

Analisis Penempatan Transformator Distribusi Berdasarkan Jatuh Tegangan Pada Saluran Distribusi Primer 20 KV

**Mahrizal Masri, Zulfadli Pelawi, Raja Harahap,
Fahrul Halim Pulungan, Ayatullah Komaini**

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, UISU-Medan

zulfadlipelawi@gmail.com; harahapri@yahoo.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis penempatan transformator distribusi berdasarkan jatuh tegangan pada saluran distribusi primer 20 kV. Penempatan transformator distribusi yang tepat sangat penting untuk memastikan distribusi daya listrik yang efisien dan efektif dalam sistem tenaga listrik. Metode analisis yang digunakan melibatkan pemodelan matematis dan simulasi komputer untuk menentukan lokasi optimal penempatan transformator distribusi. Parameter-parameter yang dianalisis meliputi jatuh tegangan, beban saluran, dan karakteristik sistem distribusi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penempatan transformator distribusi yang optimal dapat mengurangi jatuh tegangan pada saluran distribusi primer, meningkatkan efisiensi distribusi daya, dan mengoptimalkan kinerja sistem tenaga listrik secara keseluruhan. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa analisis penempatan transformator distribusi berdasarkan jatuh tegangan pada saluran distribusi primer 20 kV dapat memberikan informasi yang berharga bagi operator sistem tenaga listrik dalam mengoptimalkan penempatan transformator distribusi guna meningkatkan efisiensi dan kinerja sistem.

Kata Kunci: Penempatan, Transformator, Distribusi, Jatuh tegangan

I. PENDAHULUAN

Pusat-pusat pembangkit tenaga listrik berada jauh dari pusat beban, hal ini mengakibatkan kerugian yang cukup besar dalam penyaluran daya listrik. Kerugian tersebut disebabkan oleh saluran yang cukup panjang. Sehingga dalam penyaluran daya listrik melalui transmisi maupun distribusi akan mengalami tegangan jatuh sepanjang saluran yang dilalui.

Ditinjau dari segi panjang saluran distribusi dari gardu induk menuju transformator distribusi maupun dari transformator distribusi ke beban yang dapat juga menyebabkan tegangan jatuh yang cukup besar. Selain tegangan jatuh yang semakin besar menyebabkan juga kinerja transformator distribusi tersebut kurang maksimal. Dengan adanya kondisi tersebut diperlukan evaluasi dan perencanaan kembali yang memperhatikan kriteria-kriteria perencanaan seperti jatuh tegangan yang diizinkan dan kelangsungan pelayanan listrik sehingga muncul optimasi pada jaringan yang dipakai. Pada skripsi ini metode yang dipakai adalah dengan menganalisa dan menghitung nilai losses dan tegangan jatuh (drop voltage) pada suatu feeder. Lalu disesuaikan dengan perhitungan berdasarkan tegangan jatuh yang diizinkan PLN. Maka untuk mendapatkan tegangan jatuh yang cukup kecil dan sesuai dengan yang diizinkan PLN, diperlukan suatu jarak yang sesuai dalam penempatan transformator distribusi.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Memperdalam pengetahuan tentang pengaruh panjang saluran dengan tegangan jatuh pada saluran distribusi, dan salah satu cara mengurangi tegangan jatuh pada saluran distribusi yaitu dengan penentuan letak penempatan transformator.
2. Mengoptimalkan kinerja transformator distribusi dengan membuat tegangan jatuh pada saluran distribusi primer tidak terlalu besar dan sesuai dengan yang diizinkan oleh PT.PLN (Persero).

1.3. Batasan Masalah

Agar tujuan penelitian ini sesuai dengan yang diharapkan serta terarah pada judul dan bidang yang telah disebutkan di atas, maka peneliti membatasi permasalahan yang akan dibahas,

1. Membahas tegangan jatuh pada saluran sistem distribusi primer hanya dilihat dari panjang saluran distribusi primer dari gardu induk sampai pada transformator distribusi.
2. Tegangan jatuh yang dibahas hanya pada saluran GI. Namorambe yang menuju kawasan PT.PLN (Persero) Ranting Medan Johor.
3. Tidak membahas tegangan jatuh pada sisi saluran distribusi sekunder.
4. Tidak membahas masalah ketidakseimbangan beban.
5. Transformator yang digunakan adalah transformator tiga fasa.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Distribusi

Awalnya tenaga listrik dihasilkan di pusat-pusat pembangkit listrik seperti PLTA, PLTU, PLTG, PLTGU, PLTP dan PLTD dan yang lainnya, dengan tegangan yang pada umumnya merupakan tegangan menengah (TM) 20 kV. Pada umumnya pusat pembangkit tenaga listrik berada jauh dari pengguna tenaga listrik, untuk mentransmisikan tenaga listrik dari pembangkit ini, maka diperlukan penggunaan tegangan tinggi (TT) yaitu 70 kV, 150 kV, atau tegangan ekstra tinggi (TET) yaitu 500 kV untuk Jawa dan 275 kV untuk Sumut. Tegangan yang lebih tinggi ini diperoleh dengan transformator penaik tegangan (step up transformator).

Pemakaian tegangan tinggi ini diperlukan untuk berbagai alasan efisiensi, antara lain penggunaan penampang penghantar menjadi efisien, karena arus yang mengalir akan menjadi lebih kecil, ketika tegangan tinggi diterapkan.

Setelah saluran transmisi mendekati pusat pemakaian tenaga listrik, yang dapat merupakan suatu daerah industri atau suatu kota. Tegangan melalui gardu induk (GI) diturunkan menjadi tegangan menengah (TM) 20 kV. Setiap gardu induk (GI) sesungguhnya merupakan pusat beban untuk suatu daerah pelanggan tertentu, bebannya berubah-ubah sepanjang waktu sehingga daya yang dibangkitkan dalam pusat-pusat listrik harus selalu berubah. Perubahan daya yang dilakukan di pusat pembangkit ini bertujuan untuk mempertahankan tenaga listrik tetap pada frekuensi 50Hz. Proses perubahan ini dikordinasikan dengan penyaluran dan pusat pengaturan beban (P3B).

Tegangan menengah dari gardu induk (GI) ini melalui saluran distribusi primer, untuk disalurkan ke gardu-gardu distribusi (GD) atau pemakai tegangan menengah (TM). Dari saluran distribusi primer, tegangan menengah (TM) diturunkan menjadi tegangan rendah (TR) 220V/380 V melalui gardu distribusi (GD). Tegangan rendah dari gardu distribusi disalurkan melalui saluran tegangan rendah ke konsumen tegangan rendah.

Bahwa arah mengalirnya energi listrik berawal dari pusat tenaga listrik melalui saluran-saluran transmisi dan distribusi dan sampai pada instalasi pemakai yang merupakan unsur utilisasi.

2.2. Distribusi Primer

Distribusi primer adalah sistem distribusi yang mempergunakan tegangan menengah. Pada distribusi primer terdapat empat jenis dasar, yaitu :

1. Sistem Radial
2. Sistem Lup
3. Sistem Jaringan Primer
4. Sistem Spindel

2.2 Transformator Distribusi

Transformator merupakan alat yang memegang peran penting dalam sistem distribusi. Transformator distribusi mengubah tegangan menengah menjadi tegangan rendah. Sebagaimana halnya dengan komponen-komponen lain dari rangkaian distribusi, rugi-rugi energi dan turun tegangan yang disebabkan arus listrik yang mengalir menuju beban. Sehingga harus dilakukan penentuan untuk pemilihan dan lokasi transformator.

Transformator distribusi yang umum digunakan adalah transformator step- down ²⁰ $\text{kV}/_{400} \text{V}$. Tegangan fasa ke fasa sistem jaringan tegangan rendah adalah 380 V. Karena terjadi drop tegangan, maka pada rak tegangan rendah dibuat di atas 380 V agar tegangan pada ujung penerima tidak lebih kecil dari 380 V. Pada kumpulan primer akan mengalir arus jika kumpulan primer dihubungkan ke sumber tegangan bolak-balik, sehingga pada inti transformator yang terbuat dari bahan ferromagnet akan terbentuk sejumlah garis-garis gaya magnet (fluks = Φ).

Karena arus yang mengalir merupakan arus bolak-balik, maka fluks yang terbentuk pada inti akan mempunyai arah dan jumlah yang berubah-ubah. Jika arus yang mengalir berbentuk sinusoidal, maka fluks yang terjadi akan berbentuk sinusoidal pula. Karena fluks tersebut mengalir melalui inti yang mana pada inti tersebut terdapat belitan primer dan sekunder, maka pada belitan primer dan sekunder tersebut akan timbul ggl (gaya gerak listrik) induksi, tetapi arah ggl induksi primer berlawanan dengan arah ggl induksi sekunder. Sedangkan frekuensi masing- masing tegangan sama dengan frekuensi sumbernya.

2.3 Distribusi Sekunder

Distribusi sekunder mempergunakan tegangan rendah. Sebagaimana halnya dengan distribusi primer, terdapat pula pertimbangan-pertimbangan perihal kehandalan pelayanan dan regulasi tegangan. Sistem sekunder dapat terdiri atas empat jenis umum :

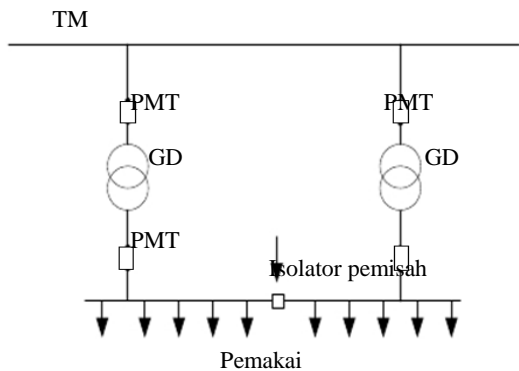
- a. Pelayanan Dengan Transformator Tersendiri
- b. Penggunaan Satu Transformator Untuk Sejumlah Pemakai
- c. Bangking Sekunder
- d. Jaringan Sekunder

2.3.1 Pelayanan Dengan Transformator Tersendiri

Pelayanan dengan transformator tersendiri dilakukan untuk pemakai yang agak besar atau bila para pemakai terletak agak berjauhan terutama di daerah luar kota, sehingga saluran tegangan rendahnya akan menjadi terlampau panjang.

2.3.2 Penggunaan Satu Transformator Untuk Sejumlah Pemakai

Kebanyakan dipakai adalah sistem yang mempergunakan satu transformator dengan saluran tegangan rendah yang melayani sejumlah pemakai. Sistem ini memperhatikan beban dan keperluan pemakai yang berbeda-beda sifatnya. Gambar 1 memperlihatkan situasi ini. Di Indonesia sistem ini banyak dipakai.



Gambar 1. Penggunaan Satu Gardu Distribusi Untuk Sejumlah Pemakai

2.3.3 Banking Sekunder

Penggunaan satu saluran tegangan rendah yang tersambung pada beberapa transformator secara paralel. Sejumlah pemakai dilayani dari saluran tegangan rendah ini. Transformator-transformator diisi dari satu sumber energi. Hal ini disebut banking sekunder transformator. Sistem yang mempergunakan banking sekunder tidak begitu banyak dipakai. Antara transformator dan saluran sekunder biasanya terdapat sekering atau saklar daya otomatis guna melepaskan transformator dari saluran tegangan rendah bila terdapat gangguan pada transformator. Dapat juga dipasang sekering antara seksi-seksi pada saluran tegangan rendah. Di lain pihak bilamana salah satu transformator terganggu, beban tambahan yang harus dipikul transformator-transformator lain dapat mengakibatkan banyak transformator turut terganggu.

2.4 Gardu Distribusi

Sebuah gardu distribusi pada dasarnya merupakan tempat memasang transformator distribusi beserta perlengkapannya. Sebagaimana diketahui, transformator distribusi berfungsi untuk menurunkan tegangan menengah (di Indonesia 20 kV)

menjadi tegangan rendah (di Indonesia $220/380$ V).

Dengan demikian transformator distribusi merupakan suatu penghubung antara jaringan tegangan menengah dan jaringan rendah. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa di dalam sebuah gardu distribusi akan masuk saluran tegangan menengah, dan ke luar saluran tegangan rendah.

III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

3.1 Metode Pengambilan Data

Metode pengambilan data dilakukan dengan mengambil data hasil ukur tiap-tiap transformator distribusi pada Waktu Beban Puncak dengan menggunakan rumus pendekatan statistic.

3.2 Data Hasil Ukur kVA

Untuk mengetahui besar tegangan jatuh sepanjang saluran distribusi primer, maka diperlukan data-data mengenai saluran distribusi primer dan transformator yang terpasang dan daya yang disalurkan dari gardu induk Paya Geli.

Tabel 1. Konstanta Jaringan

Luas Penampang (mm)	Impedansi (Ohm/Kms)	KHA (A)
AAAC 50	0,6452 + j0,3678	210
AAAC 70	0,4608 + j0,3572	155
AAAC 150	0,2162 + j0,3305	425
XLPE 240	0,098 + j0,133	553
AAAC 240	0,1344 + j0,3158	585

Tabel 2. Data Saluran Penyulang G.I Paya Geli (Rayon Medan Kota)

No	Nama Penyulang	Kode Daerah Pelayanan	Panjang Total Jaringan SUTM (Kms)
1	Tripang	PG.2 .Pondok Kelapa,P.B. Asri, Jai, Jl.Kpt.Muslim, Jl. Amal Tumbuh ai, Tapian Daya, Kantor Bulog,	57,76
2	Gurita	PG.3 T.Elok, Sei Kambing Tin P Bndi	59,47
3	Kepiting	PG.5 PDAM Sgl.Prm Koda m II, Jl.Kasuari, Jl.Garuda, Jl.Beo, Kt r.PTP III	9,9

Tabel 3. Data Hasil Ukur Transformator Distribusi (Rayon Medan Kota) Pada Penyulang Paya Geli

No	No. Gardu	kVA trafo	Panjang saluran (Kms)	kVA trafo (S _m) pada saat beban puncak	Cos φ
1	SL 42	250	9,17	205	0,91
2	SL 178	400	11,71	380	0,92
3	SL 166	315	17,55	300	0,92
4	SL 107	400	18,36	380	0,92
5	SL 168	160	19,56	140	0,93
6	SL 93	160	21,25	130	0,92
7	SL 128	630	23,42	520	0,91
8	SL 22	160	25,33	140	0,90
9	SL 176	800	27,97	650	0,90
10	SL 21	200	28,24	175	0,90
11	SL 20	160	28,87	146	0,90
12	SL 19	315	28,62	278	0,93
13	SL 117	3.180	39,85	2978	0,91
14	SL 14	250	30,65	237	0,91
15	SL 169	160	32,71	148	0,90
16	SL 170	400	32,97	379	0,91
17	SL 175	160	30,92	144	0,92
18	SL 143	250	23,31	239	0,93
19	SL 164	4.000	25,34	3905	0,92

20	SL 125	250	22,35	237	0,90
21	SL 82	315	22,56	282	0,92
22	SL 81	250	22,86	236	0,91
23	SL 80	160	23,21	149	0,92
24	SL 79	160	23,31	143	0,90
25	SL 03	200	23,68	188	0,92
26	SL 43	315	2,87	286	0,91
27	SL 39	351	6,09	344	0,92
28	SL 183	3.180	5,81	2945	0,90
29	SL 149	630	10,11	615	0,90
30	SL 102	600	7,99	583	0,92
31	SL 05	315	14,71	287	0,91
32	SL 138	250	16,65	232	0,92
33	SL 160	250	17,09	241	0,90
34	SL 141	250	17,15	240	0,91
35	SL 106	400	18,25	358	0,90
36	SL 145	400	17,87	371	0,91
37	SL 01	250	17,91	208	0,92
38	SL 24	1.250	18,09	1110	0,91
39	SL 08	250	17,66	201	0,91
40	SL 09	250	18,37	231	0,90
41	SL 10	250	17,91	223	0,91
42	SL 120	250	19,83	231	0,92
43	B 099	200	20,45	166	0,90
44	B 096	250	22,05	200	0,91
45	B 097	4.000	23,16	3920	0,93
46	B 070	400	23,46	333	0,90
47	B 063	315	25,99	265	0,90
48	B 065	250	27,64	209	0,92
49	B 066	250	28,09	229	0,93
50	B 212	4.000	28,79	3460	0,93
51	B 068	250	28,99	243	0,92
52	SL49_A	1.000	7,53	899	0,91
53	SL49_B	1.000	7,53	902	0,91
54	SL49_C	1.000	7,53	881	0,91

$$= 5,92 \times ((2,08 \times 0,91) + (2,46 \times 0,41))$$

$$= 17,17 \text{ volt}$$

Perhitungan besar rugi-rugi daya aktif adalah :

$$\Delta P = 3 I^2 R_{total}$$

$$\Delta P = 3 \times 5,92^2 \times 2,08$$

$$= 218,53 \text{ Watt}$$

Perhitungan besar rugi-rugi daya reaktif adalah :

$$\Delta Q = 3 I^2 X_{total}$$

$$\Delta Q = 3 \times 5,92^2 \times 2,46$$

$$= 258,45 \text{ VAR}$$

Persentase tegangan jatuh pada saluran distribusi dari gardu induk sampai ke sisi primer transformator adalah :

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V_{LL}} \times 100\%$$

$$\% \Delta V = \frac{17,17}{20000} \times 100\% = 0,09\%$$

Dari hasil analisa data diperoleh 4 transformator distribusi yang besar persentase tegangan jatuh pada sisi primernya lebih dari 5 %. Dimana menurut SPLN 72 : 1987 penurunan tegangan maksimum pada beban penuh, yang dibolehkan di beberapa titik pada jaringan distribusi adalah :

- SUTM = 5 % dari tegangan kerja bagi sistem radial
- SKTM = 2 % dari tegangan kerja pada sistem spindel dan gugus.
- Trafo distribusi = 3 % dari tegangan kerja
- Saluran tegangan rendah = 4 % dari tegangan kerja tergantung kepadatan beban.
- Sambungan rumah = 1 % dari tegangan nominal.

Dari analisa data hasil tegangan jatuh pada saluran distribusi primer maka dapat dibuat grafik sebagai berikut :

3.3 Analisa Data

Analisa Data Tegangan Jatuh Pada Sisi Primer Transformator Pada Saat Beban Puncak. Untuk Data Transformator Distribusi No.1

Besar arus fasa pada sisi primer transformator :

$$I_L = \frac{S}{\sqrt{3} V_{LL}}$$

$$I_L = \frac{205}{\sqrt{3}(20)} = 5,92 \text{ A}$$

Tahanan total saluran distribusi primer dari gardu induk sampai pada sisi primer transformator adalah :

$$R_{total} = R_{utama} L_{utama} + R_{sub utama} L_{sub utama} + R_{lateral}$$

$$L_{lateral}$$

$$R_{total} = ((0,098 \times 3,12) + (0,2162 \times 4,96)) + 0 + (0,6452 \times 1,09)$$

$$= 2,08 \text{ Ohm}$$

Induktansi total saluran distribusi primer dari gardu induk sampai pada sisi primer transformator adalah :

$$X_{total} = X_{utama} L_{utama} + X_{sub utama} L_{sub utama} + X_{lateral} L_{lateral}$$

$$X_{total} = ((0,133 \times 3,12) + (0,3305 \times 4,96)) + 0 + (0,3678 \times 1,09)$$

$$= 2,46 \text{ Ohm}$$

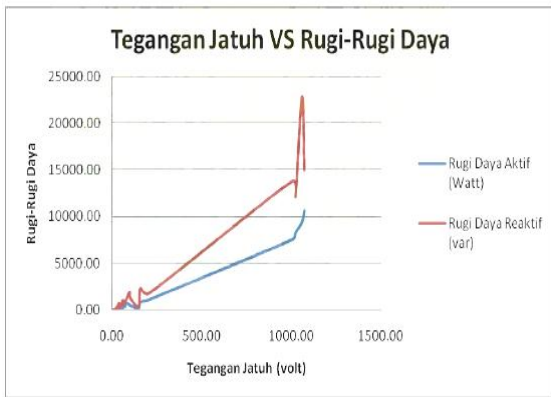
Perhitungan tegangan jatuh pada saluran distribusi primer dari gardu induk sampai pada sisi primer transformator adalah :

$$\Delta V_{total} = \Delta V_{utama} + \Delta V_{sub utama} + \Delta V_{lateral}$$

$$\Delta V_{total} = I_L \times (R_{total} \cos \varphi + X_{total} \sin \varphi)$$



Gambar 2. Grafik Arus vs Tegangan Jatuh



Gambar 3. Grafik Tegangan Jatuh vs Rugi-Rugi Daya

Dari analisa perhitungan diperoleh penempatan transformator distribusi berdasarkan jatuh tegangan adalah seperti terlihat pada table 4.7

Tabel 4. Penempatan Transformator Distribusi

No. gardu	ΔL (Kms)	L_1 (Kms)	L_2 (Kms)
SL 117	0,10	3,38	3,28
SL 164	0,04	3,29	3,25
B 97	0,01	3,10	3,09
B 212	0,12	1,00	0,88

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa data dan uraian, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Dari hasil analisa data yang dilakukan pada penelitian, yaitu transformator distribusi yang besar tegangan jatuh pada sisi saluran distribusi primernya lebih dari 5%, maka jarak transformator yang dirubah adalah pada sisi yang terjauh dari transformator. Dimana pada penelitian ini terdapat empat transformator yang mengalami perubahan letak yaitu pada sisi lateral. Dengan nomor gardu sebagai berikut : SL 117 dari jarak 3,38 Kms menjadi 2,46 Kms, SL 164 dari jarak 3,29 Kms menjadi 2,37 Kms. B 97 dari jarak 3,1 Kms menjadi 3,02 Kms, B 212 dari jarak 1 Kms menjadi 0,01 Kms.
2. Dengan memperbaiki posisi atau jarak transformator distribusi dari gardu induk yang yang dibuat pada ke empat transformator tersebut, maka akan lebih mengoptimalkan transformator bekerja, yaitu melalui diperbaikinya daya input transformator, daya output transformator, dan efisiensi transformator. .

Sebagai contoh : gardu SL 117 dari S_{in} (kVA) 2.978 menjadi 2.979,64, dari P_{in} (kWatt) 2.709,98 menjadi 2.711,47 , dari P_{out} (kWatt) 2.676,14 menjadi 2.677,63, dari η 98,7511 menjadi 98,7518.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Abdul Kadir, 1998, *Transmisi Tenaga Listrik*, Jakarta: Universitas Indonesia, 1
- [2]. A. Arismunandar. DR dan S. Kuwahara. DR, Buku Pegangan Tenaga Listrik, Jilid II dan III, *Saluran Transmisi*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta 1975
- [3]. Abdul, Hadi, “*Sistem Distribusi Daya*”
- [4]. B.M. Weedy, 1987, *Electric Power Systems*, Third Edition Revised, Jhon Wiley and Sons, Singapore New York, Toronto 1987.
- [5]. Kadir, Abdul, 2000, “*Distribusi Dan Utilisasi Tenaga Listrik*”, Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press), Jakarta, 2000.
- [6]. S. L. Uppal. DR, Khanna Publisher, *Electrical Power*, Delhi – 6, 1979
- [7]. T.S. Hutahuruk. Ir. M.Sc, *Buku Transmisi Daya Listrik*, Institut Teknologi Bandung dan Universitas Trisakti, Erlangga 1985.
- [8]. Dauglass, D.A., Motlis,Y. dan Seppa,T.O. IEEE’S, 2003 *Approach For Increasing Transmission Line Ratings in North America*
- [9]. *Peraturan Umum Instalasi Listrik Indonesia (PUIL) 2000.*
- [10]. Robert. D. Evans. 1950. *Electrical Transmisi and Distribusi*, Oxford & IBH Publishing,
- [11]. Sumanto, 1996, *Teori Transformator*”, Penerbit Andi Yogyakarta.
- [12]. S.L. Uppal, 1980, *Electrical Power*,
- [13]. T.S. Hutaaruk Msc, 1993, *Transmisi Daya Listrik*, Erlangga, Jakarta.
- [14]. Turan Gonen, 1988, *Electric Power Transmission System Engineering*”, California State University Sacramento, California
- [15]. Zuhail, “*Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*”, Edisi Kelima , Penerbit Gramedia, Jakarta, 1995