan jarak antara transformator sisipan dengan tiang A8 (Garsip AM097 – A8) = 16,22 m; dengan koordinat 8°36'46.94"S 116° 6'32.82"T.

Beberapa hal yang menjadi pertimbangan adalah sebagai berikut :

1. Tegangan ujung terendah terjadi pada ujung beban tiang A12 dengan tegangan sebesar : fasa R = 185,2 V; fasa S = 184,5; fasa T = 183,85. Sehingga penempatan transformator sisipan harus dekat dengan tiang ini untuk menaikkan tegangan ujung tiang A12.
2. Saluran JTM yang terdekat dengan tiang A12 adalah gawang A8-A9. Sehingga dalam penempatan transformator sisipan tidak perlu menambah jaringan tiga fasa untuk menyuplai tegangan 20 kV ke transformator sisipan.
3. Rencana penempatan transformator sisipan juga dekat dengan lahan kosong, yang memungkinkan pengembangan jaringan atau gawang baru disaat yang akan datang.
4. Jarak antara transformator AM097 dengan rencana transformator sisipan dapat memenuhi jarak ideal seperti perhitungan yaitu sebesar 313,18 m. Karena dalam perancangan ini jarak transformator distribusi AM097 ke transformator sisipan tepat berjarak 313,18 m.

Perhitungan Kapasitas Transformator Sisipan

Berdasarkan Gambar 1 terlihat besar persentase pembebanan transformator yang menggunakan data pengukuran terakhir yaitu sebesar 92,82%. Sedangkan persentase beban maksimal yang diperbolehkan PT. PLN adalah 80%. Sehingga dapat dihitung juga kelebihan bebannya yaitu :

$$\begin{aligned} \text{Kelebihan beban} &= 92,82\% - 80\% \\ &= 12,82\% \end{aligned}$$

Sedangkan 12,82% dari 200 kVA adalah sebesar :

$$\begin{aligned} \text{Kelebihan beban} &= \left(\frac{12,82\%}{100\%} \right) \times 200 \\ &= 25,64 \text{ kVA} \end{aligned}$$

Akan tetapi, dalam perancangannya beban maksimal yang tersisa di transformator utama tidak boleh 80% melainkan 70%. Hal ini didasari oleh perkembangan beban yang terus terjadi, penambahan jumlah pelanggan maupun penambahan daya di beban. Pada pembahasan sub bab sebelumnya telah ditentukan bahwa beban yang dialihkan ke transformator sisipan adalah sebesar 47,31 kVA. Sehingga kapasitas transformator sisipan yang direncanakan untuk dipasang adalah sebesar 100 kVA. Tentu saja dengan mempertimbangkan perkembangan beban ke depannya, dan juga nilai susut umur

transformator yang rendah yang hanya sebesar berbeban 47,31 kVA atau 47,31 % dari total kapasitas 100 kV.

Perhitungan Pembebanan Transformator

Setelah dilakukannya simulasi penempatan transformator sisipan maka Transformator AM097 tidak lagi memikul beban seperti semula. Karena sebagian beban transformator AM097 sebagian telah dipindahkan ke transformator sisipan. Beban yang tersisa pada transformator utama sudah diketahui pada pembahasan sub bab sebelumnya, yaitu sebesar 138,326 kVA. Sehingga persentase pembebanannya yang terbaru dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \% \text{ beban} &= \frac{\text{kVA Beban}}{\text{kVA Trafo}} \times 100 \% \\ &= \frac{138,326}{200} \times 100 \% \\ &= 69,16 \% \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat dilihat bahwa persentase pembebanan transformator AM097 jauh berkurang menjadi 69,16%. Nilai tersebut masih berada dibawah nilai maksimum yang diperbolehkan yaitu 80%.

Analisa Perbandingan JTR Transformator Distribusi AM097 Sebelum dan Sesudah Adanya Rancangan Transformator Sisipan.

Perbandingan Rugi Daya.

Diketahui bahwa JTR Transformator Distribusi AM097 menggunakan penghantar LVTC 3x7+1x50 mm² dengan nilai resistansi penghantar (R) = 0,443 Ω/km. Panjang total jurusan A = 0,915 km dan jurusan C = 0,379 km. Kemudian untuk nilai arus untuk masing-masing jurusan dapat dilihat pada Tabel 4.2. Perhitungan rugi daya total per jurusan dilakukan dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} \Delta P \text{ jurusan A} &= \frac{1}{3} (I_R^{2+} I_S^{2+} I_T^{2+} I_N^{2+}) \times R \times L \\ &= \frac{1}{3} (143^{2+} 179^{2+} 205^{2+} 82^2) \times 0,443 \times 0,915 \\ &= \frac{1}{3} (101239) \times 0,405 \\ &= 13667,265 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P \text{ jurusan C} &= \frac{1}{3} (I_R^{2+} I_S^{2+} I_T^{2+} I_N^{2+}) \times R \times L \\ &= \frac{1}{3} (86^{2+} 128^{2+} 101^{2+} 73^2) \times 0,443 \times 0,379 \\ &= \frac{1}{3} (39310) \times 0,168 \\ &= 2201,36 \text{ W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta P \text{ total} &= \Delta P \text{ jurusan A} + \Delta P \text{ jurusan C} \\ &= 13667,265 \text{ W} + 2201,36 \text{ W} \\ &= 15868,625 \text{ W} \\ &= 15,87 \text{ kW} \end{aligned}$$

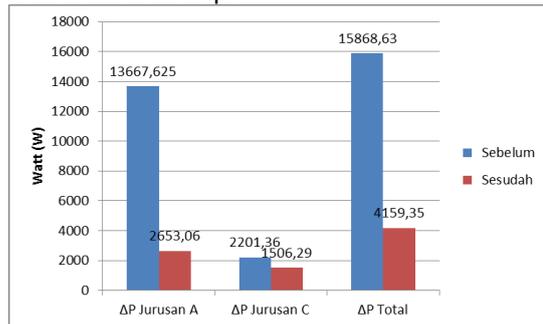
Dari hasil perhitungan didapatkan besar rugi-rugi daya total pada JTR Transformator Distribusi AM097 sebesar 15,87 kW.

Setelah *run* program simulasi ETAP 12.6.0, didapatkan nilai arus pada tiap jurusan mengalami perubahan setelah adanya transformator sisipan. Sehingga hasil perhitungan rugi-rugi daya pada jaringan juga mengalami perubahan. Berikut adalah hasil perhitungan rugi-rugi daya saat sebelum dan sesudah dipasangnya transformator sisipan :

Tabel 4. Perbandingan rugi-rugi daya

ΔP Jurusan A (kW)		ΔP Jurusan C (kW)		ΔP Total (kW)	
Belum	Sudah	Belum	Sudah	Belum	Sudah
13,67	2,65	2,2	1,51	15,87	4,16

Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat perbandingan nilai rugi-rugi daya yang dihasilkan sebelum dan sesudah adanya transformator sisipan. Untuk lebih jelasnya, berikut grafik perbandingan rugi-rugi daya sebelum dan sesudah adanya pemasangan transformator sisipan.



Gambar 6. Grafik perbandingan rugi-rugi daya sebelum dan sesudah adanya transformator sisipan.

Berdasarkan Gambar 6 diatas dapat dilihat bahwa setelah adanya transformator sisipan, nilai rugi-rugi daya bernilai lebih kecil. Nilai rugi-rugi daya pada setiap jurusan berkurang setelah adanya transformator sisipan. Penurunan paling signifikan terjadi di jurusan A. Hal ini disebabkan karena transformator sisipan dirancang untuk dipasang di jurusan A, dan sebagian beban di jurusan A dialihkan ke transformator sisipan. Sehingga nilai arus yang mengalir pada jurusan A berkurang.

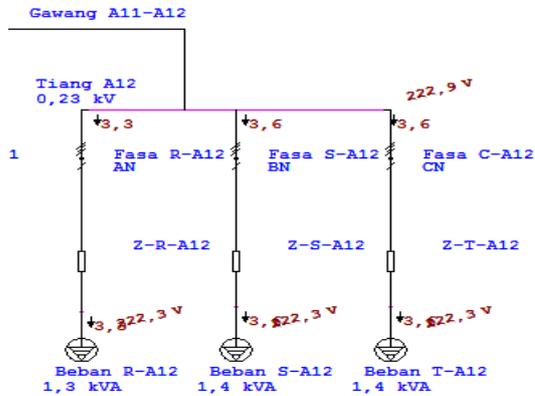
Faktor lain yang berpengaruh terhadap penurunan nilai rugi-rugi daya adalah panjang total saluran JTR yang sudah berkurang. Setelah adanya transformator sisipan panjang total saluran pada jurusan A sebesar 0,445 km, yang pada awalnya panjang totalnya sebesar 0,915 km. Nilai perhitungan rugi-rugi daya berbanding lurus dengan nilai panjang jurusan. Sehingga saat nilai panjang saluran berkurang, maka nilai rugi-rugi daya pun ikut berkurang. Dari perbandingan Gambar 4.6 dapat dikatakan bahwa pemasangan transformator sisipan dapat mengurangi nilai rugi-rugi daya pada saluran.

Perbandingan Teganga Ujung dan Perbandingan Drop Tegangan

Tabel 5. Perbandingan tegangan ujung dan *drop* tegangan sebelum dan sesudah adanya transformator sisipan

Jurusan	Tiang	Fasa	Tegangan Ujung (V)		Drop Tegangan (%)	
			Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
A	A2.9	R	192	205,3	19,79	12,03
		S	190,85	205	20,51	12,20
		T	189,7	204,7	21,24	12,36
	A5.3	R	196,7	216,8	16,93	6,09
		S	195,5	216,6	17,65	6,19
		T	197,95	216,6	16,19	6,19
	A12	R	185,2	222,3	24,19	3,46
		S	184,5	222,3	24,66	3,46
		T	183,85	222,3	25,10	3,46
C	C9	R	195,8	204	17,47	12,75
		S	194,95	203,6	17,98	12,97
		T	195,4	203,9	17,71	12,80

Tegangan ujung setelah adanya transformator sisipan didapatkan dari hasil simulasi ETAP. Berikut adalah contoh gambar hasil simulasi tegangan ujung di tiang ujung :



Gambar 7. Hasil simulasi ETAP tegangan ujung pelanggan jurusan A (setelah ada transformator sisipan)

Untuk contoh perhitungan *drop* tegangan dapat dihitung data pada tiang A12 sebelum adanya transformator sisipan.

Perhitungan *drop* tegangan Fasa R, dengan nilai $V_s = 230 \text{ V}$ dan $V_r = 192$:

$$V_R(\%) = \left(\frac{V_s - V_r}{V_r} \right) \times 100\% \\ = \left(\frac{230 - 192}{192} \right) \times 100\% \\ = 19,79\%$$

Perhitungan *drop* tegangan Fasa S, dengan nilai $V_s = 230 \text{ V}$ dan $V_r = 190,85$:

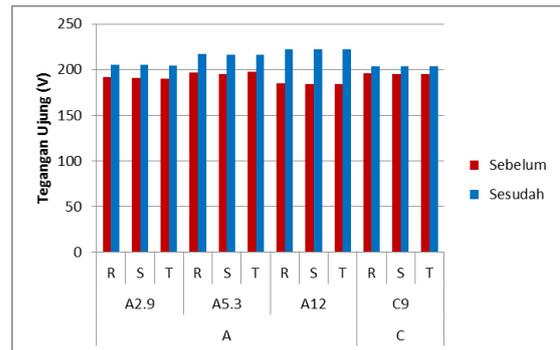
$$V_S(\%) = \left(\frac{V_s - V_r}{V_r} \right) \times 100\% \\ = \left(\frac{230 - 190,85}{190,85} \right) \times 100\% \\ = 20,51\%$$

Perhitungan *drop* tegangan Fasa T, dengan nilai $V_s = 230 \text{ V}$ dan $V_r = 189,7$:

$$V_T(\%) = \left(\frac{V_s - V_r}{V_r} \right) \times 100\% \\ = \left(\frac{230 - 189,7}{189,7} \right) \times 100\% \\ = 21,24\%$$

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 5 diatas.

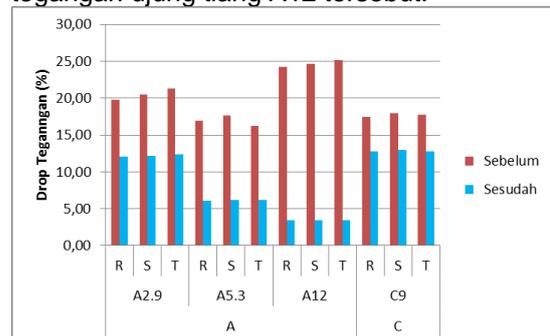
Berdasarkan Tabel 5 dapat dilihat bahwa terjadi perubahan nilai tegangan ujung dan *drop* tegangan sesudah adanya transformator sisipan. Untuk lebih jelasnya, perbandingan nilai tegangan ujung saat sebelum dan sesudah adanya transformator sisipan dapat dilihat pada Gambar 4.9 sedangkan perbandingan nilai *drop* tegangan saat sebelum dan sesudah adanya transformator sisipan dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Perbandingan tegangan ujung sebelum dan sesudah adanya transformator sisipan

Berdasarkan Gambar 8 diatas terlihat bahwa terjadi peningkatan nilai tegangan ujung di setiap fasa, baik di jurusan A maupun jurusan C. Pada saluran beban tiang A2.9, dan saluran beban tiang C9 terjadi peningkatan nilai tegangan ujung, walaupun bebannya tidak termasuk ke dalam beban yang dialihkan ke transformator sisipan. Sedangkan pada beban tiang A5.3 dan beban tiang A12 terjadi peningkatan nilai tegangan ujung yang signifikan, karena beban saluran di kedua tiang tersebut yang dialihkan ke transformator sisipan.

Peningkatan tegangan ujung tertinggi terjadi di tiang A12, karena sebelum adanya transformator sisipan nilai tegangan ujungnya bernilai paling rendah. Kemudian sesudah adanya transformator sisipan, nilai tegangan ujungnya bernilai paling tinggi. Hal ini juga dikarenakan transformator sisipan berada paling dekat dengan beban ujung saluran tiang A12. Sehingga yang paling terpengaruh dengan adanya transformator sisipan adalah tegangan ujung tiang A12 tersebut.



Gambar 9. Perbandingan *drop* tegangan sebelum dan sesudah adanya transformator sisipan

Berdasarkan Gambar 9 diatas dapat dilihat bahwa nilai *drop* tegangan berkurang setelah adanya transformator sisipan, baik di jurusan A maupun di jurusan C. Penurunan nilai *drop* tegangan ini terjadi karena meningkatnya nilai tegangan pada setiap tiang ujung, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 8 Dari Gambar 9 diatas juga dapat

dilihat bahwa penurunan *drop* tegangan secara signifikan terjadi di tiang ujung A5.3 dan tiang ujung A12. Hal ini disebabkan oleh beban saluran tiang ujung A5.3 dan tiang ujung A12 dialihkan ke transformator sisipan. Sehingga, nilai *drop* tegangan di kedua tiang ujung tersebut paling terpengaruh oleh adanya transformator sisipan.

Dari Gambar 9 dan nilai *drop* tegangan pada Tabel 5 juga dapat dilihat bahwa sesudah adanya transformator sisipan nilai *drop* tegangan pada beban ujung saluran masih berada di atas 5%. Akan tetapi, dengan adanya transformator sisipan, tetap dapat menurunkan nilai *drop* tegangan pada beban ujung saluran. Hanya beban tiang ujung A12 yang *drop* tegangannya berada di bawah 5%, yaitu sebesar 3,46% di tiap fasanya. Hal ini disebabkan karena pada saat perancangan letak transformator sisipan, sedekat mungkin dengan tiang ujung yang mengalami *drop* tegangan tertinggi.

KESIMPULAN

Dari pembahasan dan analisis pada bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Letak transformator sisipan di JTR Transformator Distribusi AM097 yaitu di antara tiang A8 dan A9, dekat dengan lahan kosong yang memungkinkan pengembangan jaringan disaat yang akan datang.
2. Besar beban yang tersisa untuk Transformator utama AM097 sebesar 138,326 kVA dengan kapasitas transformator 200 kVA. Sedangkan beban yang dialihkan ke transformator sisipan adalah 47,31 kVA dengan kapasitas transformator 100 kVA.
3. Adanya penambahan transformator sisipan pada JTR Transformator Distribusi AM097 berpengaruh terhadap beberapa hal, diantaranya :
 - a. Kondisi pembebanan pada Transformator Distribusi AM097 mengalami penurunan dari 92,82% menjadi 69,16%, karena adanya pembagian beban ke transformator sisipan. Sehingga dengan persentase pembebanan 69,16% Transformator Distribusi AM097 tidak lagi mengalami *overload*.
 - b. Nilai rugi daya total pada saluran JTR Transformator Distribusi AM097 mengalami penurunan yang signifikan, dengan nilai rugi daya menjadi 4159,35 W.

- c. Pemasangan transformator sisipan pada Transformator Distribusi AM097 dapat meningkatkan tegangan ujung. Dari yang bernilai 183,85 V kini menjadi 222,3 V.
- d. Persentase *drop* tegangan pada Transformator Distribusi AM097 setelah adanya transformator sisipan terpasang disimulasikan dengan ETAP menjadi 3,46%. Pada ujung beban Tentunya hal ini masih dalam ketentuan regulasi tegangan PLN.

SARAN

1. Perlu adanya koordinasi yang baik antara pemerintah terkait dengan pihak PLN berkenaan dengan perencanaan beban di daerah tersebut. Hal ini bertujuan agar kebutuhan listrik di masyarakat dapat diprediksi sedini mungkin.
2. Berkaitan dengan penempatan transformator sisipan sebaiknya tidak hanya mengandalkan perhitungan saja, namun tetap dilakukan survei lokasi untuk mempertimbangkan pertumbuhan dan perkembangan beban untuk beberapa tahun ke depan agar mendapatkan hasil yang lebih baik bagi PLN maupun masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- Kadir, A., 2000, *Distribusi dan Utilisasi Tenaga Listrik*, Universitas Indonesia : Jakarta.
- PT. PLN (Persero), SPLN No. 72 Tahun 1987, Pengaturan Tegangan dan Turun Tegangan.
- PT. PLN (Persero), SPLN No. 50 Tahun 1977, Spesifikasi Transformator Distribusi.
- PT. PLN (Persero), 2010, *Buku 1 : Kriteria Disain Enjinering Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*, PT. PLN : Jakarta Selatan.
- PT. PLN (Persero), 2017, *Laporan Pemeratan Beban Gardu Ampenan*. AREA Mataram – Rayon Ampenan : Mataram.