

PENGARUH PEMAKAIAN BEBAN TIDAK SEIMBANG TERHADAP UMUR PERALATAN LISTRIK

Zuraidah Tharo, ST., MT¹⁾, Amani Darma Tarigan, ST., MT²⁾, Rahmadsyah
Pulungan, ST³⁾

Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Pembangunan Pancabudi
- zuraidahtharo@dosen.pancabudi.ac.id
amanidarmatarigan@dosen.pancabudi.ac.id

Abstrak

Pemakaian Beban yang tidak seimbang merupakan hal yang dianggap biasa bagi konsumen listrik, dan banyak dijumpai di lapangan. Banyak nya Gardu Distribusi 20 KV yang terpasang untuk melayani pengguna energi listrik, dan kurangnya manajemen pengaturan pemasangan kWh Meter berdasarkan profil masing – masing pelanggan yang berbeda satu sama lain, serta pemakaian energi listrik yang bervariasi disetiap pelanggan menyebabkan pembebanan pada Trafo Distribusi tidak seimbang. Hal ini menimbulkan permasalahan lain, yaitu hilangnya energi listrik akibat ketidakseimbangan Beban Listrik di tiap phasanya. Oleh karena itu, penulis melakukan analisa pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap umur peralatan listrik . Selanjutnya menerapkan langkah yang tepat untuk melakukan penyeimbangan beban Trafo tersebut, sehingga diharapkan konsumen lebih memahami akibat dari Ketidakseimbangan Beban Listrik.

Kata Kunci: Trafo Distribusi, Ketidakseimbangan Beban, Umur Peralatan Listrik.

1. PENDAHULUAN

Proses penyaluran energi listrik dimulai dari pembangkitan (PLTA, PLTM, PLTMG, PLTB, PLTS) lalu ke Transmisi (SUTET, SUTT) selanjutnya ke Distribusi (TM) dan berakhir di Konsumen (TR). Proses tersebut merupakan tahapan proses penyaluran energi listrik untuk dapat sampai ke konsumen. Dari sisi Distribusi Tegangan Menengah (TM) sehingga sampai ke konsumen Tegangan Rendah (TR), harus melalui proses penurunan tegangan melalui sebuah Trafo Distribusi TM 20 kV. Trafo Distribusi 20 kV berfungsi untuk menurunkan Tegangan, dari tegangan 20 kV menjadi tegangan 400/231 Volt, sehingga dapat dimanfaatkan sesuai dengan tegangan konsumsi di masyarakat.

Trafo 20 kV menggunakan sistem belitan 3 fasa (delta – wye), untuk delta di sisi Tegangan Menengah, dan wye di sisi Tegangan Rendah. Pendistribusian TR kepada konsumen terdiri dari 3 fasa, yaitu Fasa R, Fasa S, Fasa T ditambah Netral. Konsumen PLN Tegangan Rendah dibagi menjadi 2 kelompok lagi berdasarkan penggunaan phasanya, yaitu pelanggan 3 fasa dan 1 fasa. Kemudian, dibagi lagi berdasarkan kontrak beban yang berbeda – beda di tiap fasa, sehingga di dalam penggunaan energi di tiap konsumen semakin bervariasi. Dari masalah tersebut timbul permasalahan lain, yaitu ketidakseimbangan penggunaan beban yang berdampak langsung terhadap nilai arus di tiap fasa R, S dan T yang berbeda – beda.

Ketidakseimbangan beban, akan menimbulkan dampak kerugian bukan hanya bagi perusahaan PLN tetapi juga konsumen. Kerugian bagi PLN diantaranya adalah banyaknya energi yang tidak tersalurkan, nilai pelayanan tegangan yang tidak tercapai, memperpendek usia peralatan kelistrikan dan gangguan penyaluran sering terjadi. Sedangkan kerugian bagi Konsumen diantaranya adalah kualitas tegangan rendah yang diterima buruk, sehingga energi listrik yang digunakan tidak sesuai dengan kebutuhan peralatan listrik rumah tangga konsumen.

Ketidakseimbangan tersebut akan berdampak langsung untuk Trafo Distribusi 20 kV, mulai dari arus terhadap beban yang nilainya berbeda – beda di tiap phasanya, sehingga di sisi Netral akan memiliki nilai arus. Dalam keadaan normal, bila di fasa R, S dan T dalam keadaan

seimbang, arus di Netral adalah 0. Netral yang memiliki nilai arus, tentu akan mengakibatkan kerusakan peralatan dan kerugian. Kerusakan yang akan timbul mulai dari kerusakan Trafo Distribusi 20 kV, Peralatan PHB-TR (Peralatan Hubung Bagi-Tegangan Rendah), Saluran Kabel Tegangan Rendah (SKTR), Saluran Rumah (SR) dan kWh. Sedangkan kerugian yang akan timbul adalah hilangnya energi listrik dari sisi netral dan grounding dan mutu tegangan pelayanan tidak tercapai.

Upaya – upaya yang dapat dilakukan untuk menyeimbangkan beban di tiap 3 fasa yaitu melalui proses penyeimbangan dengan metode – metode yang sesuai dengan kondisi penyaluran dan profil konsumen. Dengan menerapkan metode yang benar, diharapkan terjadinya penurunan susut energi dari sisi ketidakseimbangan beban Trafo Distribusi 20 kV. Kondisi tersebut menyebabkan masalah lain yaitu dari segi menurunnya umur Trafo dan hilangnya energi yang seharusnya dapat dimanfaatkan tetapi menjadi susut distribusi di tiap Trafo Distribusi 20 kV. sehingga menyebabkan ketidakseimbangan beban Trafo semakin tidak terkendali. dampak kerugian yang semakin besar. Diantar Gardu – gardu Distribusi 20 kV tersebut, terdapat banyak sekali Trafo yang keseimbangannya $> 30\%$ sehingga menjadi target penyeimbangan beban.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian atau analisa permasalahan dilihat dari seringnya terjadi kerusakan peralatan listrik yang digunakan, hal ini menimbulkan keingintahuan apa penyebab kerusakan peralatan tersebut, setelah diperiksa jaringan instalasi listrik tidak ada masalah, maka penelitian dititikberatkan pada Trafo Distribusi 20 KV dan pengaruhnya terhadap umur peralatan akibat ketidakseimbangan beban. Adapun parameter yang diamati dalam penelitian ini adalah:

1. Trafo Distribusi 20 KV
2. Beban 3 phase pada Trafo Distribusi 20 KV
3. Peralatan Listrik yang mengalami kerusakan

Data diperoleh dari beberapa pelanggan listrik disekitar peneliti.

Langkah-langkah analisis data:

Penetapan Target Penyeimbangan

Berdasarkan *Unbalanced Load* yaitu tidak boleh $> 30\%$ dari kapasitas trafo, maka dapat dilakukan penyaringan berdasarkan hasil data triwulan (Oktober-Desember) pengukuran beban gardu – gardu distribusi 20 kV wilayah kerja PT. PLN (Persero) Rayon Medan Baru.

Simulasi Penyeimbangan Beban

Berdasarkan dari data pengukuran beban WBP dan LWBP, terlebih dahulu dilakukan simulasi pembagian beban di tiap fasa, untuk mengetahui seberapa besar beban yang dipindahkan di masing – masing fasa. Untuk keberhasilan pekerjaan penyeimbangan beban metode WBP dan LWBP ini perlu diatur urutan kerja, sehingga hasilnya bisa maksimal. Urutan kerja atau Standar Operasi dari penyeimbangan beban metode WBP dan LWBP ini, adalah disusun sebagai berikut :

1. Tentukan trafo yang akan diseimbangkan.
2. Amati JTR(Jaringan Tegangan Rendah) untuk semua jurusan sampai ke ujung jaringan.
3. Catat hal-hal menarik yang ditemukan seperti :
 - a. Ada satu percabangan yang jaringannya cuma terdiri dari 2 phase saja
 - b. Dimana saja terdapat penyambungan JTR
 - c. Dimana saja terdapat SR seri
 - d. Dimana saja terdapat pelanggan 3 phase
 - e. Dimana saja terdapat pelanggan besar 1 phase
 - f. Dimana saja terdapat pelanggan non rumah tangga
 - g. Apakah ada beban PJU
 - h. Apakah ada beban warung-warung tenda yang hanya buka malam hari saja.
4. Lakukan pemberian tanda pada jaringan TR yang akan dikerjakan.
5. Lakukan pengukuran beban (sebelum diseimbangkan) dengan tang ampere pada waktu malam hari dan siang hari, yang tepat/baik dengan kriteria sebagai berikut :

- a. Cuaca normal/cerah (tidak mendung/hujan)
- b. Gardu yang akan diukur tidak sedang kena jadwal giliran pemadaman
- c. Pada saat pengukuran adalah saat hari kerja (bukan hari libur). Sebaiknya antara hari Senin s/d Kamis.
- d. Pada gardu yang akan diukur dalam kondisi normal, tidak sedang ada acara-acara keramaian (panggung terbuka, final piala dunia, dll).
- e. Selama proses pengukuran jangan ada satupun kegiatan penyeimbangan di lapangan, seperti pengidentifikasian phase atau ampere pelanggan.
6. Masukkan data pengukuran ke simulasi penyeimbangan WBP dan LWBP dan cobalah untuk disimulasi walaupun pada simulasi kali ini kita belum bisa menyimulasi secara tepat karena belum ada data tepat mengenai:
 - a. Tiap pelanggan berapa di phase apa
 - b. Dari “phase apa ke phase apa” pelanggan akan dipindahkan.
 - c. “Kira-kira pelanggan apa saja” yang akan dipindahkan.
 - d. “seberapa besar ampere” yang akan dipindahkan.
 - e. Cetak/print “Rekomendasi Pemindahan Pelanggan”
 - f. Berikan lembar Cetakan “Rekomendasi Pemindahan Pelanggan” ke petugas untuk dieksekusi di lapangan.
 - g. Persiapkan semua perlengkapan pekerjaan, perlengkapan K2K3, Form penyeimbangan, dan Alat komunikasi. Lakukan Koordinasikan dengan para pihak yang terkait jika diperlukan kegiatan pemadaman.
 - h. Lakukan pekerjaan pemindahan beban untuk pekerjaan penyeimbangan beban.
 - i. Lakukan pengukuran ulang, paska pelaksanaan pekerjaan penyeimbangan beban pada jam yang relative sama pada saat pengukuran, bandingkan perbedaan sebelum dan sesudah pelaksanaan pekerjaan penyeimbangan beban.
 - j. Lakukan kajian beban, dan berikan analisa langkah-langkah apa yang akan dilakukan dengan menata kembali beban per fasa per jurusan. bila ternyata hasil tidak signifikan, maka lakukan penyeimbangan tahap ke dua dalam kurun waktu satu minggu.
 - k. Masukkan data pengukuran hasil pekerjaan di lapangan dan cocokkan dengan data hasil simulasi penyeimbangan sebelumnya. Evaluasi dan analisa.
 - l. Cetak/print lembar “Evaluasi”. Dari lembar evaluasi ini bisa dilihat seberapa baik hasil penyeimbangan yang telah dilaksanakan.

Berdasarkan data hasil simulasi perhitungan sederhana yang telah dilakukan, akan lebih mudah menentukan perpindahan nilai arus yang harus dilakukan, tetapi tidak menutup kemungkinan perpindahan nilai arus dilakukan berdasarkan kondisi di lapangan. Bukan hanya faktor profil pelanggan, tetapi ada faktor teknis yang lain menjadi pertimbangan, seperti kondisi pembebanan di tiap jurusan. Proses penyeimbangan dilakukan berdasarkan hasil pengukuran WBP dengan pertimbangan hasil pengukuran LWBP di saat proses penyeimbangan di lapangan. Berikut beberapa kondisi penyeimbangan yang telah dilakukan bersarkan simulasi dan faktor teknis yang terjadi selama proses penyeimbangan. Mengukur tahanan pembumian netral trafo bertujuan untuk mengetahui seberapa besar nilai hambatan dari fasa netral trafo sehingga dapat digunakan sebagai perhitungan nilai *losses* akibat ketidakseimbangan dari fasa R – S – T pada sebuah trafo distribusi 20 kV. Dengan menggunakan *Digital Earth Tester* dapat diketahui nilai tahanan grounding masing – masing gardu.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Penyeimbangan Berdasarkan Simulasi Vs Kondisi Lapangan

Ada beberapa perbedaan point perbedaan antara penyeimbangan berdasarkan simulasi beban hasil pengukuran dengan penyesuaian penyeimbangan beban berdasarkan kondisi lapangan, diantaranya:

1. Penyeimbangan berdasarkan data hasil pengukuran beban dengan metode pemerataan nilai arus ditiap fasanya hingga mencapai nilai rata – rata bukan merupakan patokan mutlak

untuk dijadikan ketetapan penyeimbangan di lapangan, melainkan menjadi sebuah acuan seberapa besar nilai beban yang akan dialihkan maupun diambil di masing – masing fasa yang membutuhkan. Karena bila mutlak berpatokan terhadap nilai pengalihan beban berdasarkan simulasi, akan sangat sulit untuk memperoleh nilai tersebut disebabkan nilai penggunaan beban di masing – masing pelanggan berbeda – beda naik dan turun. Melaikan harus berdasarkan kebiasaan rentan penggunaan beban di tiap fasa di masing – masing jurusan Gardu.

2. Ada juga dimana kondisi penyeimbangan hanya dilakukan melalui pemindahan beban yang penuh ke beban yang masih kosong di jurusan Gardu karena memang keseimbangan lebih dibutuhkan untuk keseimbangan beban fasa induk Trafo nya saja.

Hasil simulasi data pengukuran LWBP dan WBP akan menjadi acuan yang baik didalam penyeimbangan beban di lapangan karena kita dapat melihat seberapa banyak beban yang akan dialihkan pada waktu siang hari sehingga di malam hari nya, beban yang teralihkan juga sesuai dengan kebutuhan penyeimbangan WBP.

Hasil Penyeimbangan di Lapangan

Berdasarkan data pengukuran yang telah dilakukan setelah proses penyeimbangan, di dapat selisih penurunan nilai arus fasa netral pada kondisi WBP malam hari dan LWBP siang hari. Sehingga dapat diartikan bahwa proses keseimbangan beban trafo distribusi 20 kV mengalami perbaikan meskipun nilai arus fasa netral tersebut masih jauh mendekati nilai nol. Berikut data perbaikan nilai arus fasa netral sebelum dan sesudah penyeimbangan dilakukan.

Tabel. 1 Data Hasil Penyeimbangan

NO GARDU	BEBAN INDUK (SEBELUM)								BEBAN INDUK (SETELAH)							
	SIANG (LWBP)				MALAM (WBP)				SIANG (LWBP)				MALAM (WBP)			
	R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N
BS 070	63	45	76	30	95	52	123	64	59	60	59	15	102	89	92	35
BS 074	133	202	155	69	183	191	110	67	175	176	157	41	184	188	149	40
BS 115	56	39	44	20	114	29	41	53	47	62	64	15	47	62	64	15
BS 008	81	147	79	107	87	123	84	93	132	125	128	36	111	127	142	49
BS 006	69	110	121	50	58	100	147	57	105	85	79	23	122	111	88	35
BS 151	47	81	67	37	44	119	45	65	83	70	90	25	83	95	51	37
BS 150	32	6	22	22	44	8	22	32	16	22	22	10	28	15	22	16
BS 160	43	66	67	23	53	81	92	35	55	64	57	19	68	75	80	26
BS 073	75	104	60	43	97	110	58	45	77	90	80	22	95	79	88	23
BS 099	19	54	37	35	82	58	104	53	38	31	36	15	82	78	83	30
BS 111	80	61	103	52	112	82	134	70	79	71	94	21	105	125	128	52
BS 140	38	45	33	18	49	85	95	37	45	44	43	16	68	73	88	23
BS 174	27	12	14	13	43	26	32	19	19	18	14	11	33	36	32	13
BS 053	104	128	176	58	76	89	117	38	107	116	163	48	93	89	96	19
BS 110	23	26	41	17	48	41	74	21	22	23	33	12	54	52	60	18
BS 125	57	69	49	31	100	142	80	56	55	55	62	21	100	111	110	23
BS 142	64	64	42	32	97	82	64	46	62	67	54	22	83	82	75	25

Berdasarkan data hasil pengukuran setelah dilakukan proses penyeimbangan, penulis melakukan perhitungan untuk mencari nilai arus yang mengalir pada fasa netral sehingga dapat nantinya dapat dibandingkan perolehan nilai saving kWh antara real di lapangan dengan berdasarkan hasil perhitungan. Berikut data nya:

Tabel. 2 Data Perhitungan Fasa Netral

NO	NO GARDU	PENGUKURAN								PERHITUNGAN							
		SIANG				MALAM				SIANG				MALAM			
		R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N	R	S	T	N
1	BS 070	59	60	59	15	102	89	92	35	59	60	59	1	102	89	92	12
2	BS 074	175	176	157	41	184	188	149	40	175	176	157	18	184	188	149	37
3	BS 115	47	62	64	15	47	62	64	15	47	62	64	16	47	62	64	16
4	BS 008	132	125	128	36	111	127	142	49	132	125	128	6	111	127	142	27
5	BS 006	105	85	79	23	122	111	88	35	105	85	79	24	122	111	88	30
6	BS 151	83	70	90	25	83	95	51	37	83	70	90	18	83	95	51	39
7	BS 150	16	22	22	10	28	15	22	16	16	22	22	6	28	15	22	11
8	BS 160	55	64	57	19	68	75	80	26	55	64	57	8	68	75	80	10
9	BS 073	77	90	80	22	95	79	88	23	77	90	80	12	95	79	88	14
10	BS 099	38	31	36	15	82	78	83	30	38	31	36	6	82	78	83	5
11	BS 111	79	71	94	21	105	125	128	52	79	71	94	20	105	125	128	27
12	BS 140	45	44	43	16	68	73	88	23	45	44	43	2	68	73	88	18
13	BS 174	19	18	14	11	33	36	32	13	19	18	14	5	33	36	32	7
14	BS 053	107	116	163	48	93	89	96	19	107	116	163	52	93	89	96	6
15	BS 110	22	23	33	12	54	52	60	18	22	23	33	10	54	52	60	7
16	BS 125	55	55	62	21	100	111	110	23	55	55	62	5	100	111	110	10
17	BS 142	62	67	54	22	83	82	75	25	62	67	54	11	83	82	75	7

Berdasarkan data pengukuran yang telah dilakukan setelah proses penyeimbangan, di dapat berubah yang cukup baik dari aspek Unbalanced Trafo Distribusi 20 kV, sehingga dapat

dikatakan target penyeimbangan berdasarkan target >30 % Unbalanced Trafo Distribusi 20 kV sudah membaik, meskipun ada beberapa trafo masih belum mencapai <30 %.

1. No Gardu BS 070

Data dari trafo distribusi sbb:

- Daya : 100 kVA
- Tegangan Kerja : 21/20.5/20/19.5/19 kV//400 V
- Trafo : 1 x 3 phasa

Tabel. 3 Data Perbandingan Siang dan Malam

BS 070	SIANG (LWBP)			MALAM (WBP)		
	R	S	T	R	S	T
SEBELUM	63	45	76	95	52	123
SETELAH	59	60	59	102	89	92

Sehingga dari data di atas dapat dihitung:

$$S = 100 \text{ kVA}$$

$$V = 0,4 \text{ kV phasa - phasa}$$

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3}XV} = \frac{10000}{\sqrt{3}X400} = 144,5 \text{ A}$$

$$I_{rata} = \frac{IR+IS+IT}{3} = \frac{95+52+123}{3} = 90 \text{ Ampere}$$

Persentase pembebanan trafo adalah:

$$\frac{I_{rata}}{I_{fl}} = \frac{90}{144.5} = 62.3\%$$

Dari perhitungan di atas terlihat bahwa pada WBP, persentase pembebanan yaitu 62.3 %

2. Analisa Ketidakseimbangan Beban Pada Trafo

Dengan demikian, rata – rata ketidakseimbangan beban WBP sebelum penyeimbangan adalah :

$$= \frac{(MAX \text{ arus phasa} - MIN \text{ arus phasa})}{I_{rata} - rata} \times 100\% = \frac{(123 - 52)}{90} \times 100\% = 77.27 \%$$

Dan untuk rata – rata ketidakseimbangan beban WBP setelah penyeimbangan adalah

$$= \frac{(MAX \text{ arus phasa} - MIN \text{ arus phasa})}{I_{rata} - rata} \times 100\% = \frac{(102 - 89)}{94} \times 100\% = 13.78 \%$$

Analisa Susut Energi

Berdasarkan data hasil selisih nilai arus yang telah didapatkan sebelum dan sesudah proses penyeimbangan beban trafo distribusi 20 kV, maka dapat dihitung pula nilai rugi – rugi berdasarkan hasil pengukuran (di lapangan) dan berdasarkan hasil perhitungan, di dapatlah nilai rugi – rugi penyebab susut yang berhasil diselamatkan, berikut datanya:

Untuk daya aktif trafo (P):

$$P = S \cdot \cos \phi = 100 \cdot 0,85 = 85 \text{ kW}$$

Losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah dapat dihitung sebagai berikut:

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G = 15^2 \cdot 7 = 1575 \text{ watt} = 1,575 \text{ kW (LWBP)}$$

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G = 29^2 \cdot 7 = 5887 \text{ watt} = 5,887 \text{ kW (WBP)}$$

Tabel. 4 Data Saving Rugi – Rugi Trafo Yang Diseimbangkan

NO	NO GARDU	DAY A (kVA)	DAY A AKTIF (kW)	SEBELUM		SESUDAH		GROUND (Ohm)	SELISIH	SELISIH	RUGI	RUGI
				LWBP	WBP	LWBP	WBP		NETRAL	NETRAL	RUGI	RUGI
				N	N	N	N		(A)	(A)	(kW)	(kW)
1	BS 070	100	85	30	64	15	35	7.0	15	29	1.58	5.89
2	BS 074	200	170	69	67	41	40	5.0	28	27	3.92	3.65
3	BS 115	50	43	20	53	15	15	10.1	5	38	0.25	14.58
4	BS 008	200	170	107	93	36	49	8.4	71	44	42.34	16.26
5	BS 006	160	136	50	57	23	35	7.5	27	22	5.47	3.63
6	BS 151	100	85	37	65	25	37	6.0	12	28	0.86	4.70
7	BS 150	50	43	22	32	10	16	3.6	12	5	0.52	0.09
8	BS 160	100	85	23	35	19	26	12.4	4	9	0.20	1.00
9	BS 073	100	85	43	45	22	23	3.4	21	22	1.50	1.65
10	BS 099	100	85	35	53	15	30	5.1	20	23	2.04	2.70
11	BS 111	100	85	52	70	21	52	4.2	31	18	4.04	1.36
12	BS 140	100	85	18	37	16	23	13.1	2	14	0.05	2.57
13	BS 174	50	43	13	19	11	13	14.1	2	6	0.06	0.51
14	BS 053	160	136	58	38	48	19	9.3	10	19	0.93	3.36
15	BS 110	100	85	17	21	12	18	11.4	5	3	0.29	0.10
16	BS 125	100	85	31	56	21	23	6.7	10	33	0.67	7.30
17	BS 142	100	85	32	46	22	25	7.2	10	21	0.72	3.18
TOTAL SAVING RUGI - RUGI (kW)											65.43	72.82

4. KESIMPULAN

1. Pembebanan yang tidak seimbang pada trafo distribusi 20 kV menyebabkan arus mengalir pada penghantar netral. Arus ini menjadi losses yang harus ditanggung PT PLN karena sepanjang hantaran netral terdapat resistansi.
2. Pemerataan beban dilakukan dengan jalan *rewiring* sambungan rumah pelanggan dari phase yang berat ke phase yang berbeban ringan.
3. Dengan program pemerataan beban pada Trafo Distribusi 20 kV, didapat hasil penekanan losses di hantaran netral sebesar 65,68 kW (kondisi LWBP) dan 72,72 kW (kondisi WBP) berdasarkan hasil pengukuran.
4. Berdasarkan hasil pengukuran didapat hasil penekanan losses sebesar 41,79 kW (kondisi LWBP) dan 44,82 kW (kondisi WBP).
5. Perbedaan yang terjadi antara hasil data berdasarkan pengukuran dan perhitungan disebabkan beberapa faktor, diantaranya: Umur trafo, kandungan minyak trafo, kondisi kumparan trafo, *lose contact* penghantar, nilai hambatan pentanahan netral, dan presisi alat ukur.
6. Penyeimbangan Beban pada Trafo dapat memperpanjang umur peralatan listrik

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suhadi (2008) *Teknik Distribusi Tenaga Listrik*. Jilid I. Cetakan I. Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta
- [2] Wahyudi Sarimun (2011): *Buku Saku Pelayanan Teknik*, Garamond, Jakarta.
- [3] PT PLN (Persero) Distribusi Jawa Bali (2010): *Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Rendah Tenaga Listrik*, PT PLN (Persero), Jakarta.
- [4] Prasetya Ulah Sakti (2008): *Evaluasi Pemerataan Beban untuk Menekan Losses Jaringan Tegangan Rendah*,
- [5] Laporan Telaah Staf, PT. PLN (PERSERO) Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang, Jakarta.
- [6] Rahmaniar (2018) *The Simulation Computer Based Learning (SCBL) for Short Circuit Multi Machine Power System Analysis*, IOP Conf. Series Journal of Physics: Conf. Series 97