

STUDI ANALISIS PENAMBAHAN TRANSFORMATOR SISIPAN UNTUK MENOPANG BEBAN LEBIH DAN DROP TEGANGAN PADA TRANSFORMATOR DISTRIBUSI KA 1516 PENYULANG BUDUK MENGGUNAKAN SIMULASI PROGRAM ETAP 7.0.

I Putu Sutawinaya, I Wayan Teresna dan Febry Setyacahyana P.

Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bali
Bukit Jimbaran, P.O.Box 1064 Tuban Badung-BALI
Phone : (0361)701981, Fax : (0361)701128

Abstrak: Transformator distribusi berfungsi untuk mentransformasikan energi listrik dari sumber listrik ke pelanggan. PT. PLN (Persero) sebagai perusahaan pengelola sistem tenaga listrik selalu berusaha memberikan pelayanan terbaik kepada pelanggannya. Untuk tetap dapat menjaga kualitas, maka keandalan sistem distribusi harus selalu terjaga dengan baik. Agar sistem distribusi tetap andal, maka prosentase pembebanan pada transformator distribusi tersebut jangan sampai melebihi ketentuan yaitu 80% dari bebannya. Begitu juga dengan drop tegangan di sisi pelanggan tidak lebih dari 10%.

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan data pengukuran dan hasil simulasi ETAP, diketahui terjadi kenaikan pembebanan pada transformator KA 1516 secara berkala. Begitu juga terjadi drop tegangan di sisi pelanggan paling ujung yang relatif besar, yaitu sebesar 18,48%.

Untuk dapat memperbaiki kondisi seperti ini, PT. PLN (Persero) telah berupaya untuk menambah suatu transformator sisipan dengan kapasitas sebesar 160 kVA. Berkenaan dengan pemasangan transformator sisipan tersebut, penulis membuat pemetaan terhadap tata letak Transformator tersebut di lokasi. Harapannya agar keandalan dan kontinuitas penyaluran energi listrik di lokasi tersebut tetap terjaga dengan baik.

Kata Kunci : transformator *over load*, drop tegangan, transformator sisipan

Study Analysis Of Additional Insertion Transformer To Prop Up Transformer Overload And Voltage Drop On Distribution Transformer KA 1516 On Buduk Feeder Using Etap 7.0 Program Simulation

Abstract : *Distributing transformer functions to transform electric energy from its source to customers. PT. PLN (Persero) as the electric power system managing company always does endeavor to give the best possible service. In order for the distributing system to be able to always keep quality, problem of distributing system shall always be maintained properly. To keep it sufficient, the loading percentage on distributing transformer shall not exceed the standart ; that is 80 % of the total load. In addition, voltage drop shall not exceed 10 %.*

Base on the counting result uses measuring data ETAP simulation result, it was faound that an increase on loading in Transformer KA 1516 occurred repeatedly. Moreover, a relatively high voltage drop also occurred on the last customer, in the amount of 18,48 %.

In order to fix the condition, PT PLN (Persero) has enhanced to add a new transformer with capacity 160 kVA. Pursuant to the installation, a layout mapping of transformer is made by the researcher. This is expected that the electric powers reliability and distribution can continuouslybe maintained.

Keywords : *over load transformer, voltage drop, insertion transformer*

I. PENDAHULUAN

Dalam menyalurkan energi listrik, PT. PLN (Persero) Distribusi Bali dibagi atas 13 Rayon. Masing-masing Rayon terdiri atas beberapa Penyulang tergantung kepadatan beban yang dipikulnya. Pada penyulang Buduk, terdapat 71 transformator distribusi yang sedang beroperasi. Salah satu dari transformator adalah transformator pada Gardu Distribusi KA 1516 yang berada pada daerah Batu Bolong, Desa Canggung, Badung Selatan. Prosentase pembebanan (bobot

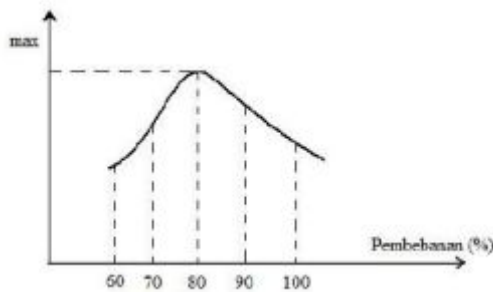
beban) transformator KA 1516 ini tiap semesternya mengalami kenaikan yang relatif besar. Disamping itu juga, drop tegangan ujung di sisi pelanggan berdasarkan hasil perhitung sebesar 18,48 %, tentunya ini telah melampaui ketentuan regulasi PT. PLN (Persero), yakni sebesar 10 % berdasarkan SPLN 72, 1987.

Drop tegangan ujung adalah salah satu masalah yang sering dikeluhkan oleh konsumen, terutama pelanggan yang berada di ujung ujung jaringan. Hal

ini didukung juga dengan adanya laporan dari warga yang menyatakan bahwa sering terjadinya penerangan lampu yang redup (nyala lilin) terutama pada malam hari (WBP). Salah satu cara untuk mengatasi masalah drop tegangan ujung dan kelebihan prosentase pembebanan (*overblast*) yang dipikul oleh transformator pada Gardu Distribusi KA 1516 di Penyulang Buduk ini adalah dengan memasang transformator sisipan. Pemasang transformator sisipan ini diharapkan akan berdampak baik pada penyaluran energi listrik ujung dan penekanan *losses*.

II. STUDI LITERATUR

- Menurut SPLN, transformator *overload* apabila beban transformator melebihi 80% dari kapasitas transformator (*nameplate*) atau arus nominal (In).



Gambar 1. Rating Pembebanan Transformator

- Menurut Frank D. Petruzella , dalam menghitung persentase pembebanan suatu transformator dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\% \text{ Pembebanan} = \frac{V \times I \times \sqrt{3}}{\text{Kapasitas}} \times 100\%$$

- Menurut Daryanto (2011), drop tegangan merupakan selisih antara tegangan pada pangkal pengiriman (*sending end*) dan tegangan pada ujung penerimaan (*receiving end*) tenaga listrik. Tegangan jatuh relatif dinamakan regulasi tegangan V_R (*Voltage Regulation*). Sehingga dapat dihitung:

$$V_R(\%) = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\%$$

- Pemilihan kapasitas kVA transformator distribusi didasarkan pada beban yang akan dilayani. Diusahakan prosentase pembebanan transformator distribusi mendekati 80%. Bila beban transformator terlalu besar, maka dilakukan penggantian transformator, penyisipan transformator atau mutasi transformator.

Rating transformator dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

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

- Jarak transformator yang terlalu jauh dengan beban yang akan dilayani, maka menyebabkan *voltage drop* yang besar. Oleh sebab itu pada saat pendataan kVA transformator harus diperhatikan jarak maksimum dari transformator distribusi tersebut terhadap konsumen^[16]. Perhitungan penempatan transformator dapat dihitung dengan rumus:

$$L_{max} = \frac{10\% \times V_{lvc}}{I_{beban\ puncak} \times r_{saluran}}$$

- ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) merupakan *software full* grafis yang dapat digunakan sebagai alat analisa untuk mendesain dan menguji kondisi secara *off line* dalam bentuk modul simulasi, monitoring data operasi secara *real time*, simulasi sistem secara *real time*, optimasi, manajemen energi sistem dan simulasi *intelligent load shedding*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Obyek Penelitian

Melihat daerah penelitian yang luas dan berbagai jenis transformator yang ada pada berbagai penyulang (*feeders*) PT. PLN (Persero) Rayon Mengwi, penulis mengambil salah satu transformator yang telah dikategorikan *overblast* sebagai obyek penelitian. Transformator tersebut berada pada penyulang Buduk dengan kode Gardu Distribusi KA 1516 yang bermerk Trafindo dan memiliki kapasitas daya 160 kVA. Gardu Distribusi KA 1516 ini terletak di jalan Pantai Batu Bolong di bawah pengawasan PT. PLN (Persero) Distribusi Bali Rayon Mengwi.

Pada umumnya, sebuah transformator dapat dikatakan *overblast* apabila kapasitas beban yang telah dipikul transformator tersebut telah melebihi batas pembebanan sebuah transformator. Kapasitas maksimal pembebanan sebuah transformator oleh PT. PLN (Persero) Distribusi Bali dibatasi nilai prosentasenya tidak boleh lebih dari 80 %.

3.2. Data Pengukuran Gardu Distribusi KA 1516

Adapun riwayat data semesteran hasil pengukuran yang dilakukan oleh PT. PLN (Persero) Rayon Mengwi di Penyulang Buduk adalah :

Tabel 1. Rekapitulasi Data Semesteran Gardu Distribusi KA 1516

Tgl	Jam	Arus Induk (ampere)				Tegangan Induk (volt)					
						Fasa - Fasa			Fasa - Netral		
		IR	IS	IT	IN	RS	RT	ST	RN	SN	TN
24/11/12	20.00	230	175	200	75	385	400	396	225	223	228
24/06/13	19.25	240	170	202	84	387	402	392	226	224	230
26/11/13	20.10	200	191	224	54	388	401	397	225	223	228

Dalam penelitian ini, penulis juga melakukan observasi ke obyek penelitian untuk melakukan pengamatan dan pencatatan data-data yang dibutuhkan. Observasi difokuskan di penyulang Buduk khususnya pada jaringan distribusi dari gardu distribusi KA 1516 hingga ke beban (pelanggan).

Tabel 2. Rataan Data Pengukuran Arus dan Tegangan Induk Gardu Distribusi KA 1516

Arus Induk (ampere)				Tegangan Induk (volt)					
				Fasa - Fasa			Fasa - Netral		
IR	IS	IT	IN	RS	RT	ST	RN	SN	TN
214	186,6	217,8	50.1	386.75	394	392.125	224.75	223	226.5

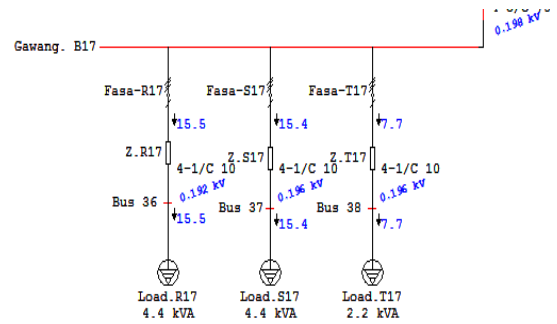
Tabel 3. Rataan Data Pengukuran Tegangan Ujung di Sisi Pelanggan

Tegangan Ujung (volt)					
Jurusan B			Jurusan D		
R	S	T	R	S	T
189.7	194.2	194.3	207.6	210.4	207.4

3.3. Perancangan Simulasi Jaringan Distribusi Menggunakan ETAP

ETAP digunakan untuk menghitung jatuh tegangan ujung masing-masing jurusan pada gardu distribusi KA 1516. Data yang diperlukan dalam simulasi ETAP pada gardu ini di antaranya data bus JTR dan beban, data kapasitas trafo, data impedansi penghantar penghantar serta data daya terpasang pada pelanggan. Adapun cuplikan gambar hasil simulasi pada ujung jaringan jurusan B dengan ETAP adalah seperti terlihat pada gambar 2.

Selanjutnya program dioperasikan (*running*) pada *setting unbalance load flow analysis*. Hasil simulasi ditampilkan pada blok *report manager*. Adapun data hasil simulasi yang dicuplik adalah data-data yang terkait dengan perhitungan untuk mendapatkan prosentase pembebanan dan drop tegangan seperti tertuang pada Tabel 4.



Gambar 2. Hasil simulasi ETAP tegangan ujung pelanggan Jurusan B

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Simulasi Program ETAP

Arus Induk (ampere)			Tegangan Ujung (volt)					
			Jurusan B			Jurusan D		
IR	IS	IT	Fasa R	Fasa S	Fasa T	Fasa R	Fasa S	Fasa T
221,2	175,5	222,8	192	196	196	209	213	210

3.4. Perhitungan Pembebanan Transformator

Terlihat dari hasil pengukuran arus induk terjadi peningkatan pada tiap semesternya, hal ini dikarenakan oleh bertambahnya pelanggan pada gardu distribusi KA 1516 ini pada tiap semesternya. Begitu pula pada tegangan induknya, baik itu pada fasa – fasa maupun pada fasa – netral. Untuk lebih jelasnya mengenai kondisi pembebanan transformator gardu distribusi KA 1516 dapat dihitung sebagai berikut :

Arus rata-rata total di masing-masing fasa dapat dilihat dari data hasil pengukuran pada Tgl. 24 Nopember 2012 yang kemudian I rata-rata dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 I \text{ rata-rata} &= \frac{IR+IS+IT}{3} \\
 &= \frac{230 \text{ A}+175 \text{ A}+200 \text{ A}}{3} \\
 &= \frac{605 \text{ A}}{3} \\
 &= 201,667 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Dengan demikian prosentase pembebanan Trafo adalah :

$$\begin{aligned}
 \% \text{ Pembebanan} &= \frac{400 \text{ V} \times 201,667 \text{ A} \times \sqrt{3}}{160.000 \text{ VA}} \times 100\% \\
 &= \frac{139718,9961 \text{ VA}}{160.000 \text{ VA}} \times 100\% \\
 &= 87,324 \%
 \end{aligned}$$

Untuk selanjutnya, besarnya prosentase pembebanan transformator pada Gardu Distribusi KA 1516 dapat

dihitung dengan cara seperti di atas. Adapun hasil perhitungannya seperti Tabel 5.

Tabel 5. Rekapitulasi Prosentase Pembebanan Gardu Distribusi KA 1516

Prosentase pembebanan 24/11/2012	Prosentase pembebanan 24/06/2013	Prosentase pembebanan 26/11/2013	Prosentase pembebanan data pengukuran	Prosentase pembebanan data hasil ETAP
87,32 %	88,33 %	88,76 %	89,25%	89,40%

3.5. Perhitungan Drop Tegangan

Perhitungan prosentase drop tegangan pada Jurusan B fasa R menggunakan data pengukuran Tabel 2 dan Tabel 3. adalah sebagai berikut :

$$V_R(\%) = \frac{V_s - V_r}{V_r} \times 100\%$$

$$V_R(\%) = \frac{224,75 - 189,7}{189,7} \times 100\% = 18,48 \%$$

Jadi, prosentase drop tegangan pada fasa R di jurusan B dengan data pengukuran adalah 18,48 %. Perhitungan drop tegangan dengan data hasil ETAP caranya sama seperti di atas.

Tabel 6. Hasil perhitungan drop tegangan jurusan B dan D sesuai data pengukuran dan simulasi ETAP

Dasar Data	Prosentase Drop Tegangan (%)					
	Jurusan B			Jurusan D		
	R	S	T	R	S	T
Pengukuran	18,48	15,73	15,67	8,26	6,82	8,37
ETAP	17,05	14,67	14,67	7,54	5,51	7,02

3.6. Transformator Sisipan

Berdasarkan Tabel 5 terlihat besar prosentase pembebanan transformator menggunakan dasar data pengukuran terakhir yaitu sebesar 89,25 %, sehingga dapat dihitung juga kelebihan bebannya yaitu :

$$= 89,25 \% - 80 \%$$

$$= 9,25 \%$$

Sedangkan 9,25 % dari 160 kVA adalah sebesar :

$$= \frac{9,25 \%}{100 \%} \times 160000$$

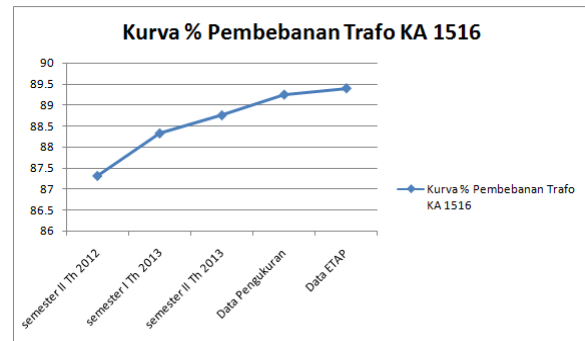
$$= 14800 \text{ VA}$$

Selanjutnya dapat kita hitung kapasitas transformator yang dibutuhkan untuk menopang kekurangan daya pada jaringan gardu distribusi KA 1516 adalah sebagai berikut:

$$\frac{\text{KVA Beban (KVA)}}{0,8} = \frac{14,8}{0,8} = 18,50 \text{ kVA}$$

3.7. Analisis

- Analisis terhadap Pembebanan Transformator



Gambar 3. Kurva Prosentase Pembebanan Gardu Distribusi KA 1516

Sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan yaitu besarnya pembebanan yang diijinkan pada transformator adalah sebesar 80% dari kapasitas atau arus nominal (In) transformator tersebut. Dengan demikian, karena prosentase pembebanan (bobot beban) telah melampaui standar yang diijinkan oleh pihak PLN sebesar 80 %, maka transformator pada Gardu Distribusi KA 1516 ini dinyatakan telah mengalami *overblast (overload)*. Untuk menjaga kontinuitas penyaluran energi listrik serta untuk tetap dapat mempertahankan kualitas pelayanan pada pelanggan, maka pihak PLN sudah semestinya memperhatikan hal ini.

Banyak cara yang dapat dilakukan untuk dapat mengatasi kondisi *overblast* suatu transformator. Namun dalam penelitian ini penulis hanya melakukan analisis terhadap transformator sisipan untuk dapat mengatasi kondisi *overblast* transformator pada Gardu Distribusi KA 1516 tersebut.

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, diketahui bahwa kapasitas transformator yang dibutuhkan minimal sebesar 18,50 kVA. Namun perlu juga diperhatikan parameter-parameter atau faktor-faktor lain dalam menentukan kapasitas transformator yang akan dipasang. Faktor-faktor lain yang perlu diperhatikan selain mengacu pada hasil perhitungan tersebut adalah kondisi perkembangan beban di lokasi, untuk itu dibutuhkan suatu perencanaan yang lebih pasti.

Lokasi Gardu Distribusi KA 1516 adalah pada daerah obyek wisata yang sedang berkembang, yakni di sekitar Desa Cunggu dekat Pantai Batu Bolong.

Berdasarkan pertimbangan ini, maka pihak PLN sebagai penyedia energi listrik berencana akan memasang Transformator sisipan sebesar 160 kVA.

• Analisis terhadap Drop Tegangan

Dari hasil pengukuran diketahui tegangan ujung yang terendah ada pada fasa R gawang 17 jurusan B, yakni sebesar 189,7 volt, atau terjadi drop tegangan sebesar 18,48%.

Di samping menggunakan acuan data hasil pengukuran, Penulis juga melakukan analisis dari hasil simulasi program ETAP 7.0. Tegangan ujung yang terendah terjadi juga pada fasa R gawang 17 di jurusan B yakni sebesar 192 volt, atau terjadi drop tegangan sebesar 17,05 %.

Kedua hasil analisis tersebut menunjukkan bahwa pada jaringan distribusi yang disuplai dari Gardu Distribusi KA 1516 telah terjadi drop tegangan yang cukup besar, dan telah melampaui standar yang diijinkan sesuai SPLN 72, 1987. Sesuai dengan regulasi tegangan yang ditentukan oleh PLN, perancangan jaringan dibuat agar jatuh tegangan di ujung tidak melebihi dari 10%.

Salah satu cara untuk mengatasi masalah drop tegangan ujung adalah dengan memasang transformator sisipan, dengan prinsip kerja membagi dua beban yang terdapat pada transformator sebelumnya (Gardu Distribusi KA 1516). Pemasangan transformator sisipan ini akan berdampak baik pada penyaluran energi listrik dan penekanan *losses*.

• Analisis terhadap Tata Letak Transformator

Untuk letak yang ideal dalam penempatan transformator sisipan dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

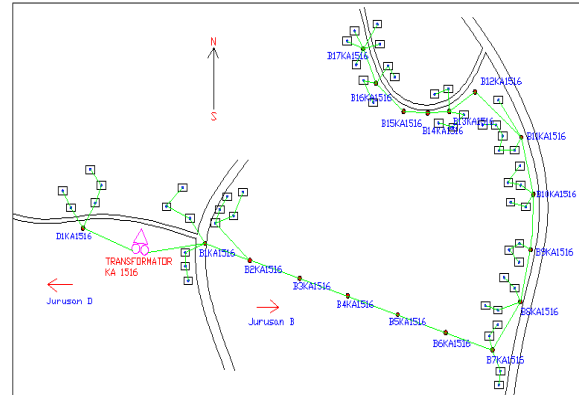
$$L = \frac{10\% \times V_{luc}}{I_{beban\ puncak} \times R_{saluran}}$$

$$= \frac{10\% \times 400}{206,16 \times 0,335}$$

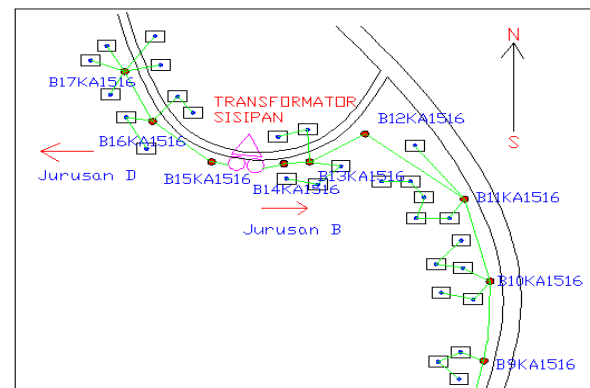
$$= \frac{40}{69,06} = 0,5792 \text{ km}$$

Jadi, berdasarkan hasil perhitungan seperti di atas, maka jarak jaringan yang paling ideal untuk menempatkan transformator sisipan tersebut adalah 579,2 meter dari gardu distribusi KA 1516.

Berdasarkan pertimbangan secara teoritis (hasil perhitungan), serta pertimbangan kondisi lapangan (perkembangan beban di lokasi), maka penulis mencoba membuat suatu pemetaan penempatan transformator sisipan tersebut seperti Gambar 4, sekaligus sebagai usulan kepada pihak PLN.



Gambar 4. Pemetaan Pelanggan Gardu Distribusi KA 1516 Kondisi Awal (sebelum ada Transformator sisipan)

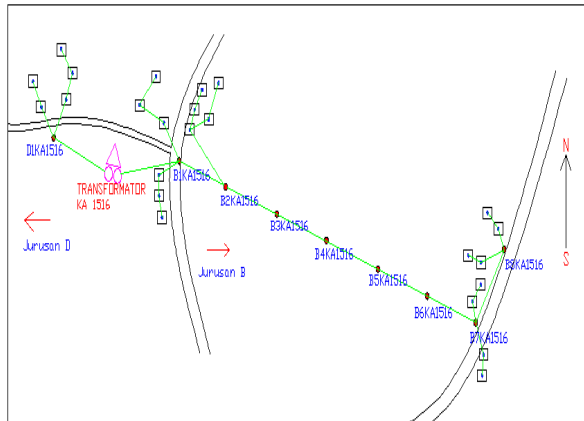


Gambar 5. Pemetaan Transformator sisipan (sebagai usulan).

Di mana :

- Kapasitas transformator sisipan yang diusulkan untuk dipasang adalah sebesar 160 kVA dengan 1 (satu) Tiang beton 9 meter.
- Transformator sisipan ditempatkan lebih dekat dengan tiang nomor B14KA1516 menuju arah barat.
- Panjang saluran transformator sisipan dari Gardu Distribusi KA 1516 adalah sekitar 1020 meter.
- Beban (daya terpasang) yang akan dipikul transformator sisipan adalah beban mulai dari Gawang B9 hingga B17 yaitu sebesar 88.900 VA.

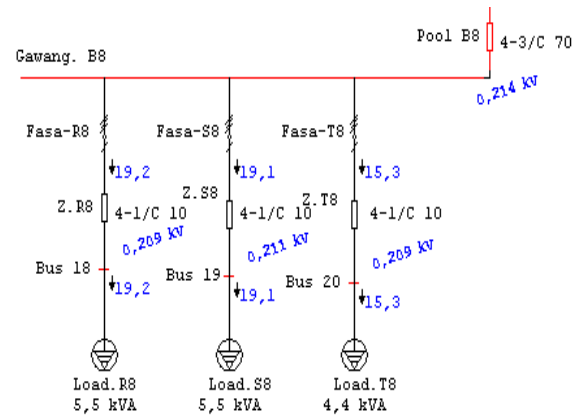
Setelah transformator sisipan dipetakan sesuai pada gambar 5 di atas, maka jaringan distribusi pada Gardu Distribusi KA 1516 menjadi seperti gambar 6 berikut.



Gambar 6. Jaringan distribusi Gardu Distribusi KA 1516 setelah Transformator Sisipan Terpasang.

Di mana:

- a. Dengan adanya usulan pemetaan transformator sisipan seperti Gambar 5, maka transformator pada Gardu Distribusi KA 1516 akan menopang sisa beban pada gawang DIKA1516 serta pada gawang B1KA1516 hingga B8KA1516 seperti Gambar 6 di atas, dengan sisa daya terpasang sebesar 70.500 VA
- b. Gardu Distribusi KA1516 yang memiliki beban terbaru sebesar 70.500 VA dari maksimal 160.000 VA masih memiliki kemungkinan untuk adanya penambahan pelanggan baru atau pelanggan lama yang ingin menambah dayanya.
- c. Selain itu juga dapat mengembangkan jaringan atau gawang baru pada jurusan D dikarenakan pada lokasi tersebut masih banyak ada tanah kosong.
- d. Sedangkan untuk hasil simulasi ETAP yang *di-running* setelah sebagian beban Gardu Distribusi KA 1516 berkurang karena telah dipikul oleh transformator sisipan adalah seperti Gambar 7. Pada gambar tersebut terlihat bahwa tegangan ujung pada jurusan B untuk : Load R8 adalah sebesar 209 volt, Load S8 adalah sebesar 211 volt dan Load T8 adalah sebesar 209 volt.
- e. Bila dibandingkan dengan tegangan ujung pada kondisi sebelum beban transformator pada Gardu Distribusi KA 1516 dipikul Transformator sisipan, terjadi kenaikan tegangan ujung yang relatif besar, yakni sebesar 17 volt (209 V-192 V) pada Load R8 dan Load T8.
- f. Dengan demikian, prosentase drop tegangan (regulasi tegangan) pada Gardu Distribusi KA 1516 setelah nantinya transformator sisipan terpasang akan menjadi 7,5%. Tentunya hal ini masih dalam ketentuan regulasi tegangan oleh PLN.



Gambar 7. Hasil Simulasi ETAP jaringan distribusi Gardu KA 1516 pada Jurusan B (setelah ada transformator sisipan)

IV. SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Simpulan

Dari pembahasan dan analisis di atas, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- (1) Kondisi pembebanan pada transformator Distribusi KA 1516 telah menunjukkan kenaikan yang relatif besar tiap semesternya, yakni sebesar : 87,32 % (semester II Tahun 2012), 88,33 % (semester I Tahun 2013), 88,76 % (semester II Tahun 2013), 89,25 % (data pengukuran Tgl.16 - 25 Juni 2014) serta 89,40 % (data hasil simulasi program ETAP).
- (2) Terjadi drop tegangan di sisi pelanggan (ujung) yang relatif besar, diketahui tegangan ujung yang terendah ada pada fasa R gawang 17 jurusan B, yakni sebesar 189,7 volt, atau terjadi drop tegangan sebesar 18,48 %.
- (3) Untuk dapat mengatasi permasalahan drop tegangan dan *overblast (overload)* pada transformator KA 1516 ini, PT. PLN (Persero) Distribusi Bali dalam hal ini Rayon Mengwi berupaya melakukan penambahan Transformator sisipan dengan kapasitas sebesar 160 kVA.
- (4) Penulis membuat usulan pemetaan tata letak transformator sisipan pada posisi 39 meter menuju arah barat, lebih dekat dengan tiang nomor B14KA1516 serta B15KA1516 dengan panjang saluran sekitar 1020 meter dari Gardu Distribusi KA 1516.
- (5) Prosentase drop tegangan pada Gardu Distribusi KA 1516 setelah transformator sisipan terpasang yang disimulasikan dengan ETAP

menjadi 7,5%. Tentunya hal ini masih dalam ketentuan regulasi tegangan oleh PLN.

4.2 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 agar mendapatkan keputusan yang lebih bijak bagi PLN maupun masyarakat.

- [13] S, J.C. Power System Analysis (Short-Circuit, Load Flow and Harmonic) Amec, inc. Atlanta, Georgia. 2002.
- [14] SPLN D3.002-1:2007 Spesifikasi Transformator Distribusi.
- [15] Sumanto, MA, *Teori Transformator*, Jakarta: Andi Yogyakarta, 1991.
- [16] Syafriyudin. *Perhitungan Lama Waktu Pakai Transformator* [Online]. Available : <http://jurtek.akprind.ac.id/sites/default/files/88-95-dien.pdf>. (Accessed 24 July 2014)
- [17] Wahyudi Sarimun, *Buku Saku Pelayanan Teknik*, Jakarta: Garamond, 2011.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdul Kadir, *Distribusi Dan Utilisasi Tenaga Listrik*, Jakarta: Universitas Indonesia, 2000.
- [2] Abdul Kadir, *Transformator*, Jakarta: Universitas Indonesia, 1977.
- [3] Daman Suswanto. *Sistem Distribusi Tenaga Listrik* [Online]. Available : <http://daman48.files.wordpress.com/2010/11/materi-9-gardu-distribusi.pdf>. (Accessed 26 July 2014)
- [4] Daryanto, *Teknik Listrik (Lanjutan)*, Bandung: Satu Nusa, 2011.
- [5] Drs Yon Rijono, *Dasar Teknik Tenaga Listrik*, Ed. III, Yogyakarta: Andi, 2014.
- [6] Frank D. Petruzella, *Elektronok Industri*, Jakarta: Andi Offset, 2001.
- [7] Hasan Basri, *Sistem Distribusi Daya Listrik*, Jakarta: ISTN, 1997.
- [8] Muhaimin, *Instalasi Listrik I*, Bandung: Pusat Pengembangan Pendidikan Politeknik, 1995.
- [9] PT. PLN (Persero), Buku 1 *Kriteria Disain Enjinerig Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*, Jakarta Selatan: PT. PLN (Persero), 2010.
- [10] PT. PLN (Persero), Buku 4 *Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik*, Jakarta Selatan: PT. PLN (Persero), 2010.
- [11] PT PLN (Persero), "Tegangan – Tegangan Standar, Indonesia. SPLN 1 Tahun 1995, tanggal 25 Agustus 1995.
- [12] PT. PLN (Persero), *Teori Transformator*, PT. PLN (Persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan (Pusdiklat).