

**SIMULASI DAN OPTIMALISASI PENYESUAIAN BEBAN
PADA TRANSFORMATOR GARDU INDUK DENGAN
SOFTWARE ETAP 12.6**

(Studi pada Gardu Induk Pulomas PT. PLN (Persero))



SKRIPSI

Disajikan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan
Program Studi S1 Pendidikan Vokasional Teknik Elektro

Oleh:

Lutfiah Mamluatul Inayah

5115136230

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN VOKASIONAL TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA
JAKARTA
2018**

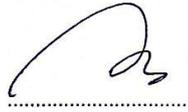
HALAMAN PERSETUJUAN SIDANG

NAMA DOSEN

TANDA TANGAN

TANGGAL

Aris Sunawar, S.Pd, M.T
(Dosen Pembimbing I)



.....

2-2-2018
.....

Drs. Ir. Parjiman, M.T
(Dosen Pembimbing II)



.....

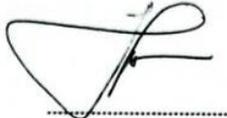
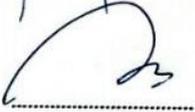
12-01-2018
.....

HALAMAN PENGESAHAN

**SIMULASI DAN OPTIMALISASI PENYESUAIAN BEBAN PADA
TRANSFORMATOR GARDU INDUK DENGAN SOFTWARE ETAP 12.6
(STUDI PADA GARDU INDUK PULOMAS PT. PLN (PERSERO))**

LUTFIAH MAMLUATUL INAYAH / 5115136230

PANTIA UJIAN SKRIPSI

NAMA DOSEN	TANDA TANGAN	TANGGAL
Drs. Purwanto Gendroyono, MT NIP. 195711291983031001 (Ketua Penguji)		15.02.2018
Masuss Subekti, S.Pd, M.T NIP. 197809072003121002 (Sekretaris)		15.02.2018
Mochammad Djaohar, M.Sc NIP. 197003032006041001 (Dosen Ahli)		15-02-2018
Aris Sunawar, S.Pd, M.T NIP. 198206282009121003 (Dosen Pembimbing I)		16-02-2018
Drs. Ir. Parjiman, M.T NIP. 196601041993031003 (Dosen Pembimbing II)		17-02-2018

Tanggal Lulus : 13 Februari 2018

HALAMAN PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Karya tulis skripsi saya ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademi sarjana, baik di Universitas Negeri Jakarta maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri dengan arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebut nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, Februari 2018

Yang membuat pernyataan


Lutfiah Mamluatul Inayah
5115136230

KATA PENGANTAR

Segala puji hanya untuk Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang selalu memberikan pertolongan, perlindungan, rahmat, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Simulasi Penyesuaian Beban Pada Transformator Gardu Induk Dengan *Software* ETAP 12.6 (Studi Pada Gardu Induk Pulomas PT. PLN (Persero))” sebagai salah satu syarat mendapatkan gelar sarjana pendidikan dari almamater kebanggaan, Universitas Negeri Jakarta.

Banyak bantuan dan dukungan dari berbagai pihak dalam proses pembuatan skripsi ini mulai dari tahap awal perencanaan, pelaksanaan, maupun perampungan akhir. Pada kesempatan kali ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Masuss Subekti, S.Pd, M.T selaku Kepala Program Studi Pendidikan Vokasional Teknik Elektro.
2. Bapak Aris Sunawar, S.Pd, M.T selaku Dosen Pembimbing I.
3. Bapak Drs. Ir. Parjiman, M.T selaku Dosen Pembimbing II.
4. Kedua orang tua beserta 3 kakak penulis yang tanpa pamrih terus mendoakan dan mendukung penulis baik moril maupun materil.
5. Bapak Asrul, Mas Agus, Mas Rafiq, beserta segenap karyawan Gardu Induk Pulomas dan PLN APP Cawang atas ilmu dan bimbingannya.
6. Teman-teman yang selalu membantu, mendoakan, dan memberikan semangat, diantaranya teman-teman seperjuangan Program Studi Pendidikan Teknik Elektro angkatan 2013, serta teman-teman halaqah. Beserta pihak-pihak lain yang namanya tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis, 5 Januari 2018

Luthfiah Mamluatul Inayah
5115136230

ABSTRAK

Luthfiah Mamluatul Inayah. SIMULASI DAN OPTIMALISASI PENYESUAIAN BEBAN PADA TRANSFORMATOR GARDU INDUK DENGAN SOFTWARE ETAP 12.6 (STUDI PADA GARDU INDUK PULOMAS PT. PLN (PERSERO)). Pembimbing Aris Sunawar, S.Pd, M.T dan Drs. Ir. Parjiman, M.T.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi pembebanan dan besar rugi daya di Gardu Induk Pulomas untuk kemudian dilakukan penyesuaian beban pada transformator-transformator tenaganya.

Metode yang digunakan adalah metode deskriptif kuantitatif. Subjek pada penelitian ini adalah beban trafo tenaga beserta beban penyulang-penyulangnya. Simulasi aliran daya dilakukan dengan menggunakan *software* ETAP 12.6. Selanjutnya penyesuaian beban trafo dirancang untuk kemudian disimulasikan kembali dengan ETAP 12.6 yang bertujuan untuk mengetahui perubahan kondisi pembebanan dan besar rugi daya di sistem distribusi primer Gardu Induk Pulomas.

Hasil penelitian pada kondisi normal dengan beban rata-rata bulan Oktober 2017 menunjukkan beban trafo 1 sebesar 62,8% dan trafo 2 76,1% dengan rugi daya mencapai 13,61%. Mengacu pada standar SPLN No.72 tahun 1987, persentase rugi daya tersebut telah melebihi yang ditetapkan, yaitu 10%. Setelah dilakukan 4 skenario perencanaan penyesuaian beban trafo dengan berdasarkan klasifikasi beban, maka skenario 2 merupakan skenario terbaik untuk jangka pendek dengan memindahkan penyulang dengan beban rumah tangga tertinggi ke trafo 2. Pembebanan trafo 1 sebesar 44,9%, trafo 2 49,9%, dan trafo 3 60,8% serta rugi daya total sebesar 8,84%. Sementara untuk jangka panjang, direkomendasikan skenario 3 dengan menambahkan satu unit trafo baru. Pembebanan trafo 1 sebesar 47,4%, trafo 3 50,3, dan trafo 4 46,3% serta rugi daya total sebesar 9,32 %.

Kata kunci: Distribusi Primer, Beban Transformator, Rugi Daya

ABSTRACT

Luthfiah Mamluatul Inayah. LOAD ADJUSTMENT SIMULATION AND OPTIMIZATION DISTRIBUTION SUBSTATION STEP DOWN TRANSFORMER WITH SOFTWARE ETAP 12.6 (STUDY AT PULOMAS DISTRIBUTION SUBSTATION PT. PLN (PERSERO)). Preceptors Aris Sunawar, S.Pd, M.T and Drs. Ir. Parjiman, M.T.

The purpose of this research is to find out the imposition and the magnitude of losses at Pulomas Distribution Substation for load adjustment on its step down transformers.

The used method is quantitative descriptive method. The subject that will be studied is transformer's load and its feeders. Load flow simulation was done by using software ETAP 12.6. Furthermore, transformer's load adjustment was planned so that the simulation can be done with ETAP 12.6 to find out the change of the imposition and the magnitude of losses on primary ditribution at Pulomas Distribution Substation.

The results on normal condition with the average loads on October 2017 shows the load of the first transformer as big as 62,8% and the second transformer 76,1% with the total losses reaches 13,61%. According to SPLN No. 72 in 1987, that total losses is over from the provision, that is 10%. After four transformer's load scenarios was done based on load classification, then the second scenario is the best for short term with moving the feeder which have the highest domestic load. The first transformer's load as big as 44,9%, the second transformer 49,9%, and the third transformer 60,8%, and the total losses reaches 8,84%. While for long term, the third scenario is the best with adding one new transformer. The first transformer's load as big as 47,4%, the third transformer 50,3%, the fourth transformer 46,3%, and the total losses reaches 9,32%.

Keywords: Primary Distribution, Transformer Load, Losses

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PERSETUJUAN SIDANG	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah.....	6
1.3. Batasan Masalah	6
1.4. Rumusan Masalah.....	7
1.5. Tujuan Penelitian	7
1.6. Manfaat Penelitian	8
BAB II KAJIAN PUSTAKA	9
2.1. Landasan Teori	9
2.1.1. Sistem Tenaga Listrik	9
2.1.2. Transformator.....	11
2.1.2.1. Konstruksi Transformator	12
2.1.2.2 Prinsip Kerja Transformator	13
2.1.2.3 Transformator Tanpa Beban	15
2.1.2.4. Transformator Berbeban	21
2.1.2.5. Hubungan Tiga Fasa dalam Transformator.....	25
2.1.2.6. Jenis-Jenis Hubungan Belitan Transformator 3 Fasa....	26
2.1.2.7. Kelompok Vektor.....	31
2.1.3. Gardu Induk	33
2.1.3.1. Transformator Tenaga.....	35

2.1.3.2.	Transformator Arus (CT)	35
2.1.3.3.	Transformator Tegangan (PT)	39
2.1.3.4.	Pemutus Tenaga (PMT)	40
2.1.3.5.	<i>Lightning Arrester</i>	41
2.1.3.5.	Kubikel Tegangan Menengah (TM)	41
2.1.4.	Pengaturan Beban Transformator	43
2.1.4.1.	Beban Transformator <i>Overload</i>	45
2.1.5.	Daya Listrik.....	47
2.1.5.1.	Daya Aktif.....	47
2.1.5.	Daya Reaktif.....	48
2.1.5.	Daya Semu	49
2.1.5.	Segitiga Daya	49
2.1.6.	Rugi-Rugi Transformator.....	50
2.1.6.1.	Rugi Tembaga (P_{cu}).....	51
2.1.6.2.	Rugi Besi (P_i)	52
2.1.6.3.	Efisiensi Transformator.....	52
2.1.7.	<i>Software</i> ETAP	53
2.2.	Penelitian Yang Relevan	55
2.3.	Kerangka Berpikir	57
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		59
3.1.	Tempat, waktu, subjek penelitian	59
3.2.	Populasi dan Sampel.....	59
3.2.1.	Populasi.....	59
3.2.2.	Sampel	59
3.3.	Metode Penelitian.....	60
3.4.	Instrumen Penelitian.....	61
3.5.	Gambar Rangkaian Pengujian.....	52
3.6.	Teknik Pengumpulan Data.....	63
3.7.	Teknik Analisis Data.....	64
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		67
4.1.	Hasil Penelitian	67

4.1.1.	Beban Puncak Transformator.....	67
4.1.1.1.	Beban Puncak Transformator 1.....	68
4.1.1.2.	Beban Puncak Transformator 3.....	72
4.1.3.	Data Perbandingan Jumlah Kadar Air dan Nilai Tegangan Tembus pada Minyak Transformator	69
4.1.2.	Simulasi Aliran Daya ETAP 12.6.....	75
4.1.2.1.	Data <i>Power Grid</i>	76
4.1.2.2.	Data Transformator Gardu Induk.....	78
4.1.2.3.	Data <i>Ground Switch</i>	79
4.1.2.4.	Data <i>Current Transformer</i> (CT) 150 kV.....	80
4.1.2.5.	Data <i>Over Current Relay</i> (OCR) <i>Bus Section 1</i>	81
4.1.2.6.	Data <i>Circuit Breaker</i> (CB) <i>Bus Section 1</i>	82
4.1.2.7.	Data <i>Fuse</i>	83
4.1.2.8.	Data <i>Current Transformer</i> (CT) 20 kV.....	85
4.1.2.9.	Data Transformator Pemakaian Sendiri.....	86
4.1.2.10.	Data <i>Potensial Transformer</i> (PT)	87
4.1.2.11.	Data Spesifikasi Beban	88
4.1.3.	<i>Single Line Diagram</i>	90
4.1.4.	<i>Single Line Diagram</i> ETAP 12.6.....	91
4.1.5.	Hasil Pembebanan dan Rugi Daya pada ETAP 12.6....	95
4.1.6.	Hasil Pembebanan dan Rugi Daya Dengan Perhitungan Manual	96
4.1.6.1.	Hasil Pembebanan Trafo GI Pulomas	97
4.1.6.2.	Hasil Rugi Daya	99
4.2.	Analisis Data	100
4.2.1.	Analisis Hasil Pembebanan.....	101
4.2.2.	Analisis Rugi Daya.....	103
4.3.	Perencanaan Penyesuaian Beban Transformator	107
4.3.1.	Skenario 1	108
4.3.2.	Skenario 2.....	122
4.3.3.	Skenario 3.....	128
4.3.4.	Skenario 4.....	136

4.3.5. Rekomendasi Skenario	143
4.3.5.1. Jangka Pendek	145
4.3.5.2. Jangka Panjang	145
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	146
5.1. Kesimpulan	146
5.2. Saran	147
DAFTAR PUSTAKA	148
LAMPIRAN - LAMPIRAN	150

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1. Kurva Persentase Pembebanan Trafo 1.....	9
Gambar 1.1. Kurva Persentase Pembebanan Trafo 3.....	9
Gambar 2.1. Vektor Grup dan Daya Transformator 3 Fasa.....	9
Gambar 2.2. Sistem Distribusi Primer 20 kV	11
Gambar 2.3. Konstruksi Dasar Transformator.....	12
Gambar 2.4. Diagram Rangkaian Pengganti Transformator.....	12
Gambar 2.5. Arus Bolak Balik Mengelilingi Inti Besi	13
Gambar 2.6. Prinsip kerja transformator.....	14
Gambar 2.7. Hubungan Antara Lilitan Primer & Sekunder Trafo.....	15
Gambar 2.8. Transformator dalam Keadaan Tanpa Beban.....	16
Gambar 2.9. Vektor Transformator dalam Keadaan Tanpa Beban.....	17
Gambar 2.10. Fluks Magnet pada Trafo Berbeban	18
Gambar 2.11. Gelombang Sinusoidal Beban Resistif Listrik AC.....	21
Gambar 2.12. Grafik Arus dan Tegangan Berbeban Resistif.....	21
Gambar 2.13. Gelombang Sinusoidal Beban Induktif Listrik AC.....	22
Gambar 2.14. Grafik Arus dan Tegangan Berbeban Resistif.....	23
Gambar 2.15. Gelombang Sinusoidal Beban Kapasitif Listrik AC	24
Gambar 2.16. Grafik Arus dan Tegangan Berbeban Kapasitif	24
Gambar 2.17. Hubungan Wye (Y)	25
Gambar 2.18. Hubungan Delta (Δ)	26
Gambar 2.19. Hubungan Wye-Wye (Y-Y)	26
Gambar 2.20. Diagram Fasor Hubungan Wye-Wye (Y-Y).....	28
Gambar 2.21. Hubungan Wye-Delta (Y- Δ)	28
Gambar 2.22. Hubungan Delta-Delta (Δ - Δ)	29

Gambar 2.23.	Hubungan Delta-Wye ($\Delta - Y$)	30
Gambar 2.24.	Transformator Tenaga	35
Gambar 2.25.	Kontruksi Trafo Arus	36
Gambar 2.26.	Trafo Arus Pemasangan Luar Ruangan	38
Gambar 2.27.	Trafo Arus Pemasangan Dalam Ruangan	38
Gambar 2.28.	Trafo Tegangan Kutub Tunggal Tanpa Bushing.....	39
Gambar 2.29.	Pemutus Tenaga (PMT)	40
Gambar 2.30.	<i>Lightning Arrester</i> (LA).....	41
Gambar 2.31.	Kubikel Tegangan Menengah	42
Gambar 2.32.	Bagian-Bagian Kubikel TM Tipe <i>Outgoing</i>	42
Gambar 2.33.	Segitiga Daya	50
Gambar 2.34.	Diagram Rugi-Rugi Transformator.....	51
Gambar 2.35.	Lembar Kerja ETAP.....	54
Gambar 2.36.	Tampilan Input Nama <i>Project File</i>	54
Gambar 2.37	Tampilan Lembar Kerja ETAP	55
Gambar 3.1.	Diagram Alur Penelitian.....	62
Gambar 4.1.	Grafik Beban Puncak Harian Transformator 1 Gardu Induk Pulomas	69
Gambar 4.2.	Grafik Beban Puncak Harian Transformator 3 Gardu Induk Pulomas	73
Gambar 4.3.	Masukan Data <i>Rating Power Grid</i> pada ETAP 12.6	77
Gambar 4.4.	Masukan Data <i>Short Circuit Power Grid</i> di ETAP 12.6 ..	77
Gambar 4.5	Masukan Data Rating Trafo GI Pulomas ETAP 12.6	78
Gambar 4.6.	Masukan Data <i>Grounding</i> Trafo GI Pulomas	79
Gambar 4.7	Masukan Data <i>Ground Switch</i> GI Pulomas	80
Gambar 4.8.	Masukan Data CT 150 kV pada ETAP 12.6.....	81
Gambar 4.9.	Masukan Data OCR Bus 1 pada ETAP 12.6.....	82

Gambar 4.10.	Masukan Data CB Bus 1 pada ETAP 12.6	83
Gambar 4.11.	Masukan Data <i>Fuse</i> pada ETAP 12.6	84
Gambar 4.12.	Masukan Data CT 20 kV ETAP 12.6.....	85
Gambar 4.13.	Masukan Data Rating Trafo Pemakaian Sendiri	86
Gambar 4.14.	Masukan Data Impedansi Trafo Pemakaian Sendiri	87
Gambar 4.15.	Masukan Data PT pada ETAP 12.6	88
Gambar 4.16.	Masukan Data <i>Lumped Load</i> pada ETAP 12.6.....	90
Gambar 4.17.	<i>Single Line</i> Diagram GI Pulomas Sisi 150 KV	92
Gambar 4.18.	<i>Single Line</i> Diagram GI Pulomas Sisi 20 KV	93
Gambar 4.19.	<i>Single Line</i> Diagram Sisi 20 KV pada ETAP 12.6	94
Gambar 4.20.	<i>Load Flow</i> GI Pulomas Sisi 20 KV pada ETAP 12.6	94
Gambar 4.21.	Grafik <i>Bus Loading</i> Hasil Simulasi <i>Software</i> ETAP	101
Gambar 4.22.	Grafik <i>Branch Loading</i> Hasil Simulasi ETAP	102
Gambar 4.23.	Grafik Perbandingan Persentase Pembebanan Trafo Hasil ETAP 12.6 dengan Perhitungan Manual.....	103
Gambar 4.24.	Grafik <i>Losses</i> Hasil Simulasi ETAP 12.6	104
Gambar 4.25.	Grafik Klasifikasi Beban Penyulang Trafo 1	111
Gambar 4.26.	Grafik Klasifikasi Beban Penyulang Trafo 3	112
Gambar 4.27.	<i>Single Line</i> Diagram ETAP 12.6 Skenario 1.....	116
Gambar 4.28.	<i>Load Flow</i> Skenario 1 pada ETAP 12.6.....	117
Gambar 4.29.	Grafik Perbandingan Presentase Pembebanan Trafo 1 dan Trafo 3 Hasil Skenario 1	120
Gambar 4.30.	Grafik Perbandingan <i>Losses</i> Trafo 1 dan Trafo 3 Hasil Skenario 1	120
Gambar 4.31	<i>Single Line</i> Diagram ETAP 12.6 Skenario 2	123

Gambar 4.32.	<i>Load Flow</i> Skenario 2 pada ETAP 12.6.....	124
Gambar 4.33.	Grafik Perbandingan Presentase Pembebanan Trafo 1 dan Trafo 3 Hasil Skenario 2	126
Gambar 4.34.	Grafik Perbandingan <i>Losses</i> Trafo 1 dan Trafo 3 Hasil Skenario 2	127
Gambar 4.35	<i>Single Line Diagram</i> ETAP 12.6 Skenario 3	131
Gambar 4.36.	<i>Load Flow</i> Skenario 3 pada ETAP 12.6.....	132
Gambar 4.37.	Grafik Perbandingan Presentase Pembebanan Trafo 1 dan Trafo 3 Hasil Skenario 3	134
Gambar 4.38.	Grafik Perbandingan <i>Losses</i> Trafo 1 dan Trafo 3 Hasil Skenario 3	135
Gambar 4.39	<i>Single Line Diagram</i> ETAP 12.6 Skenario 4	138
Gambar 4.40.	<i>Load Flow</i> Skenario 4 pada ETAP 12.6.....	139
Gambar 4.41.	Grafik Perbandingan Presentase Pembebanan Trafo 1 dan Trafo 3 Hasil Skenario 4	141
Gambar 4.42.	Grafik Perbandingan <i>Losses</i> Trafo 1 dan Trafo 3 Hasil Skenario 4	142
Gambar 4.43.	Grafik Persentase Pembebanan Trafo Hasil Skenario.....	144
Gambar 4.44.	Grafik Persentase <i>Losses</i> Hasil Skenario	144

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1. Perkembangan Jumlah Pelanggan.....	14
Tabel 2.1. Vektor Grup dan Daya Transformator 3 Fasa.....	31
Tabel 2.2. Golongan Hubungan Trafo 3 Fasa dengan Sistem Jam	33
Tabel 2.3. Burden Relay Pada Arus Nominal	37
Tabel 3.1. Beban Harian.....	61
Tabel 4.1. <i>Name Plate</i> Transformator 1 GI Pulomas.....	68
Tabel 4.2. Beban Puncak Trafo 1 Gardu Induk Pulomas Oktober.....	68
Tabel 4.3. Penyulang pada Transformator 1 GI Pulomas	70
Tabel 4.4. Beban Puncak Harian Penyulang Merpati Bulan Oktober.....	71
Tabel 4.5. <i>Name Plate</i> Transformator 1 GI Pulomas.....	72
Tabel 4.6. Beban Puncak Trafo 3 Gardu Induk Pulomas Oktober.....	72
Tabel 4.7. Penyulang pada Transformator 1 GI Pulomas	74
Tabel 4.8. Beban Puncak Harian Penyulang Bango Bulan Oktober.....	75
Tabel 4.9. Data Spesifikasi <i>Power Grid</i>	77
Tabel 4.10. Data Spesifikasi Transformator GI Pulomas	78
Tabel 4.11. Data Spesifikasi <i>Current Transformer</i> 150 kV.....	80
Tabel 4.12. Data Spesifikasi <i>Over Current Relay</i> (OCR).....	82
Tabel 4.13. Data Spesifikasi <i>Circuit Breaker</i> Bus 1	83
Tabel 4.14. Data Spesifikasi <i>Fuse</i>	84
Tabel 4.15. Data Spesifikasi <i>Current Transformer</i> 20 kV.....	85
Tabel 4.16. Data Spesifikasi Transformator Pemakaian Sendiri	86

Tabel 4.17.	Data Spesifikasi <i>Potensial Transformer</i>	87
Tabel 4.18.	Data Spesifikasi <i>Lumped Load</i>	89
Tabel 4.19.	Data <i>Bus Loading</i> Hasil Simulasi <i>Software</i> ETAP 12.6.....	96
Tabel 4.20.	Data <i>Branch Loading</i> dan <i>Losses</i> Hasil Simulasi ETAP	96
Tabel 4.21.	Perbandingan Persentase Pembebanan Trafo Hasil ETAP 12.6 dengan Perhitungan Manual.....	99
Tabel 4.22.	Perbandingan Persentase <i>Losses</i> Trafo Hasil ETAP 12.6.....	100
Tabel 4.23.	Data <i>Losses</i> Hasil Perhitungan ETAP.....	105
Tabel 4.24.	Klasifikasi Beban Konsumen Tiap Penyulang	109
Tabel 4.25.	Klasifikasi Beban Berdasarkan Sifatnya.....	115
Tabel 4.26.	Penyulang yang Akan Dipindah ke Trafo 2 di Skenario 1	115
Tabel 4.27.	Data <i>Bus Loading</i> Hasil Simulasi Skenario 1	118
Tabel 4.28.	Data <i>Branch Loading</i> dan <i>Losses</i> Skenario 1	118
Tabel 4.29.	Penyulang yang Akan Dipindah ke Trafo 2 di Skenario 2	122
Tabel 4.31.	Data <i>Bus Loading</i> Hasil Simulasi Skenario 1	125
Tabel 4.32.	Data <i>Branch Loading</i> dan <i>Losses</i> Skenario 1	125
Tabel 4.33.	Penyulang yang Akan Dipindah ke Trafo 2 di Skenario 3	130
Tabel 4.34.	Data <i>Bus Loading</i> Hasil Simulasi Skenario 3	133
Tabel 4.35.	Data <i>Branch Loading</i> dan <i>Losses</i> Skenario 3	133
Tabel 4.36.	Penyulang yang Akan Dipindah ke Trafo 2 di Skenario 4	136
Tabel 4.37.	Data <i>Bus Loading</i> Hasil Simulasi Skenario 4	140
Tabel 4.38.	Data <i>Branch Loading</i> dan <i>Losses</i> Skenario 4	140

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Spesifikasi Peralatan Gardu Induk Pulomas.....	151
Lampiran 2. Beban Puncak Harian Penyulang Pada Trafo 1 Bulan Oktober 2017.....	159
Lampiran 3. Beban Puncak Harian Penyulang Pada Trafo 3 Bulan Oktober 2017.....	166
Lampiran 4. <i>Single Line</i> Diagram GI Pulomas Sisi 20 KV pada ETAP...	175
Lampiran 5. <i>Load Flow</i> GI Pulomas Sisi 20 KV pada ETAP 12.6	177
Lampiran 6. Hasil Simulasi <i>Load Flow</i> GI Pulomas Sisi 20 KV	179
Lampiran 7. <i>Single Line</i> Diagram ETAP 12.6 Skenario 1	184
Lampiran 8. <i>Load Flow</i> Skenario 1 pada ETAP 12.6.....	186
Lampiran 9. Hasil Simulasi <i>Load Flow</i> Skenario 1	188
Lampiran 10. <i>Single Line</i> Diagram ETAP 12.6 Skenario 2.....	194
Lampiran 11. <i>Load Flow</i> Skenario 2 pada ETAP 12.6.....	196
Lampiran 12. Hasil Simulasi <i>Load Flow</i> Skenario 2	198
Lampiran 13. <i>Single Line</i> Diagram ETAP 12.6 Skenario 3.....	203
Lampiran 14. <i>Load Flow</i> Skenario 3 pada ETAP 12.6.....	205
Lampiran 15. Hasil Simulasi <i>Load Flow</i> Skenario 3	207
Lampiran 16. <i>Single Line</i> Diagram ETAP 12.6 Skenario 4.....	208
Lampiran 17. <i>Load Flow</i> Skenario 4 pada ETAP 12.6.....	210
Lampiran 18. Hasil Simulasi <i>Load Flow</i> Skenario 4	212

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Ketersediaan daya listrik dalam jumlah dan mutu yang memadai merupakan salah satu faktor yang menunjang untuk mempercepat peningkatan ekonomi dan laju pembangunan di berbagai sektor, serta meningkatkan produktifitas bagi masyarakat. Salah satu kendala yang dihadapi adalah pendistribusian daya listrik ke konsumen, karena pada umumnya konsumen mengharapkan adanya suatu bentuk penyediaan energi listrik yang terus menerus (kontinyu). Pemasok tenaga listrik dalam hal ini PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN) Persero, dituntut untuk mampu memberikan suatu pelayanan tenaga listrik yang optimal sesuai yang dibutuhkan para konsumen, tetapi pada kenyataannya krisis energi listrik menjadi masalah besar penyediaan energi listrik dalam jumlah besar. Untuk itu, hal yang mendesak dilakukan adalah memaksimalkan manajemen pengoperasian sistem tenaga listrik (Malik, 2009: 1).

Dalam data yang diambil dari Pengesahan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT. PLN (Persero) Tahun 2016-2025, penjualan tenaga listrik selama lima tahun terakhir tumbuh rata-rata 8,1% per tahun. Untuk Region Jawa-Bali, rata-rata pertumbuhan lima tahun terakhir adalah sebesar 7,5%. Sementara realisasi jumlah pelanggan selama tahun 2010–2014 mengalami peningkatan dari 42,2 juta menjadi 57,2 juta atau bertambah rata-rata 3,5 juta tiap tahunnya. Tabel 1.1 menunjukkan perkembangan jumlah pelanggan PLN menurut sektor pelanggan dalam 5 tahun terakhir.

Tabel 1.1 Perkembangan Jumlah Pelanggan

Jenis Pelanggan	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Rumah Tangga	39.111	42.348	45.991	49.887	53.078	56.311
Komersial	1.877	2.019	2,175	2,359	2,549	2.815
Publik	1.146	1.214	1.300	1.402	1.497	1.682
Industri	48	50	52	55	58	61
Total	42.183	45.631	49.519	53.703	57.183	60.869

Dari data tersebut, dapat dilihat bahwa jumlah pelanggan di semua jenis pelanggan terus meningkat setiap tahunnya. Ini menunjukkan bahwa kebutuhan masyarakat akan energi listrik juga meningkat. Hal tersebut harus ditindaklanjuti oleh PLN sebagai penyedia listrik negara agar terhindar dari kerugian-kerugian. Meningkatnya jumlah pelanggan otomatis dibarengi dengan meningkatnya beban yang ditanggung oleh sumber. Peningkatan beban secara terus-menerus dan dibiarkan dalam waktu yang lama menyebabkan fenomena beban lebih (*overload*) pada sumber yang kerap menimbulkan kerugian. Terjadinya *overload* harus selalu dicegah di semua sistem pendistribusian listrik, termasuk sistem distribusi.

Jaringan distribusi tenaga listrik merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berhubungan langsung dengan konsumen. Bagian ini sangat menunjang penyaluran tenaga listrik ke konsumen, untuk itu diperlukan pengoperasian dan pemeliharaan jaringan distribusi tenaga listrik yang memadai (Kongah, dkk, 2014: 2). Untuk menyalurkan tenaga listrik terbagi ke konsumen, jaringan distribusi tenaga listrik terbagi atas dua, yaitu jaringan distribusi tenaga listrik primer yang menggunakan tegangan 20.000 Volt atau 20 kV (Tegangan Menengah = TM) dan jaringan distribusi tenaga listrik sekunder, menggunakan tegangan 220/380 Volt (Tegangan Rendah = TR).

Transformator *step down* menjadi salah satu komponen listrik yang terpenting di sistem distribusi karena fungsinya yang sebagai penurun tegangan agar energi listrik dapat sampai dan digunakan oleh konsumen. Pada jaringan distribusi primer atau Jaringan Tegangan Menengah (JTM) 20 kV yang berhulu di gardu induk, juga terdapat transformator *step down* yang berperan dalam penurunan tegangan 150 kV dari saluran transmisi menjadi 20 kV yang akan disalurkan melalui penyulang (*feeder*) untuk kemudian diterima oleh gardu distribusi sebagai jaringan distribusi sekunder.

Dalam Jurnal Sains dan Teknologi (Suheta, 2009: 140), dalam upaya meningkatkan umur operasi trafo hingga mampu beroperasi hingga mencapai umur teknisnya antara lain salah satunya adalah beban trafo tidak lebih 80% dari kapasitas. Sementara menurut SPLN No. 50 Tahun 1997, pola pembebanan trafo hendaknya mengikuti karakteristiknya yaitu sebesar 50% sampai dengan 60% agar didapatkan susut minimal.

Menurut Kawihing, dkk (2013: 1), jika kelebihan beban dibiarkan dalam rentang waktu yang lama sementara nominal beban semakin besar, maka kerugian yang terjadi akan berdampak besar pada pihak konsumen maupun PLN, diantaranya:

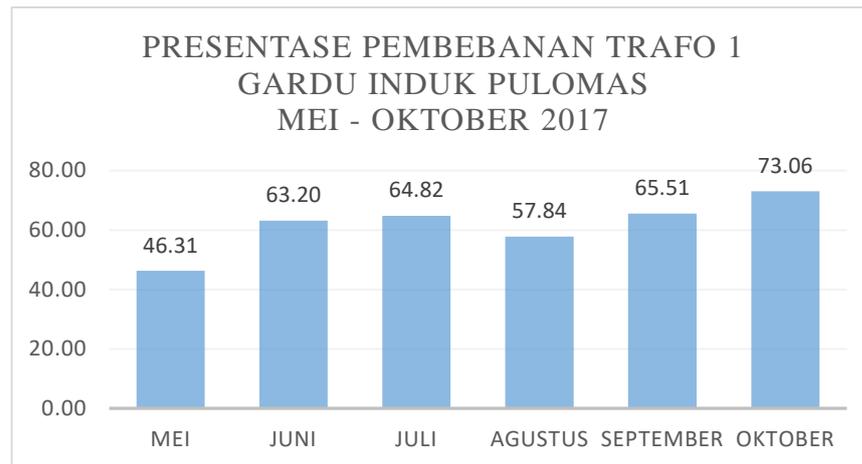
- a. Transformator sudah tidak mampu lagi memikul beban yang melebihi kapasitasnya sehingga jika terus dipaksakan transformator bisa meledak.
- b. Terjadinya korona pada *circuit breaker* transformator maupun *circuit breaker* kubikel 20 kV karena menahan arus yang sudah terlampau besar dan dapat menimbulkan ledakan.
- c. *Overload* akan menyebabkan trafo menjadi panas dan kawat tidak sanggup lagi menahan beban, sehingga timbul panas yang menyebabkan naiknya suhu lilitan

tersebut. Kenaikan ini menyebabkan rusaknya isolasi lilitan pada kumparan trafo.

- d. PLN mengalami rugi finansial sebagai akibat rusaknya komponen yang terkena dampak *overload*.
- e. Point b dan c membuat penyaluran listrik menjadi terganggu.

Pada operasi Jaringan Tegangan Menengah (JTM) harus diamati secara periodik beban (arus) dan dijaga agar tidak mendekati batas maksimum arus trafo. Apabila beban *overload* maka harus dilakukan pemindahan atau pemisahan beban yaitu pemindahan penyulang-penyulang ke sumber atau trafo yang bebannya masih sedikit. Maka setiap jamnya, petugas operator distribusi 20 kV gardu induk akan mencatat beban tiap penyulang yang berupa arus. Dari hasil pemantauan tersebutlah dapat diketahui apakah saluran mendekati *overload* atau tidak, sehingga dapat diputuskan apakah diperlukan penyesuaian beban trafo atau tidak. Jika ya, maka akan dilakukan perencanaan.

Gardu Induk Pulomas mempunyai 3 buah transformator *step down* yang semuanya berkapasitas 60 MVA. Transformator 1 dan 3 aktif menyuplai 28 penyulang (*feeder*) sementara transformator 2 difungsikan sebagai transformator cadangan yang sisi sekundernya akan otomatis aktif jika transformator 1 atau 3 mengalami gangguan sehingga penyaluran listrik ke konsumen tidak terputus. Seiring meningkatnya kebutuhan konsumen menyebabkan beban transformator 1 dan 3 semakin besar seperti yang dapat dilihat pada gambar 1.1 dan 1.2.



Gambar 1.1. Kurva Presentase Pembebanan Trafo 1 Mei-Oktober 2017



Gambar 1.2. Kurva Presentase Pembebanan Trafo 3 Mei-Oktober 2017

Dapat dilihat bahwa kondisi presentase pembebanan trafo 1 dari bulan Mei hingga Oktober mengalami fluktuatif namun cenderung terus meningkat karena penurunan terjadi hanya pada bulan Agustus. Pembebanan trafo 1 pada bulan Oktober yang mencapai 73,06% membuat trafo ini perlu diberikan perhatian lebih agar tidak menyentuh angka 80%. Sementara kondisi trafo 3 yang juga fluktuatif cenderung terus meningkat karena penurunan terjadi hanya pada bulan Oktober, juga sudah harus diberikan perlakuan agar bebannya turun karena pembebanan sudah lebih dari 80%, bahkan mencapai angka 95,78% pada bulan September.

Kondisi tersebut membuat alarm trafo 3 penanda beban yang sudah sangat besar kerap menyala meminta untuk dilakukan penurunan beban agar tidak terjadi

exploding atau meledak. Begitupun trafo 1 yang bebannya akan terus meningkat jika dilihat dari *track record* pertumbuhan presentase pembebanan pada 6 bulan terakhir. Menyadari kondisi ini dan resiko yang mungkin terjadi, maka pihak Gardu Induk Pulomas merencanakan untuk mengoptimalkan penggunaan trafo 2 dengan memindahkan beberapa beban dari trafo 1 dan 3 ke trafo 2 tersebut.

Pada skripsi ini melakukan penelitian untuk mengidentifikasi beban yang akan diprioritaskan untuk dipisah serta dapat mensimulasikan tahapan pemisahan beban dari prioritas beban yang telah diidentifikasi.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas maka dapat diidentifikasi masalah-masalah sebagai berikut :

- 1) Bagaimana sistem distribusi sekunder Gardu Induk Pulomas?
- 2) Bagaimana pembebanan trafo dan penyulang Gardu Induk Pulomas?
- 3) Seberapa besar rugi daya (*losses*) akibat besar beban tersebut?
- 4) Bagaimana proses pemindahan beban untuk mencegah trafo *overload* dan meminimalisir besar rugi daya (*losses*)?
- 5) Seberapa besar penurunan rugi daya (*losses*) setelah proses penyesuaian beban transformator Gardu Induk Pulomas?

1.3. Pembatasan Masalah

Dalam upaya mendapatkan hasil yang terarah maka peneliti membatasi masalah, yaitu:

- 1) Sistem distribusi yang menjadi objek penelitian adalah pembebanan transformator *step down* dan rugi daya pada Gardu Induk Pulomas bagian distribusi Jaringan Tegangan Menengah 20 kV.
- 2) Rugi daya yang dibahas merupakan rugi daya tembaga akibat pembebanan trafo sehingga mengabaikan jenis rugi daya lain.
- 3) Mengabaikan susut tegangan (*drop voltage*) karena panjang saluran.
- 4) Tidak membahas peramalan beban.
- 5) Hanya membahas hasil simulasi ETAP dan tidak membahas langkah-langkah kerja *manuver* penyesuaian trafo di lapangan.

1.4. Rumusan Masalah

Dari masalah yang telah diidentifikasi sebelumnya, maka perumusan masalah penelitian ini adalah:

- 1) Bagaimana kondisi pembebanan Gardu Induk Pulomas setelah dilakukan simulasi penyesuaian beban trafo dengan ETAP 12.6?
- 2) Bagaimana rugi daya (*losses*) setelah dilakukan simulasi penyesuaian beban trafo dengan ETAP 12.6?

1.5. Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah tersebut maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Menganalisa kondisi pembebanan Gardu Induk Pulomas setelah dilakukan simulasi penyesuaian beban trafo dengan ETAP 12.6.

- 2) Menganalisa besar rugi daya (*losses*) setelah dilakukan simulasi penyesuaian beban trafo dengan ETAP 12.6.

1.6. Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan tersebut, maka manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian adalah:

a. Manfaat bagi peneliti dan PLN

- 1) Memberikan pengalaman bagi penulis dalam melakukan penelitian.
- 2) Diharapkan dapat menjadi acuan data PLN dalam melakukan langkah-langkah operasi agar pembebanan trafo tidak berlebih dan meminimalisir rugi daya yang terdapat di sistem distribusi primer.
- 3) Memberikan masukan yang tepat untuk memperbaiki jaringan dalam kaitannya dengan pencegahan beban trafo berlebih dan pengurangan rugi-rugi tegangan.

b. Manfaat bagi pendidikan

Bila dilihat dari sudut pandang keilmuan, penelitian ini bermanfaat sebagai bahan ajar materi di perguruan tinggi, khususnya untuk mata kuliah yang berhubungan dengan sistem distribusi listrik dan perhitungan beban transformator.

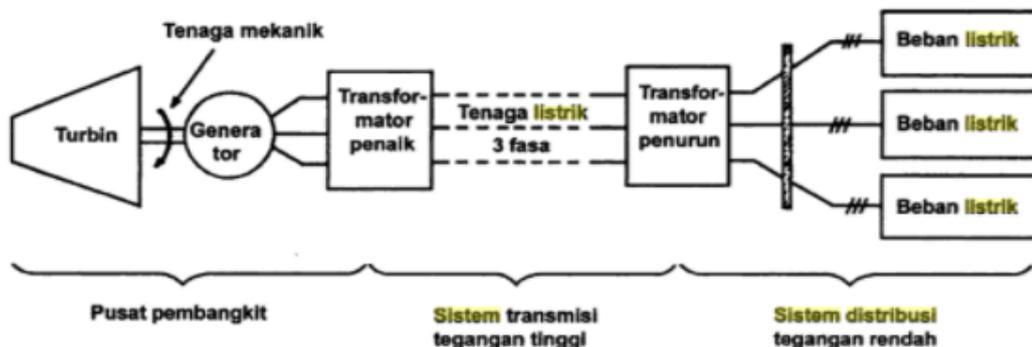
BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1. Landasan Teori

2.1.1. Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan rangkaian instalasi tenaga listrik yang kompleks yang terdiri dari pusat pembangkit, saluran transmisi, dan jaringan distribusi yang dioperasikan secara serentak dalam rangka penyediaan tenaga listrik (Pasal 1 angka 6 UU No 20 Tahun 2002 tentang ketenagalistrikan). Sedangkan menurut Zuhail & Zhanggischian (2004: 10), sistem tenaga listrik digambarkan dalam suatu diagram tenaga listrik seperti pada gambar 2.1 dibawah ini:



Gambar 2.1 Diagram Sistem Tenaga Listrik

Sumber: Zuhail & Zhanggischian (2004: 10)

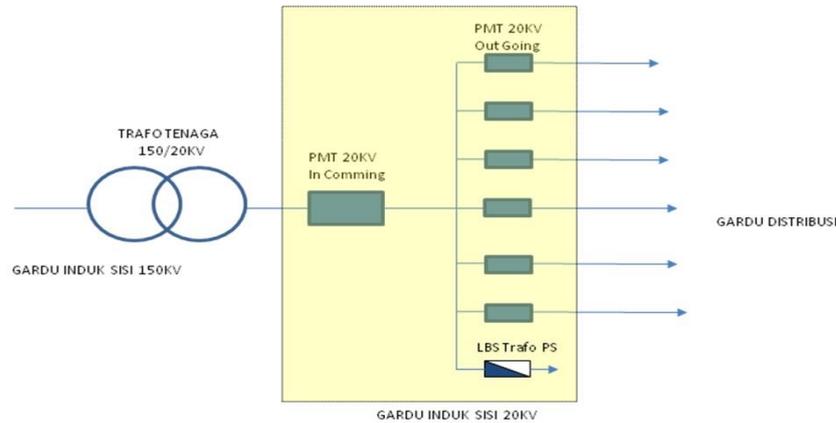
Pembangkit listrik adalah suatu rangkaian alat atau mesin yang mengubah energi mekanikal untuk menghasilkan energi listrik, biasanya rangkaian alat itu terdiri dari turbin dan generator listrik. Fungsi dari turbin adalah untuk memutar rotor dari generator listrik, sehingga dari putaran rotor itu dihasilkan energi listrik. Listrik yang dihasilkan dinaikkan dulu voltasenya menjadi 150 kV s/d 500 kV melalui Trafo *Step Up*. Peningkatan tegangan ini berfungsi untuk mengurangi kerugian

akibat hambatan pada kawat penghantar dalam proses transmisi. Dengan tegangan yang ekstra tinggi maka arus yang mengalir pada kawat penghantar menjadi kecil. Tegangan yang sudah dinaikkan kemudian ditransmisikan melalui jaringan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) ke Gardu Induk/GI, untuk diturunkan voltasenya menjadi tegangan menengah 20 kV, kemudian tegangan menengah disalurkan melalui Jaringan Tegangan Menengah (JTM), ke trafo-trafo distribusi. Di trafo-trafo distribusi voltasenya diturunkan dari 20 kV menjadi 220 volt dari trafo-trafo distribusi disalurkan melalui Jaringan Tegangan Rendah (JTR) ke pelanggan listrik (Suyitno, 2011: 81).

Kegiatan distribusi listrik (*electricity distribution*) menurut Esmeralda, dkk (2009: 33) merupakan tahap akhir dari penyampaian listrik kepada para pelanggan. Jaringan distribusi listrik biasanya meliputi pengadaan jaringan listrik tegangan rendah dan menengah (di bawah 50 kV), pembangunan gardu-gardu pendukung atau *substations* dan sejumlah transformator (untuk menurunkan tegangan listrik sampai ke tingkatan yang langsung dapat digunakan konsumen, yakni 100-230 V), jaringan kabel dan tiang listrik bertegangan rendah (biasanya yang memiliki tegangan di bawah 1000 V), jaringan kabel distribusi, sampai dengan pengadaan meteran-meteran listrik.

Tegangan sistem distribusi dapat dikelompokkan menjadi 2 bagian besar, yaitu distribusi primer dan distribusi sekunder. Jaringan distribusi 20 kV sering disebut jaringan distribusi sekunder atau Sistem Distribusi Tegangan Menengah sedangkan jaringan distribusi 380/220 V sering disebut jaringan distribusi sekunder atau Jaringan Tegangan Rendah 380/220 V, dimana tegangan 380 V merupakan besar tegangan antar fasa dan tegangan 220 V merupakan tegangan fasa-netral. Sistem

distribusi sekunder seperti pada gambar 2.2 merupakan salah satu bagian dalam sistem distribusi, yaitu mulai dari trafo tenaga gardu induk hingga ke gardu distribusi.



Gambar 2.2 Sistem Distribusi Primer 20 kV

Sumber: <http://mtrpagi.blogspot.co.id/2012/09/pengetahuan-dasar-gardu-induk-20-kv.html>

Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen. Dengan ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan (Soleh, 2014: 27).

2.1.2. Transformator

Transformator merupakan peralatan statis dimana rangkaian magnetik dan belitan yang terdiri dari 2 atau lebih belitan, secara induksi elektromagnetik, mentransformasikan daya (arus dan tegangan) sistem AC ke sistem arus dan tegangan lain pada frekuensi yang sama (IEC 60076-1 tahun 2011). Sementara menurut Berahim (1996: 87), dalam sistem tenaga listrik, transformator yakni peralatan atau piranti listrik yang dapat dipergunakan untuk mengubah energi yang

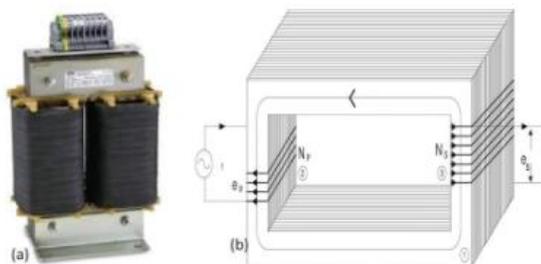
satu ke energi listrik yang lain dimana tegangan keluaran (*output*) dapat dinaikkan atau diturunkan oleh piranti ini sesuai kebutuhan dan tanpa merubah frekuensi.

Pemakaian trafo pada sistem tenaga dapat dibagi:

- Trafo penaik tegangan (*step up*) atau disebut trafo daya, untuk menaikkan tegangan pembangkitan menjadi tegangan transmisi.
- Trafo penurun tegangan (*step down*), dapat disebut trafo distribusi, untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi.
- Trafo instrumen, untuk pengukuran yang terdiri dari trafo tegangan dan trafo arus, dipakai menurunkan tegangan dan arus agar dapat masuk ke meter-meter pengukuran.

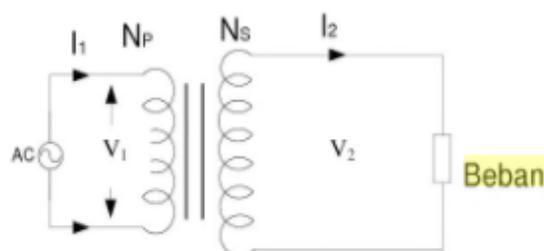
2.1.2.1. Konstruksi Transformator

Menurut Liklikwatil (2014: 195), adapun bagian terpenting dari suatu transformator seperti terlihat pada gambar 2.3 dibawah ini:



Gambar 2.3 Konstruksi Dasar Transformator, a) alat, b) diagram

Sumber: Liklikwatil (2014: 195)



Gambar 2.4 Diagram Rangkaian Pengganti Transformator

Sumber: Liklikwatil (2014: 195)

V_1 = tegangan primer

V_2 = tegangan sekunder

I_1 = arus primer

I_2 = arus sekunder

e_p = GGL induksi pada kumparan primer

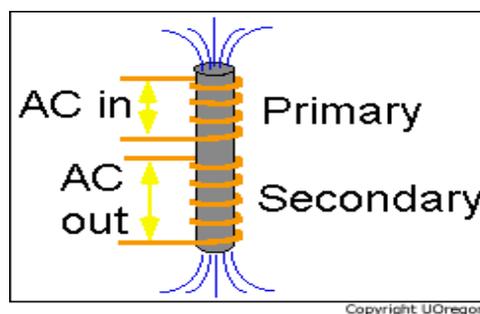
e_s = GGL induksi pada kumparan sekunder

Menurut Berahim (1996: 88), umumnya konstruksi trafo terdiri dari:

- Inti yang terbuat dari lembaran-lembaran plat besi lunak atau baja silikon yang diklem jadi satu.
- Belitan dibuat dari tembaga yang cara membelitkannya pada inti dapat konsentris atau spiral.
- Sistem pendinginan pada trafo-trafo dengan daya yang cukup besar.
- Bushing untuk menghubungkan rangkaian dalam trafo dengan rangkaian luar.

2.1.2.2. Prinsip Kerja Transformator

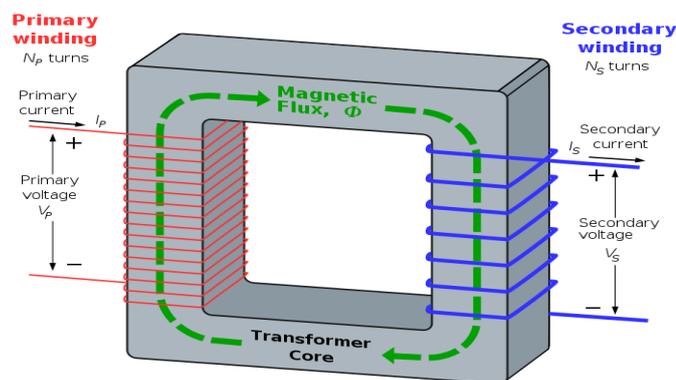
Prinsip kerja suatu transformator menurut Jatmiko (2015: 10) adalah induksi bersama (*mutual induction*) antara dua rangkaian yang dihubungkan oleh fluks magnet.



Gambar 2.5 Arus Bolak Balik Mengelilingi Inti Besi
 Sumber: Materi Diklat Pemeliharaan Trafo PLN Puslitbang

Prinsip yang berlaku pada cara kerja trafo adalah hukum induksi faraday dan hukum lorentz dalam menyalurkan daya, dimana arus bolak balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi itu akan berubah menjadi magnet. Dan apabila magnet tersebut dikelilingi oleh suatu belitan maka pada kedua ujung belitan tersebut akan terjadi beda potensial (gambar 2.5).

Arus yang mengalir pada belitan primer akan menginduksi inti besi transformator sehingga di dalam inti besi akan mengalir flux magnet dan flux magnet ini akan menginduksi belitan sekunder sehingga pada ujung belitan sekunder akan terdapat beda potensial (Gambar 2.6) .



Gambar 2.6 Prinsip kerja transformator

Sumber: Materi Diklat Pemeliharaan Trafo PLN Puslitbang

Sementara menurut Liklikwatil (2014: 198), apabila kumparan primer dihubungkan dengan (sumber), maka akan mengalir arus bolak-balik I_1 menimbulkan fluks magnet yang juga berubah-ubah pada intinya. Akibat adanya fluks magnet yang berubah-ubah, pada kumparan primer akan timbul GGL induksi e_p . Fluks magnet yang menginduksikan GGL induksi e_p juga dialami oleh kumparan sekunder karena merupakan fluks bersama (mutual fluks). Dengan demikian fluks tersebut menginduksikan GGL induksi e_p pada kumparan sekunder. Besarnya GGL induksi pada kumparan sekunder adalah:

$$e_s = -N_s \frac{d\Phi}{dt} \text{ Volt} \dots\dots\dots (2.1)$$

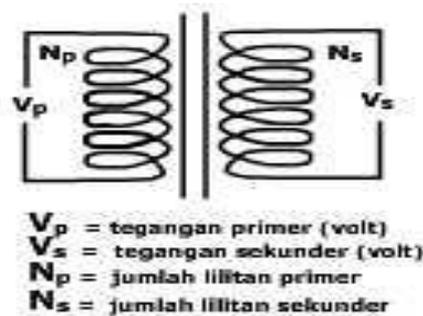
dimana:

e_s = GGL induksi pada kumparan sekunder

N_s = jumlah lilitan kumparan sekunder

$d\Phi$ = perubahan garis-garis gaya magnet dalam satuan weber (1 weber =
10⁸ maxwel)

dt = perubahan waktu dalam satuan detik



Gambar 2.7 Hubungan Antara Lilitan Primer & Sekunder Trafo

Sumber: Liklikwatil (2014: 198)

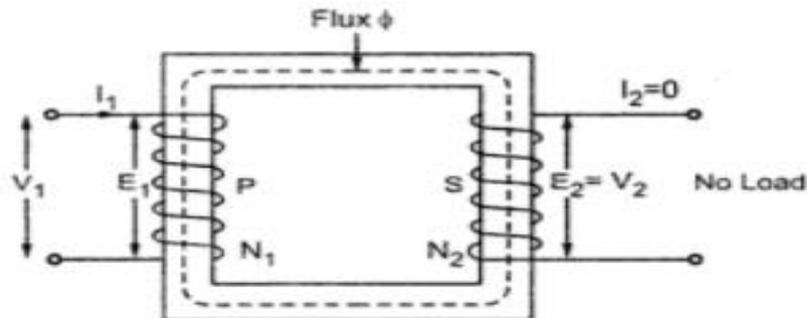
Hubungan antara tegangan primer, jumlah lilitan primer, tegangan sekunder, dan jumlah lilitan sekunder, dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \dots\dots\dots (2.2)$$

2.1.2.3. Transformator Tanpa Beban

Menurut Rijono (1997: 6), trafo disebut tanpa beban jika kumparan sekunder dalam keadaan terbuka (*open circuit*), perhatikan gambar 2.8. Sedangkan menurut Zuhail & Zhanggischian (2004: 633), bila kumparan primer suatu transformator dihubungkan dengan sumber tegangan V_1 sinusoidal, akan mengalirkan arus primer I_0 yang juga sinusoidal dan dengan menganggap kumparan N_1 reaktif murni, I_0 akan

tertinggal 90° dari V_1 . Arus primer I_0 menimbulkan fluks (Φ) yang sefasa dan juga sinusoidal.

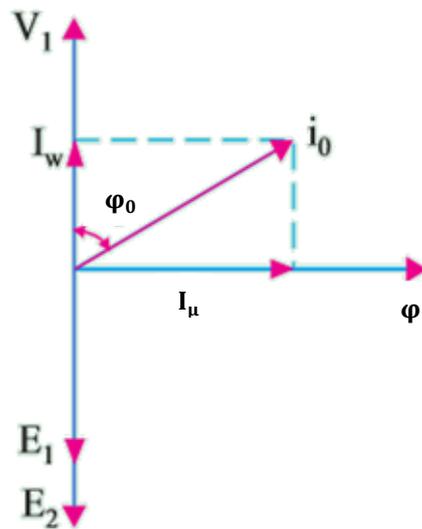


Gambar 2.8 Transformator dalam Keadaan Tanpa Beban

Sumber: Bakhsi & Bakhsi (2009: 332)

Sedangkan menurut Theraja & Theraja (2005: 1126), ketika trafo diberi beban, terdapat rugi besi pada inti dan rugi tembaga di kumparan-kumparan (primer dan sekunder) dan rugi-rugi tersebut tidak sepenuhnya dapat diabaikan. Meskipun ketika trafo dalam keadaan tanpa beban, arus masuk pada kumparan primer tidak sepenuhnya reaktif. Arus masuk primer dalam keadaan tanpa beban menghasilkan rugi besi pada inti seperti rugi histeris dan rugi arus eddy; dan rugi tembaga dalam jumlah yang kecil di kumparan primer (tidak ada rugi tembaga di kumparan sekunder yang dalam keadaan terbuka atau tanpa beban). Karenanya, arus masuk primer dalam keadaan tanpa beban (I_0) tidak 90° di belakang V_1 , melainkan tertinggal dari sebuah sudut $\varphi_0 < 90^\circ$.

Daya masuk tanpa beban ketika $\cos \varphi_0$ merupakan faktor daya primer dalam keadaan tanpa beban. Trafo tanpa beban ditunjukkan secara vector pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Vektor Transformator dalam Keadaan Tanpa Beban

Sumber: Theraja & Theraja (2005: 1126)

$$W_0 = V_1 I_0 \cos \varphi_0 \dots\dots\dots (2.3)$$

Seperti yang terlihat pada gambar 2.9, arus primer I_0 mempunyai dua komponen:

1. Sefasa dengan V_1 . Hal ini dikenal dengan *active* (aktif) atau *working* (bekerja) atau *iron* (rugi besi) yaitu komponen I_w karena menghasilkan rugi besi ditambah sejumlah kecil rugi tembaga primer.

$$I_w = I_0 \cos \varphi_0 \dots\dots\dots (2.4)$$

2. Komponen lainnya adalah dalam kuadrat dengan V_1 dan dikenal dengan komponen magnetasi I_μ karena fungsinya adalah untuk mempertahankan fluks bolak-balik pada inti.

$$I_\mu = I_0 \sin \varphi_0 \dots\dots\dots (2.5)$$

Jelaslah bahwa I_0 adalah penjumlahan vector dari I_w dan I_μ , oleh karena itu:

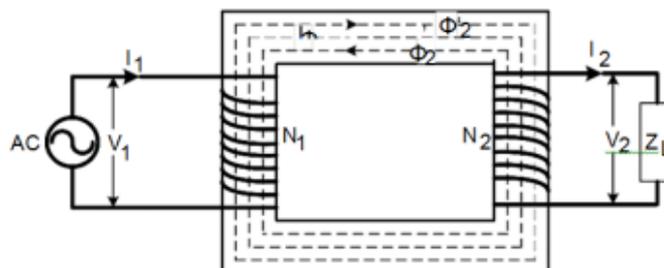
$$I_0 = I_\mu^2 + I_w^2 \dots\dots\dots (2.6)$$

Pada gambar 2.8 belitan sekunder tidak tersambung dengan alat pemakai (beban) oleh sebab itu belitan sekunder tidak mengeluarkan arus dan belitan primer

dipandang sebagai belitan penghambat, tidak ada kehilangan tegangan $E_2 = V_2$. Arus yang mengalir pada kumparan primer disebut arus tanpa beban (I_0) karena pada belitan primer tetap ada arus yang mengalir yang diperlukan untuk membangkitkan fluks, arus ini menyebabkan jatuhnya tegangan sepanjang belitan primer sehingga gaya gerak listrik dalam primer tidak sama dengan sumber listrik V_1 , jadi E_1 tidak sama dengan V_1 (Anwar, 2008: 44).

2.1.2.4. Transformator Berbeban

Menurut Sumanto (1996: 6-7), apabila kumparan sekunder dihubungkan dengan beban, maka pada lilitan sekunder mengalir arus sebesar I_2 . Belitan ampere sekunder ($I_2 N_s$) cenderung melemahkan fluks magnet pada inti sehingga e_p akan turun. Akan tetapi belitan ampere primer ($I_1 N_p$) mengimbangnya sehingga fluks magnet pada inti konstan (I_1 naik).



Gambar 2.10 Fluks Magnet pada Trafo Berbeban

Sumber: Sumanto (1996: 6)

Arus beban I_2 ini akan menimbulkan gaya gerak magnet (ggm) $N_2 I_2$ yang cenderung menentang fluks (Φ) bersama (*mutual induction*) yang telah ada akibat arus pemagnetan. Agar fluks bersama itu tidak berubah nilainya, pada kumparan primer harus mengalir arus I_2' yang menentang fluks yang dibangkitkan oleh arus beban I_2 , hingga keseluruhan arus yang mengalir pada kumparan primer menjadi:

$$I_1 = I_0 + I'_2 \dots\dots\dots (2.7)$$

Dan menurut Rijono (1997: 22) dengan mengabaikan rugi inti yang timbul pada trafo tersebut, maka besar $I_c = 0$, sehingga $I_0 = I_M$, maka:

$$I_1 = I_M + I'_2 \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana:

I_1 = Arus pada sisi primer (Ampere)

I'_2 = Arus yg menghasilkan Φ'_2 (Ampere)

I_0 = Arus penguat (Ampere)

I_M = Arus pemagnetan (Ampere)

I_c = Arus rugi-rugi inti (Ampere)

Untuk menjaga agar fluks tetap tidak berubah sebesar ggm yang dihasilkan oleh arus pemagnetan I_M akibat pemasangan beban pada kumparan sekunder, maka berlaku hubungan:

$$N_1 I_M = N_1 I_1 - N_2 I_2 \dots\dots\dots (2.9)$$

$$N_1 I_M = N_1 (I_M + I'_2) - N_2 I_2 \dots\dots\dots (2.10)$$

$$N_1 I'_2 = N_2 I_2 \dots\dots\dots (2.11)$$

Karena I_M dianggap kecil atau $I_M \ll I_1$, maka $I'_2 = I_1$, sehingga:

$$N_1 I_1 = N_2 I_2 \dots\dots\dots (2.12)$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{1}{a} \dots\dots\dots (2.13)$$

Sementara menurut (Anwar, 2008: 44), apabila tegangan V_1 yang berbentuk sinusoidal dihubungkan ke gulungan primer suatu transformator seperti pada gambar 2.10 maka pada gulungan tersebut akan mengalir arus listrik I_0 yang membangkitkan fluks bolak-balik yang mengalir ke seluruh inti sehingga menimbulkan gaya gerak listrik induksi E_1 pada belitan primer dan E_2 pada belitan

sekunder, karena pada belitan sekunder diberi beban Z maka akan timbul arus I_2 (arus beban) yang melingkari kumparan sekunder.

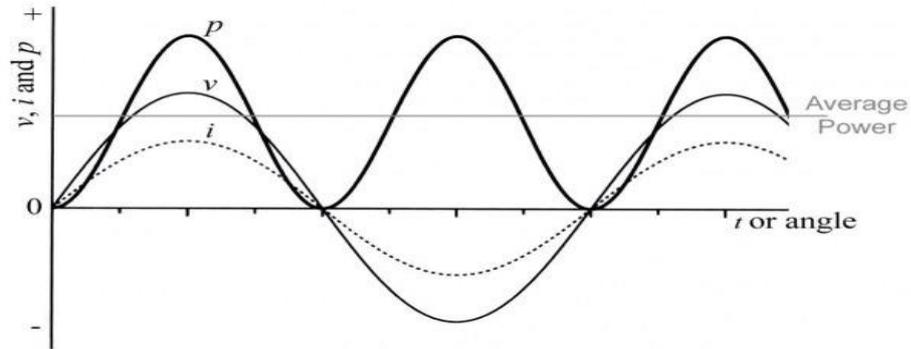
A. Beban Resistif

Beban (*load*,) istilah ini dapat digunakan dengan beberapa cara: untuk menunjuk sebuah alat atau kumpulan peralatan yang mengkonsumsi listrik; untuk menunjuk daya yang diperlukan dari suatu rangkaian suplai; daya atau arus yang sedang melewati suatu penghantar atau mesin (Weedy, 1988: 54).

Beban resistif atau beban hambatan murni dihasilkan oleh alat-alat listrik yang bersifat murni tahanan (resistor) seperti pada elemen pemanas dan lampu pijar. Beban resistif ini memiliki sifat yang "pasif", dimana ia tidak mampu memproduksi energi listrik, dan justru menjadi konsumen energi listrik.

Resistor bersifat menghalangi aliran elektron yang melewatinya (dengan jalan menurunkan tegangan listrik yang mengalir), sehingga mengakibatkan terkonversinya energi listrik menjadi panas. Dengan sifat demikian, resistor tidak akan merubah sifat-sifat listrik AC yang mengalirinya.

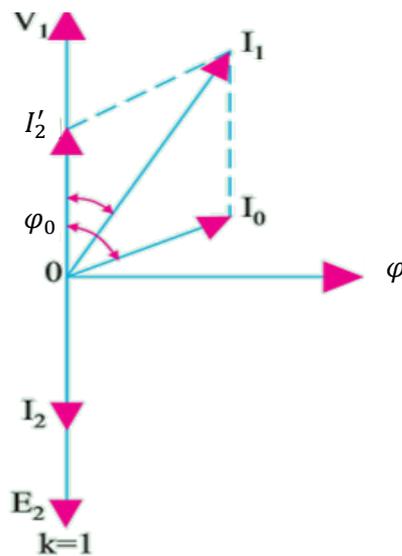
Gelombang arus dan tegangan listrik yang melewati resistor akan selalu bersamaan membentuk bukit dan lembah. Dengan kata lain, beban resistif tidak akan menggeser posisi gelombang arus maupun tegangan listrik AC. Menurut Rijono (1997: 14), jadi ternyata tegangan listrik yang ada pada hambatan murni adalah sefasa dengan arus listrik yang melaluinya. Dalam bentuk pulsa, hubungan arus dan tegangan ditunjukkan pada gambar 2.11 Sedangkan secara vektoris dapat digambarkan seperti pada gambar 2.12.



Gambar 2.11 Gelombang Sinusoidal Beban Resistif Listrik AC

Sumber: <http://artikel-teknologi.com/pengertian-beban-resistif-induktif-dan-kapasitif-pada-jaringan-listrik-ac/>

Nampak pada grafik di atas, karena gelombang tegangan dan arus listrik berada pada fase yang sama maka nilai dari daya listrik akan selalu positif. Inilah mengapa beban resistif murni akan selalu ditopang oleh 100% daya nyata.



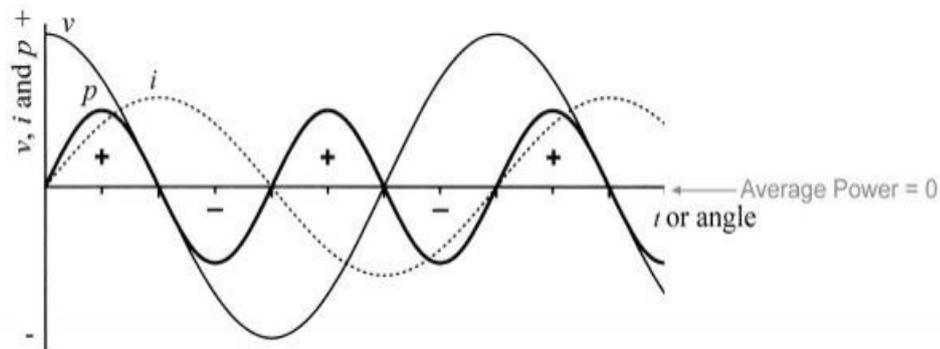
Gambar 2.12 Grafik Arus dan Tegangan Berbeban Resistif

Sumber: Theraja & Theraja (2005: 1129)

Pada gambar 2.12, I_2 adalah arus sekunder yang sefasa dengan E_2 (yang seharusnya adalah V_2). Hal tersebut menimbulkan arus primer I_2' yang anti-fasa dengannya dan sama besar dengannya ($K = 1$). Arus primer total I_1 adalah penjumlahan vektor dari I_0 dan I_2' dan tertinggal dari V_1 terhadap sebuah sudut ϕ_1 .

B. Beban Induktif

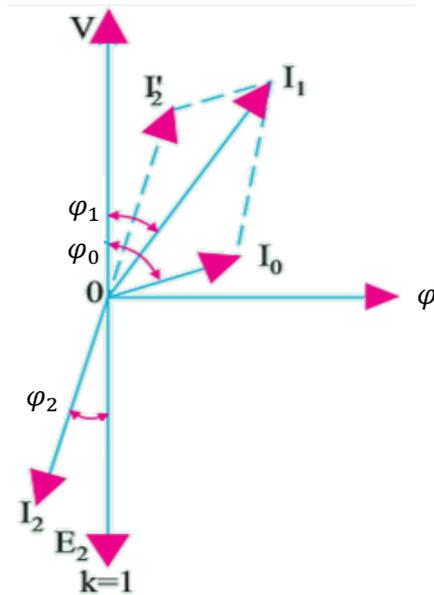
Beban induktif diciptakan oleh lilitan kawat (kumparan) yang terdapat di berbagai alat-alat listrik seperti motor, trafo, dan relay. Kumparan dibutuhkan oleh alat-alat listrik tersebut untuk menciptakan medan magnet sebagai komponen kerjanya. Pembangkitan medan magnet pada kumparan inilah yang menjadi beban induktif pada rangkaian arus listrik AC.



Gambar 2.13 Gelombang Sinusoidal Beban Induktif Listrik AC

Sumber: <http://artikel-teknologi.com/pengertian-beban-resistif-induktif-dan-kapasitif-pada-jaringan-listrik-ac/>

Nampak pada gelombang sinusoidal listrik AC di gambar 2.13, bahwa jika sebuah sumber listrik AC diberi beban induktif murni, maka gelombang arus listrik akan tertinggal sejauh 90° oleh gelombang tegangan (Rijono, 1997: 15). Atas dasar inilah beban induktif dikenal dengan istilah beban *lagging* (arus tertinggal tegangan). Nampak pula bahwa dikarenakan pergeseran gelombang arus listrik di atas, maka nilai daya listrik menjadi bergelombang sinusoidal. Beban jenis ini menyerap daya aktif dan daya reaktif.



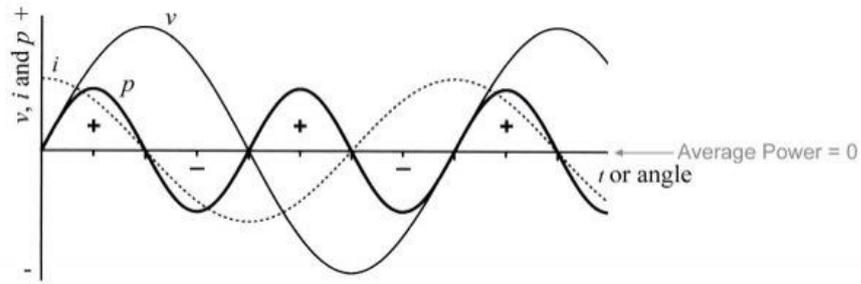
Gambar 2.14 Grafik Arus dan Tegangan Beban Induktif

Sumber: Theraja & Theraja (2005: 1129)

Pada gambar 2.14 I_2 tertinggal dari E_2 (sebenarnya V_2) terhadap φ_2 . Arus I'_2 merupakan antifasa dari I_2 dan sama besar dengannya. Seperti sebelumnya, I_1 adalah penjumlahan vector dari I'_2 dan I_0 dan tertinggal dibelakang V_1 terhadap φ_1 (Theraja & Theraja, 2005: 1130).

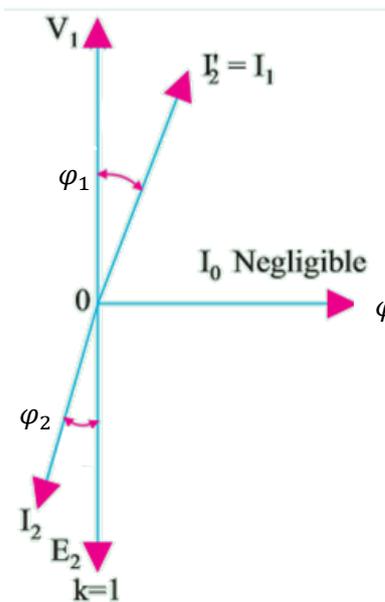
C. Beban Kapasitif

Beban kapasitif merupakan kebalikan dari beban induktif. Jika beban induktif menghalangi terjadinya perubahan nilai arus listrik AC, maka beban kapasitif bersifat menghalangi terjadinya perubahan nilai tegangan listrik. Sifat ini menunjukkan bahwa kapasitor bersifat seakan-akan menyimpan tegangan listrik sesaat. Mendapatkan *supply* tegangan AC naik dan turun, maka kapasitor akan menyimpan dan melepaskan tegangan listrik sesuai dengan perubahan tegangan masuknya.



Gambar 2.15 Gelombang Sinusoidal Beban Kapasitif Listrik AC
 Sumber: <http://artikel-teknologi.com/pengertian-beban-resistif-induktif-dan-kapasitif-pada-jaringan-listrik-ac/>

Fenomena inilah yang mengakibatkan gelombang arus AC akan mendahului (*leading*) tegangannya sejauh 90° seperti Nampak pada gambar 2.15 (Rijono, 1997: 19). Beban jenis ini menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif.



Gambar 2.16 Grafik Arus dan Tegangan Beban Kapasitif
 Sumber: Wijaya (2001: 84)

Dapat diketahui bahwa ϕ_1 sedikit lebih besar dari ϕ_2 . Tetapi jika kita mengabaikan I_0 dibandingkan dengan I_2' seperti pada gambar 2.16, maka $\phi_1 = \phi_2$. Dengan kondisi di bawah ini:

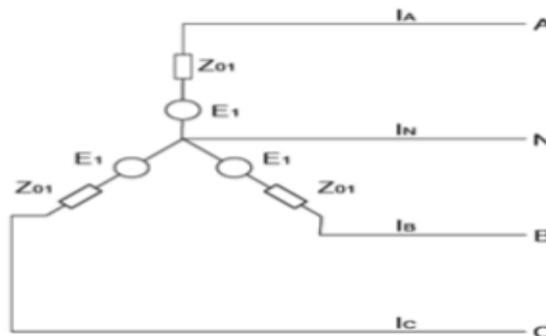
$$\frac{I_2'}{I_2} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = K \dots \dots \dots (2.14)$$

2.1.2.5. Hubungan Tiga Fasa dalam Transformator

Secara umum hubungan belitan tiga fasa terbagi atas dua jenis, yaitu hubungan wye (Y) dan hubungan delta (Δ). Masing-masing hubungan belitan ini memiliki karakteristik arus dan tegangan yang berbeda-beda, selanjutnya akan dijelaskan di bawah. Baik sisi primer maupun sekunder masing-masing dapat dihubungkan wye ataupun delta. Kedua hubungan ini dapat dijelaskan secara terpisah, yaitu:

A. Hubungan Wye (Y)

Menurut Lumbanraja (2008: 44), hubungan ini dapat dilakukan dengan menggabungkan ketiga belitan transformator yang memiliki rating yang sama.



Gambar 2.17 Hubungan Wye (Y)

Sumber: Lumbanraja (2008: 44)

Dari gambar 2.17 dapat diketahui sebagai berikut:

$$I_A = I_B = I_C = I_{L-L} (A) \dots\dots\dots (2.15)$$

$$I_{L-L} = I_{ph} (A) \dots\dots\dots (2.16)$$

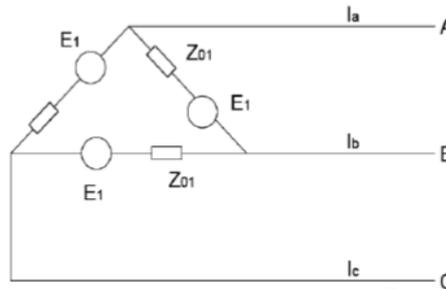
Dimana:

I_{L-L} = Arus line to line

I_{ph} = Arus Arus line to netral

B. Hubungan Delta (Δ)

Hubungan delta ini juga mempunyai tiga buah belitan dan masing-masing memiliki rating yang sama.



Gambar 2.18 Hubungan Delta (Δ)
 Sumber: Lumbanraja (2008: 45)

Dari gambar 2.18 dapat kita ketahui sebagai berikut:

$$I_A = I_B = I_C = I_{L-L} (A) \dots\dots\dots (2.17)$$

$$I_{L-L} = \sqrt{3} I_{ph} (A) \dots\dots\dots (2.18)$$

Dan:

$$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = V_{L-L} (V) \dots\dots\dots (2.19)$$

$$V_{L-L} = \sqrt{3} V_{ph} = \sqrt{3} E_1 (V) \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana:

V_{L-L} = Tegangan line to line

V_{ph} = Tegangan line to netral

Dengan menetapkan/mengambil sebuah tegangan referensi dan sudut fasa nol, maka dapat ditentukan sudut phasa yang lainnya pada sistem tiga fasa tersebut.

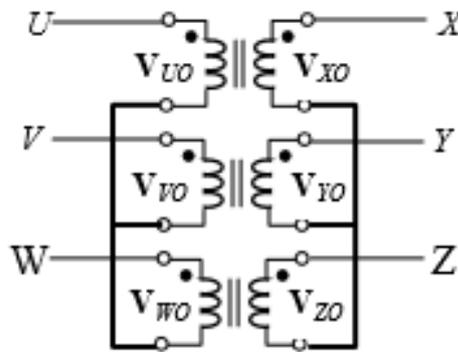
2.1.2.6. Jenis-Jenis Hubungan Belitan Transformator Tiga Fasa

Dalam sistem tenaga listrik transformator tiga fasa digunakan karena pertimbangan ekonomis dan efisien. Pada transformator tiga fasa terdapat dua

hubungan belitan utama yaitu hubungan delta (Δ) dan hubungan bintang (Y). Dan ada empat kemungkinan lain hubungan transformator tiga fasa, yaitu:

A. Hubungan Wye-Wye (Y-Y)

Hubungan ini ekonomis digunakan untuk melayani beban yang kecil dengan tegangan transformasi yang tinggi. Hubungan Y-Y pada transformator tiga fasa dapat dilihat pada gambar 2.19 berikut ini:



Gambar 2.19 Hubungan Wye-Wye (Y-Y)
 Sumber: Sudirham (2011: 18)

Fasa primer disebut dengan fasa U-V-W sedangkan fasa sekunder disebut fasa X-Y-Z. Fasor tegangan fasa primer kita sebut V_{UO} , V_{VO} , V_{WO} dengan nilai V_{FP} , dan tegangan fasa sekunder kita sebut V_{XO} , V_{YO} , V_{ZO} dengan nilai V_{FS} . Nilai tegangan saluran (tegangan fasa-fasa) primer dan sekunder kita sebut V_{LP} dan V_{LS} . Nilai arus saluran primer dan sekunder masing-masing kita sebut I_{LP} dan I_{LS} sedang nilai arus fasanya I_{FP} dan I_{FS} . Pada hubungan Y-Y, tegangan primer pada masing-masing fasa adalah:

$$V_{L1} = \sqrt{3} V_{F1} \text{ (V)} \dots\dots\dots (2.21)$$

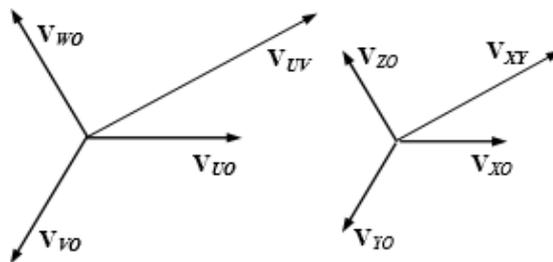
Tegangan fasa-fasa pimer sama dengan $\sqrt{3}$ kali tegangan fasa primer dengan perbedaan sudut fasa 30° , tegangan fasa-fasa sekunder sama dengan $\sqrt{3}$ kali

tegangan fasa sekunder dengan perbedaan sudut fasa 30°. Perbandingan tegangan fasa-fasa primer dan sekunder adalah:

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{\sqrt{3}V_{FP}}{\sqrt{3}V_{FS}} = a \dots\dots\dots (2.22)$$

$$\frac{I_{LP}}{I_{LS}} = \frac{I_{FP}}{I_{FS}} = \frac{1}{a} \dots\dots\dots (2.23)$$

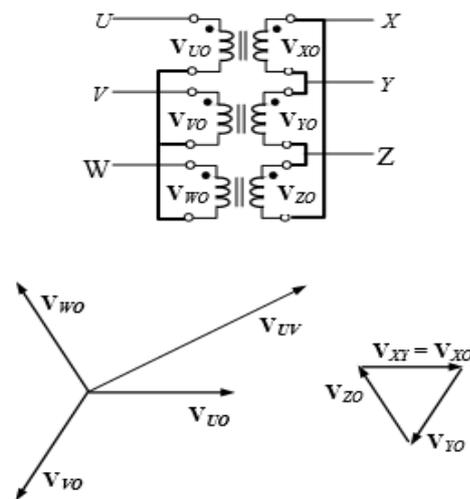
Antara fasor tegangan fasa-fasa primer dan sekunder tidak terdapat perbedaan sudut fasa.



Gambar 2.20 Diagram Fasor Hubungan Wye-Wye (Y-Y)
 Sumber: Sudirham (2011: 18)

B. Hubungan Wye-Delta (Y - Δ)

Digunakan sebagai penurun tegangan untuk sistem tegangan tinggi. Hubungan Y-Δ pada transformator tiga fasa dapat dilihat pada gambar 2.21 berikut ini:



Gambar 2.21 Hubungan Wye-Delta (Y- Δ)
 Sumber: Sudirham (2011: 19)

Tegangan fasa-fasa primer sama dengan $\sqrt{3}$ kali tegangan fasa primer dengan perbedaan sudut fasa 30° , sedangkan tegangan fasa-fasa sekunder sama dengan tegangan fasa sekunder. Dengan mengabaikan rugi-rugi diperoleh. Fasor tegangan fasa-fasa primer mendahului sekunder 30° .

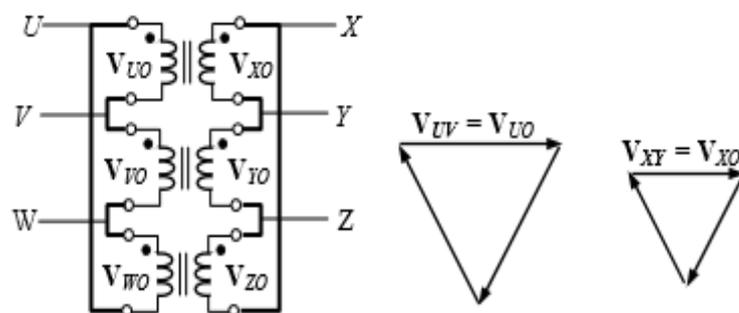
$$\frac{V_{Lp}}{V_{LS}} = \frac{V_{FP}\sqrt{3}}{V_{FS}} = a\sqrt{3} \dots\dots\dots (2.24)$$

$$\frac{I_{Lp}}{I_{LS}} = \frac{I_{FP}}{I_{FS}\sqrt{3}} = \frac{1}{a\sqrt{3}} \dots\dots\dots (2.25)$$

Tidak ada masalah yang serius pada saat melayani beban yang tidak seimbang karena hubungan delta pada sisi sekunder akan mendistribusikan beban tidak seimbang tersebut pada masing-masing fasa. Masalah harmonisa ketiga pada tegangan disisi sekunder pun dapat dihapus karena telah disirkulasikan melalui hubungan delta disisi sekunder.

C. Hubungan Delta-Delta (Δ - Δ)

Hubungan ini ekonomis digunakan untuk melayani beban yang besar dengan tegangan pelayanan yang rendah. Hubungan Δ - Δ ini pada transformator tiga fasa ditunjukkan pada gambar 2.22 berikut:



Gambar 2.22 Hubungan Delta-Delta (Δ - Δ)
Sumber: Sudirham (2011: 17)

Pada waktu menghubungkan tiga transformator satu fasa untuk melayani sistem tiga fasa, hubungan sekunder harus diperhatikan agar sistem tetap seimbang.

Diagram hubungan ini diperlihatkan pada gambar 2.22 Rasio tegangan fasa primer terhadap sekunder $V_{FP} / V_{FS} = a$. Dengan mengabaikan rugi-rugi untuk hubungan Δ - Δ kita peroleh:

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{FP}}{V_{FS}} = a \dots\dots\dots (2.26)$$

$$\frac{I_{LP}}{I_{LS}} = \frac{I_{FP}\sqrt{3}}{I_{FS}\sqrt{3}} = \frac{1}{a} \dots\dots\dots (2.27)$$

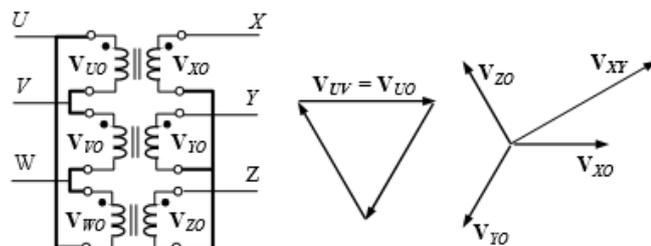
Salah satu keuntungan pemakaian transformator tiga fasa hubungan Δ - Δ adalah perbedaan fasa pada hubungan ini tidak ada dan stabil terhadap beban tidak seimbang dan harmonisa. Selain itu keuntungan lain yang dapat diambil adalah apabila transformator ini mengalami gangguan pada salah satu belitannya maka transformator ini dapat terus bekerja melayani beban walaupun hanya menggunakan dua buah belitan.

D. Hubungan Delta-Wye (Δ - Y)

Tegangan fasa-fasa pimer sama dengan tegangan fasa primer, sedangkan tegangan fasa-fasa sekunder sama dengan $\sqrt{3}$ kali tegangan fasa sekunder dengan perbedaan sudut fasa 30° mendahului tegangan sisi primer. Dengan mengabaikan rugi-rugi kita peroleh

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{FP}}{V_{FS}\sqrt{3}} = \frac{a}{\sqrt{3}} \dots\dots\dots (2.28)$$

$$\frac{I_{LP}}{I_{LS}} = \frac{I_{FP}\sqrt{3}}{I_{FS}} = \frac{\sqrt{3}}{a} \dots\dots\dots (2.29)$$



Gambar 2.23 Hubungan Delta-Wye (Δ - Y)
 Sumber: Sudirham (2011: 17)

Dengan memperhatikan ketahanan insulation, transformator hubungan Delta-Wye (Δ -Y) bisa digunakan baik sebagai transformator *step-up* (penaik tegangan), namun secara umum banyak digunakan pada aplikasi *step-down* (penurun tegangan). Dengan adanya titik netral pada sisi sekunder, transformator hubungan Wye-Delta (Y- Δ) banyak digunakan sebagai transformator distribusi karena bisa menyuplai beban tiga fasa maupun satu fasa. Sedangkan hubungan delta di sisi primer dapat meminimalkan beban tidak seimbang yang sering dihadapi pada setiap transformator distribusi.

2.1.2.7. Kelompok Vektor

Dalam Dhuha & Amien (2015: 49-50), vektor group adalah istilah yang dibuat oleh standar IEC dan manufaktur transformator sampai saat ini. Ini menunjukkan cara menghubungkan belitan dan posisi fasa dari pandangan vektor tegangan. Ada beberapa macam transformator yang membedakan oleh kelompok vektor dan titik netralnya yaitu:

Tabel 2.1 Vektor Grup dan Daya Transformator 3 Fasa

No	Vektor Group	Daya (kVA)	Keterangan
1	Yzn5	50 100 160	Untuk sistem 3 kawat
2	Dyn5	200 250 315 400 500 630	Untuk sistem 3 kawat

No	Vektor Group	Daya (kVA)	Keterangan
3	Ynyn0	50 100 160 200 250 315 400 500 630	Untuk sistem 4 kawat

Ditunjukkan dengan:

1. Huruf menunjukkan konfigurasi dari phasa kumparan. Di sistem 3 phasa, hubungan belitan dikategorikan oleh Delta (D,d), Bintang atau Wye (Y, y), *interconnected star* atau zigzag (Z, z) dan belitan *open* atau *independent*. Huruf kapital menunjukkan ke belitan tegangan tinggi (HV), dan tegangan rendah (LV).
2. Huruf (N, n) dimana menunjukkan netral dari belitan hubungan bintang yang digunakan.
3. Nomor menunjukkan pergeseran phasa antara tegangan sisi tegangan tinggi. Nomor ini kelipatan dari 300 , menunjukkan sudut dimana vektor dari tegangan rendah (LV) *lags* atau tertinggal dari kumparan tegangan tinggi (HV). Sudut dari masingmasing kumparan tegangan rendah ditunjukkan dengan “notasi jam”, oleh karena itu jam ditunjukkan oleh pasor belitan ketika belitan tegangan tinggi (HV) ditunjukkan oleh jam 12.

Tabel 2.2 Golongan Hubungan Trafo 3 Fasa dengan Sistem Jam

Angka jam	Kelompok hubungan	TT Tegangan Tinggi	tr Tegangan rendah	Hubungan lilitan TT	Hubungan lilitan tr	Perbandingan lilitan a
0	Dd0					$\frac{N_1}{N_2}$
	Yy0					$\frac{N_1}{N_2}$
	Dz0					$\frac{2N_1}{3N_2}$
5	Dy5					$\frac{N_1}{\sqrt{3}N_2}$
	Yd5					$\frac{\sqrt{3}N_1}{N_2}$
	Yz5					$\frac{2N_1}{\sqrt{3}N_2}$
6	Dd6					$\frac{N_1}{N_2}$
	Yy6					$\frac{N_1}{N_2}$
	Dz6					$\frac{2N_1}{3N_2}$
11	Dy11					$\frac{N_1}{\sqrt{3}N_2}$
	Yd11					$\frac{\sqrt{3}N_1}{N_2}$
	Yz11					$\frac{2N_1}{\sqrt{3}N_2}$

Sementara daya transformator bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$S = \sqrt{3} V.I \dots\dots\dots (2.29)$$

Sehingga untuk menghitung arus beban penuh (full load) dapat menggunakan rumus:

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} V_{sekunder}} \dots\dots\dots (2.30)$$

2.1.3. Gardu Induk

Menurut buku pedoman Operasi dan Pemeliharaan Gardu Induk PT. PLN Pusdiklat (2009), gardu induk merupakan simpul di dalam sistem tenaga listrik

yang terdiri dari susunan rangkaian sejumlah perlengkapan yang dipasang menempati suatu lokasi tertentu untuk menerima dan menyalurkan tenaga listrik, menaikkan dan menurunkan tegangan sesuai dengan tingkat tegangan kerjanya, tempat melakukan kerja *switching* rangkaian suatu sistem tenaga listrik dan untuk menunjang keandalan sistem tenaga listrik terkait.

Sedangkan menurut Riyanto & Suheta (2014: 1), gardu induk adalah suatu instalasi dari kumpulan peralatan listrik yang disusun menurut pola tertentu, dan merupakan penghubung penting di dalam sistem tenaga listrik yang menyalurkan dan mengatur proses penyaluran serta pelayanan tenaga listrik dan pembangkitan ke konsumen.

Gardu Induk (biasanya disingkat GI) merupakan sistem peralatan listrik tegangan tinggi yang berfungsi untuk menyalurkan dan mengendalikan daya listrik dengan menggunakan peralatan material utama (MTU) antara lain transformator tenaga, transformator arus (CT), transformator tegangan (PT), pemutus tenaga (PMT), pemisah (PMS), dan *arrester* (LA) (SPLN T5.005, 2014: 2) yang nantinya akan dijelaskan satu persatu di subbab 2.1.3 ini. Fungsi utama dari gardu induk adalah:

- Untuk mengatur aliran daya listrik dari saluran transmisi ke saluran transmisi lainnya yang kemudian didistribusikan ke konsumen.
- Sebagai tempat kontrol.
- Sebagai pengaman operasi sistem.
- Sebagai tempat untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi.

2.1.3.1. Transformator Tenaga

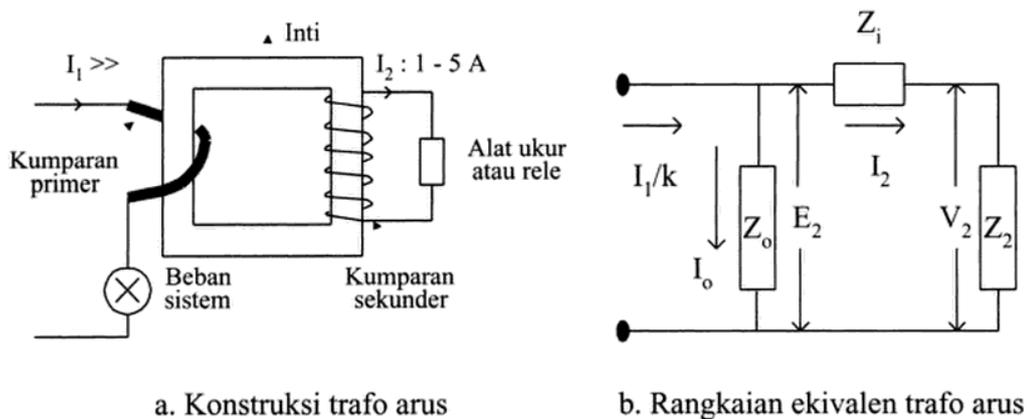
Trafo tenaga merupakan peralatan statis dimana rangkaian magnetik dan belitan yang terdiri dari 2 atau lebih belitan, secara induksi elektromagnetik, mentransformasikan daya (arus dan tegangan) sistem AC ke sistem arus dan tegangan lain pada frekuensi yang sama (IEC 60076-1 : 2011). Pembahasan secara rinci mengenai trafo telah dijelaskan di subbab 2.1.2.



Gambar 2.24 Transformator Tenaga
Sumber: Dokumentasi Pribadi

2.1.3.2. Transformator Arus (CT)

Menurut Tobing (2012: 116), transformator arus atau *Current Transformer* (CT) digunakan untuk pengukuran arus yang besarnya ratusan ampere dan arus yang mengalir dalam jaringan tegangan tinggi. Disamping untuk pengukuran arus, trafo arus juga dibutuhkan untuk pengukuran daya dan energi, pengukuran jarak jauh dan rele proteksi. Kumparan primer trafo arus dihubungkan seri dengan jaringan atau peralatan yang akan diukur arusnya, sedang kumparan sekunder dihubungkan dengan meter atau rele proteksi. Pada umumnya peralatan ukur dan rele membutuhkan arus 1 atau 5 A.



a. Konstruksi trafo arus

b. Rangkaian ekuivalen trafo arus

Gambar 2.25 Kontruksi Trafo Arus

Sumber: Tobing (2012: 193)

Pada gambar 2.25 ditunjukkan skema konstruksi suatu trafo arus dan rangkaian ekuivalennya dilihat dari sisi sekunder. Prinsip kerjanya sama dengan trafo daya satu fasa. Sedangkan menurut Buku Pedoman Pemeliharaan Trafo Arus (CT) PLN, Fungsi dari trafo arus adalah:

1. Mengkonversi besaran arus pada sistem tenaga listrik dari besaran primer menjadi besaran sekunder untuk keperluan pengukuran sistem metering dan proteksi.
2. Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer, sebagai pengamanan terhadap manusia atau operator yang melakukan pengukuran.
3. Standarisasi besaran sekunder, untuk arus nominal 1 Amp dan 5 Amp (Rusdjaja, 2014:3).

Setiap trafo arus mempunyai spesifikasi yang berisi detail komponen trafo arus tersebut. Spesifikasi trafo (CT) arus antara lain:

1. Ratio CT, rasio CT merupakan spesifikasi dasar yang harus ada pada CT, dimana representasi nilai arus yang ada di lapangan dihitung dari besarnya rasio CT. Misal CT dengan rasio 2000/5A, nilai yang terukur di sekunder CT adalah 2.5A, maka nilai aktual arus yang mengalir di penghantar adalah 1000

- A. Kesalahan rasio ataupun besarnya presentasi error (%err) dapat berdampak pada besarnya kesalahan pembacaan di alat ukur, kesalahan penghitungan tarif, dan kesalahan operasi sistem proteksi.
2. *Burden* atau nilai maksimum daya (dalam satuan VA) yang mampu dipikul oleh CT. Nilai daya ini harus lebih besar dari nilai yang terukur dari terminal skunder CT sampai dengan koil relay proteksi yang dikerjakan. Apabila lebih kecil, maka relay proteksi tidak akan bekerja untuk mengetriapkan CB/PMT apabila terjadi gangguan.

Tabel 2.3 Burden Relay Pada Arus Nominal

Alat Ukur	Burden (VA)
Relai Arus Lebih	2
Relai Arus Lebih-Waktu Terbalik	1,5 – 5
Relai Arus Balik	1,8
Relai Daya Balik	0,07 – 3,5
Relai Daya	0,23 – 11,5
Relai Diferensial	0,8 – 6
Relai Jarak	2 – 25

3. *Class*, kelas CT menentukan untuk sistem proteksi jenis apakah core CT tersebut. Misal untuk proteksi arus lebih digunakan kelas 5P20, untuk kelas tarif metering digunakan kelas 0.2 atau 0.5, untuk sistem proteksi busbar digunakan Class X atau PX.
4. *Kneepoint*, adalah titik saturasi/jenuh saat CT melakukan eksitasi tegangan. Umumnya proteksi busbar menggunakan tegangan sebagai penggerak koilnya. Tegangan dapat dihasilkan oleh CT ketika skunder CT diberikan impedansi seperti yang tertera pada Hukum Ohm. *Kneepoint* hanya terdapat pada CT dengan Class X atau PX. Besarnya tegangan *kneepoint* bisa mencapai 2000 Volt, dan tentu saja besarnya *kneepoint* tergantung dari nilai atau desain yang diinginkan.

5. *Secondary Winding Resistance* (R_{ct}), atau impedansi dalam CT. Impedansi dalam CT pada umumnya sangat kecil, namun pada Class X nilai ini ditentukan dan tidak boleh melebihi nilai yang tertera disana. Misal: $<2.5\Omega$, maka impedansi CT pada Class X tidak boleh lebih dari 2.5Ω atau CT tersebut dikembalikan ke pabrik untuk dilakukan penggantian.

Fungsi trafo arus berdasarkan lokasi pemasangannya menurut Buku Pedoman Pemeliharaan Trafo Arus (CT) PLN, terbagi menjadi dua kelompok:

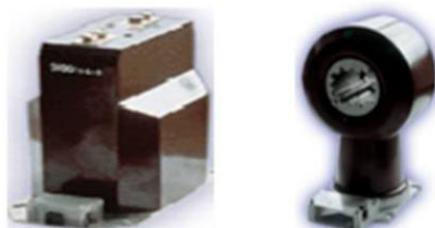
1. Trafo arus pemasangan luar ruangan (*outdoor*) yang memiliki konstruksi fisik yang kokoh, isolasi yang baik, biasanya menggunakan isolasi minyak untuk rangkaian elektrik internal dan bahan keramik/*porcelain* untuk isolator eksternal.



Gambar 2.26 Trafo Arus Pemasangan Luar Ruangan

Sumber: Radjaja (2014: 7)

2. Trafo arus pemasangan dalam ruangan (*indoor*) yang biasanya memiliki ukuran lebih kecil dari trafo arus pemasangan luar ruangan, menggunakan isolator dari bahan resin.



Gambar 2.27 Trafo Arus Pemasangan Dalam Ruangan

Sumber: Radjaja (2014: 7)

2.1.3.3. Transformator Tegangan (PT)

Trafo tegangan adalah trafo satu fasa *step-down* yang mentransformasikan tegangan sistem ke suatu tegangan rendah yang besarnya sesuai untuk lampu indikator, alat ukur, relai, dan alat sinkronisasi (Tobing, 2012: 95). Menurut Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tegangan (CVT) PLN, fungsi trafo tegangan yaitu:

1. Mentransformasikan besaran tegangan sistem dari yang tinggi ke besaran tegangan listrik yang lebih rendah sehingga dapat digunakan untuk peralatan proteksi dan pengukuran yang lebih aman, akurat, dan teliti.
2. Mengisolasi bagian primer yang tegangannya sangat tinggi dengan bagian sekunder yang tegangannya rendah untuk digunakan sebagai sistem proteksi dan pengukuran peralatan di bagian primer.
3. Sebagai standarisasi besaran tegangan sekunder (100, $100/\sqrt{3}$, $110/\sqrt{3}$, dan 110 volt) untuk keperluan peralatan sisi sekunder.
4. Memiliki 2 kelas, yaitu kelas proteksi (30, 6P) dan kelas pengukuran (0,1; 0,2; 0,5;1;3) (Rusdjaja, 2014: 1). Berikut pada gambar 2.28 adalah gambar transformator tegangan.



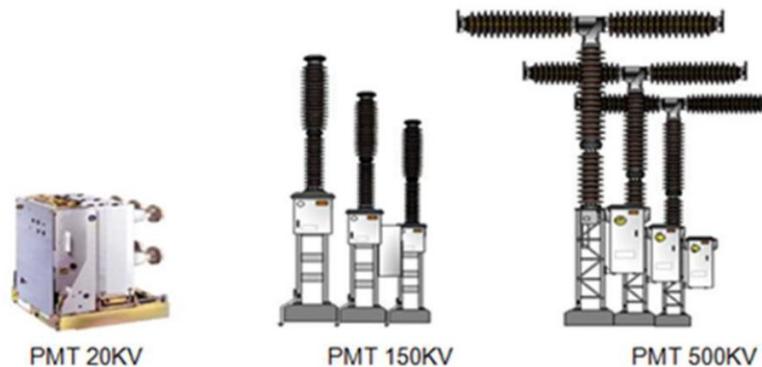
Gambar 2.28 Trafo Tegangan Kutub Tunggal Tanpa *Bushing*
Sumber: Tobing (2012: 100)

Trafo tegangan dibagi menjadi dua jenis yaitu trafo tegangan magnetik (*Magnetic Voltage Transformer / VT*) yang disebut juga trafo tegangan induktif

yang salah satu jenisnya dapat dilihat pada gambar 2.10 dan trafo tegangan kapasitif (*Capacitive Voltage Transformer / CVT*).

2.1.3.4. Pemutus Tenaga (PMT)

Berdasarkan *IEV (International Electrotechnical Vocabulary)* 441-14-20 disebutkan bahwa *Circuit Breaker (CB)* atau Pemutus Tenaga (PMT) merupakan peralatan saklar/switching mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode tertentu) dan memutus arus beban dalam kondisi abnormal/gangguan seperti kondisi hubung singkat (*Short Circuit*).



Gambar 2.29 Pemutus Tenaga (PMT)

Sumber: Radjaja (2014: 2)

Sedangkan definisi PMT berdasarkan *IEEE C37.100:1992 (Standard Definitions for Power Switchgear)* adalah merupakan peralatan saklar/switching mekanis, yang mampu menutup, mengalirkan dan memutus arus beban dalam kondisi normal sesuai dengan ratingnya serta mampu menutup, mengalirkan (dalam periode tertentu) dan memutus arus beban dalam spesifik kondisi abnormal/gangguan sesuai dengan ratingnya.

2.1.3.5. *Lightning Arrester* (LA)

Menurut Buku Pedoman Pemeliharaan *Lightning Arrester* PLN, LA merupakan peralatan yang berfungsi untuk melindungi peralatan listrik lain dari tegangan surja (baik surja hubung maupun surja petir) (Radjaja, 2014: 1).



Gambar 2.30 *Lightning Arrester* (LA)
Sumber: Radjaja (2014: 7)

2.1.3.6. Kubikel Tegangan Menengah (TM)

Berdasarkan Buku Pedoman Pemeliharaan Kubikel Tegangan Menengah PLN, kubikel TM adalah seperangkat peralatan listrik yang dipasang pada Gardu Induk dan Gardu Distribusi/Gardu Hubung yang berfungsi sebagai pembagi, pemutus, penghubung, pengontrol, dan pengaman sistem penyaluran tenaga listrik tegangan menengah (Radjaja, 2014: 1). Berdasarkan fungsi/penempatannya, kubikel TM di gardu induk terbagi menjadi enam macam, diantaranya:

1. Kubikel *Incoming*, berfungsi sebagai penghubung dari sisi sekunder trafo daya ke rel tegangan menenga.
2. Kubikel *Outgoing*, berfungsi sebagai penghubung/penyalur dari rel ke beban.
3. Kubikel Pemakaian Sendiri (Trafo PS), berfungsi sebagai penghubung dari rel ke beban pemakaian sendiri GI.
4. Kubikel Kopel (Bus Kopleng), berfungsi sebagai penghubung antara rel 1 dengan rel 2. Rel biasa juga disebut seksi.

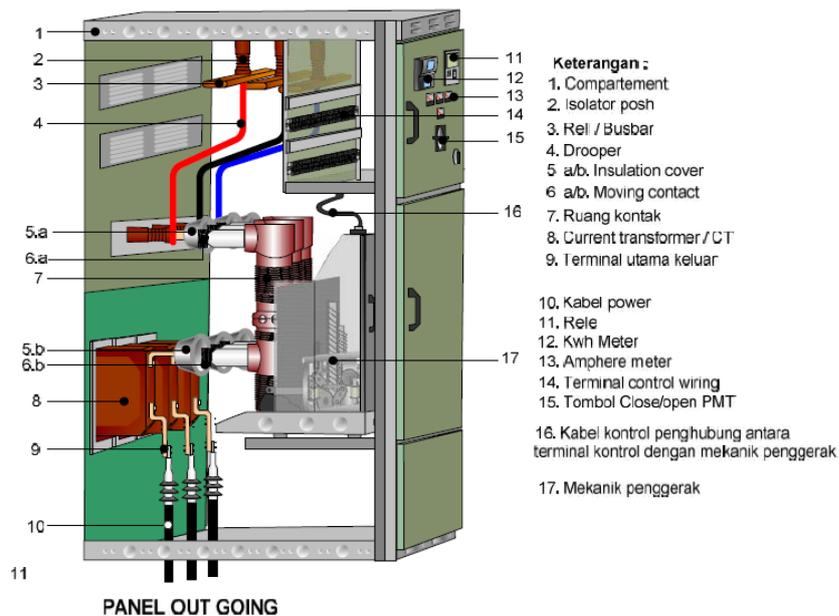
5. Kubikel PT, berfungsi sebagai sarana pengukuran dan pengaman.
6. Kubikel Bus Riser / Bus Tie (*Interface*), berfungsi sebagai penghubung antar kubikel.



Gambar 2.31 Kubikel Tegangan Menengah

Sumber: Dokumentasi Pribadi

Di dalam kubikel sendiri terdapat beberapa komponen yang umumnya merupakan komponen isolator dan pengukuran (telah dijabarkan di subbab-subbab sebelumnya). Bagian-bagian pada kubikel TM *outgoing* dapat dilihat pada gambar 2.32.



Gambar 2.32 Bagian-Bagian Kubikel TM Tipe Outgoing

Sumber: Radjaja (2014: 7)

2.1.4. Pengaturan Beban Transformator

Transformator mempunyai dua sisi kumparan, yaitu sisi primer dan sekunder. Pada gardu induk, transformator yang digunakan adalah trafo tenaga jenis *step-down* yang bertugas menurunkan tegangan dari 150 kV menjadi 20 kV. Sisi primer trafo tenaga gardu induk terhubung dengan sumber, yaitu sistem transmisi 150 kV. Sedangkan sisi sekunder terhubung dengan beban, atau di gardu induk beban tersebut disebut sebagai penyulang (*feeder*). Dan penyulang ini lah yang nantinya akan menyalurkan listrik ke gardu-gardu distribusi melalui penghantar bawah tanah yang pada akhirnya sampai ke konsumen. Dapat juga dikatakan bahwa tiap gardu induk (GI) sesungguhnya merupakan pusat beban untuk suatu daerah pelanggan tertentu, bebannya berubah-ubah sepanjang waktu sehingga daya yang di bangkitkan 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 dikoordinasikan dengan Pusat Pengaturan Beban (P3B).

Suatu faktor utama yang paling penting dalam perencanaan sistem distribusi adalah karakteristik dari berbagai beban. Karakteristik beban diperlukan agar sistem tegangan dan pengaruh termis dari pembebanan dapat dianalisis dengan baik. Analisis tersebut termasuk dalam menentukan keadaan awal yang akan di proyeksikan dalam perencanaan selanjutnya. Penentuan karakteristik beban listrik suatu gardu distribusi sangat penting artinya untuk mengevaluasi pembebanan gardu tersebut, ataupun dalam merencanakan suatu gardu yang baru. Karakteristik beban ini sangat memegang peranan penting dalam memilih kapasitas transformator secara tepat dan ekonomis. Di lain pihak sangat penting

artinya dalam menentukan rating peralatan pemutus rangkaian, analisa rugi-rugi dan menentukan kapasitas pembebanan dan cadangan tersedia dan suatu gardu. Karakteristik beban listrik suatu gardu sangat tergantung pada jenis beban yang dilayaninya. Hal ini akan jelas terlihat dan hasil pencatatan kurva beban suatu interval waktu.

Tenaga listrik yang didistribusikan ke pelanggan (konsumen) digunakan sebagai sumber daya untuk bermacam-macam peralatan yang membutuhkan tenaga listrik sebagai sumber energinya. Peralatan tersebut umumnya bisa berupa lampu (penerangan), beban daya (untuk motor listrik), pemanas, dan sumber daya peralatan elektronik (Fadillah, 2015: 2). Seperti kita ketahui fluktansi beban di Indonesia secara umum sangat tajam perbedaan antara beban puncak dan di luar beban puncak. Hal ini bila ditinjau dari segi efisiensi trafo menjadi kurang baik terutama pada beban yang sangat rendahnya, selanjutnya bila penyediaan kapasitas trafo didasarkan pada beban (beban puncak) bila dikaitkan pada segi ekonomi, menjadi kurang efisien. Sebab bisa jadi hanya untuk memikul beban yang rendah dilayani oleh trafo dengan kapasitas yang besar. Beban pada trafo distribusi tergantung dari sifat dan jenis beban, yaitu:

1. Sifat beban untuk pelanggan rumah tangga: beban puncak malam hari jauh lebih tinggi dari pada beban puncak siang hari.
2. Sifat beban untuk pelanggan industri: beban puncak siang hari jauh lebih tinggi dari pada beban puncak malam hari.

Transformator mengatur secara otomatis arus inputnya untuk mendapatkan arus output atau beban yang diperlukan. Arus penguat adalah jumlah arus yang sangat rendah untuk mempertahankan rangkaian magnetis. Pengaturan

transformator tergantung pada gaya elektromotif lawan yang dibangkitkan pada kumparan primernya oleh magnetismenya sendiri dan magnetisme berlawanan yang dihasilkan oleh arus yang ditarik oleh beban pada kumparan sekunder.

Pengaturan beban trafo menyesuaikan kebutuhan beban konsumen. Kebutuhan tersebut semakin lama semakin meningkat sesuai dengan pertumbuhan penduduk dan ekonomi. Peningkatan kebutuhan listrik membuat beban trafo semakin besar yang kemudian akan membuat trafo tersebut *overload*. Maka diperlukan penyesuaian beban pada trafo untuk mencegah atau meminimalisir kerugian yang ditimbulkan dari kondisi *overload*.

2.1.4.1. Beban Transformator *Overload*

Transformator daya akan bekerja secara kontinu apabila transformator tersebut berada pada beban nominalnya. Namun apabila beban yang dilayani lebih besar dari 100%, maka transformator tersebut akan mendapat pemanasan lebih dan hal ini akan mempersingkat umur isolasi transformator keadaan beban lebih berbeda dengan arus lebih. Pada beban lebih, besar arus hanya kira-kira 10% di atas nominal dan dapat diputuskan setelah berlangsung beberapa puluh menit. Sedangkan pada arus lebih, besar arus mencapai beberapa kali arus nominal dan harus diputuskan secepat mungkin (Sumanto, 1996: 31).

Overload terjadi karena beban yang terpasang pada trafo melebihi kapasitas maksimum yang dapat dipikul trafo dimana arus beban melebihi arus beban penuh (*full load*) dari trafo. Beban lebih yang terjadi seringkali secara perlahan dalam periode waktu tertentu menimbulkan kerusakan pada trafo. Namun jika pembebanan trafo sudah terlanjut mencapai 80%, maka pengaturan/penyesuaian

beban trafo dapat dilakukan dengan mengalihkan sebagian beban ke sumber lain. Ada beberapa pilihan menyesuaikan kondisi di lapangan, diantaranya:

1. Pengalihan ke trafo lain yang masih di dalam satu gardu induk

Pada umumnya, setiap gardu induk mempunyai lebih dari satu trafo tenaga. Jika keadannya demikian, maka sebagian beban trafo yang mengalami *overload*, dapat dialihkan ke trafo lain di gardu induk tersebut yang belum mengalami *overload*. Terdapat juga gardu induk yang mempunyai trafo cadangan, artinya trafo tersebut memang dikhususkan untuk menggantikan trafo yang *overload* atau mengalami gangguan dan tidak dioperasikan secara aktif. Beban trafo yang mengalami gangguan atau *overload* juga dapat otomatis dialihkan ke trafo cadangan ini jika memang trafo aktif lain di gardu tersebut juga tidak memungkinkan untuk ditambahkan bebannya. Pilihan pertama ini lebih efisien dalam hal waktu dan tenaga karena manuver/tindakan yang dapat dilakukan masih dalam satu gardu induk.

2. Pengalihan ke gardu induk lain

Tak jarang ditemui gardu induk yang tidak mempunyai trafo yang dikhususkan menjadi trafo cadangan, hanya terdapat trafo-trafo yang dioperasikan secara aktif. Jika salah satu trafo mengalami gangguan atau *overload*, dan trafo lain yang masih di satu gardu induk juga tidak memungkinkan untuk ditambah beban, serta gardu induk tersebut tidak mempunyai trafo cadangan, maka harus dilakukan pengalihan ke gardu induk lain yang masih terkoneksi dengan gardu induk yang trafonya bermasalah tersebut. Karena biasanya suatu gardu induk akan terhubung dengan beberapa gardu induk lain yang terdekat. Maka koordinasi dengan gardu induk lain

diperlukan agar pengalihan beban dapat terlaksana. Ini memerlukan waktu dan tenaga yang lebih.

3. Pelepasan beban

Jika pilihan 1 dan 2 tidak dapat dilakukan, maka untuk mencegah kerugian yang lebih besar yang dapat ditimbulkan akibat trafo *overload* seperti meledaknya trafo tersebut, maka pelepasan sebagian atau seluruh beban trafo harus dilakukan. Pilihan ketiga ini merupakan pilihan terakhir yang terpaksa dilakukan. Pendistribusian listrik ke konsumen pun terhenti karena tidak adanya lagi sumber yang dapat memasok listrik.

2.1.5. Daya Listrik

Menurut Cekdin & Barlian (2013: 6), daya listrik didefinisikan sebagai energi yang dikeluarkan atau kerja yang dilakukan setiap detik oleh arus dalam 1 A yang pada tegangan 1 V, dengan persamaan sebagai berikut:

$$P \text{ (Watt)} = I \times V \dots\dots\dots (2.31)$$

$$P = I^2 \times R \dots\dots\dots (2.32)$$

2.1.5.1. Daya Aktif

Daya aktif atau daya nyata adalah daya yang digunakan untuk menimbulkan cahaya, panas, gerak, dan lain lain yang dalam rangkaian listrik digambarkan berupa beban resistif. Simbol daya aktif adalah P dan satuannya adalah Watt. Menurut Daryanto (2010: 104), untuk tenaga listrik nyata (wujud) yang dikeluarkan oleh arus bolak-balik yang mempunyai fasa ϕ^0 dengan tegangan bolak-balik yaitu:

$$\text{Tenaga Watt (W)} = E \times I \times \cos \phi \dots\dots\dots (2.33)$$

$$L-L/3 \text{ fasa; } P = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I \times \cos \Phi \dots\dots\dots (2.34)$$

Cos Φ (dibaca cosinus phi) dinamakan factor kerja (*power factor*).

2.1.5.2. Daya Reaktif

Menurut Daryanto (2010: 105), daya reaktif adalah daya yang secara elektrik bisa diukur. Secara vector merupakan penjumlahan vector dari perkalian $E \times I$ di mana arus mengalir pada komponen resistor sehingga arah vector searah dengan tegangan (referensinya), dan vector yang arah 90° terhadap tegangan, tergantung pada beban seperti induktif atau kapasitif. Biasanya daya yang searah dengan tegangan disebut dengan daya aktif sedangkan yang lain disebut dengan daya reaktif. Simbol daya reaktif adalah Q dan satuannya adalah Volt Amper Reaktif (VAR). Untuk tenaga listrik reaktif yang dikeluarkan oleh arus bolak-balik, yang mempunyai fasa Φ^0 dengan tegangan bolak-balik, yaitu:

$$\text{Tenaga reaktif (VAR)} = E \times I \times \sin \Phi \dots\dots\dots (2.35)$$

Daya reaktif adalah daya imajiner yang menunjukkan adanya pergeseran grafik sinusoidal arus dan tegangan listrik AC akibat adanya beban reaktif. Daya reaktif ada dua yaitu daya reaktif induktif dan daya reaktif kapasitif. Daya reaktif induktif adalah daya yang timbul karena adanya medan magnet yang berubah dalam suatu penghantar yang dialiri arus listrik bolak balik. Daya reaktif induktif yang dominan, timbul pada kumparan seperti motor listrik, trafo, generator, reaktor dan lain lain yang dalam rangkaian listrik digambarkan berupa beban Induktif X_L .

Daya reaktif kapasitif adalah daya yang timbul karena adanya medan listrik yang ditimbulkan oleh suatu penghantar yang bertegangan listrik bolak balik. Daya

reaktif kapasitif, timbul pada suatu kapasitor, kabel tenaga dan lain-lain yang dalam rangkaian listrik digambarkan berupa beban Kapasitif X_C .

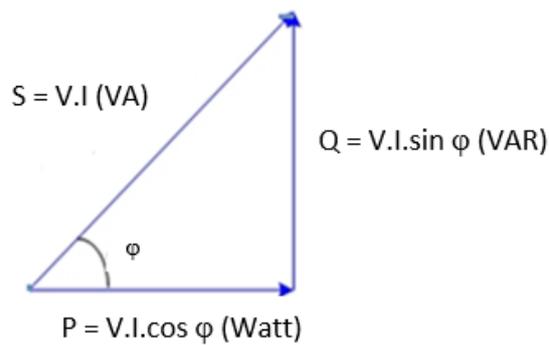
2.1.5.3. Daya Semu

Daya semu merupakan gabungan, penjumlahan daya aktif dan daya reaktif secara vektor. Daya ini melalui suatu penghantar transmisi atau distribusi dan merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus yang melalui penghantar. Daya semu atau *apparent power* S dinyatakan dalam satuan Volt-Ampere (VA) menyatakan kapasitas peralatan listrik, seperti yang tertera pada peralatan generator, transformator dan bahkan di KWh meter rumah kita (Edminister & Nahvi, 2003: 150).

$$L - L / 3 \text{ fasa ; } S_3 = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I \dots\dots\dots (2.36)$$

2.1.5.4. Segitiga Daya

Segitiga daya merupakan grafik hubungan yang terbentuk oleh tiga jenis daya yang diawali dari besaran listrik yang terjadi saat proses penyaluran, seperti tegangan dan arus listrik karena saat proses penyaluran tenaga listrik dari pembangkit menuju konsumen, akan terdapat arus yang mengalir pada penghantar yang menghasilkan medan magnet dan terbentuklah nilai induktansi (L) selanjutnya pada penghantar tersebut juga terdapat tegangan yang menyebabkan terjadinya medan magnet sehingga timbulah nilai kapasitansi (C). Dari hal tersebut, daya listrik digambarkan sebagai segitiga siku seperti pada gambar 2.37, yang secara vektoris adalah penjumlahan daya aktif dan reaktif. Adapun sebagai resultan nya ialah daya semu atau daya buta (Daryanto, 2010: 105).



Gambar 2.33 Segitiga Daya

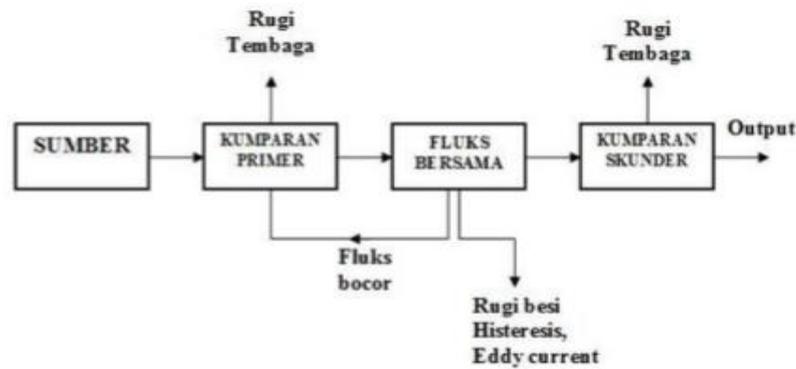
Sumber: Materi Diklat Pemeliharaan Trafo PLN Puslitbang

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

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots (2.37)$$

2.1.6. Rugi-Rugi Transformator

Menurut Rijono (1997: 23) rugi-rugi daya transformator berupa rugi inti atau rugi besi dan rugi tembaga yang terdapat pada kumparan primer maupun sekunder. Untuk mengurangi rugi besi haruslah diambil inti besi yang penampangnya cukup besar agar fluks magnet mudah mengalir di dalamnya. Untuk memperkecil rugi tembaga, harus diambil kawat tembaga yang penampangnya cukup besar untuk mengalirkan arus listrik yang diperlukan. Rugi inti terdiri dari rugi arus eddy dan rugi histerisis. Rugi arus eddy timbul akibat adanya arus pusar pada inti yang menghasilkan panas. Adapun arus pusar inti ditentukan oleh tegangan induksi pada inti yang menghasilkan perubahan- perubahan fluks magnet. Rugi histerisis merupakan rugi tenaga yang disebabkan oleh fluks magnet bolak-balik pada inti. Gambar di bawah ini adalah diagram rugi-rugi pada transformator:



Gambar 2.34 Diagram Rugi-Rugi Transformator

Sumber: Rijono (1997: 23)

2.1.6.1. Rugi Tembaga (P_{cu})

Aurs yang mengalir pada kumparan akan menimbulkan rugi-rugi tembaga sedang fluks pada inti akan menimbulkan rugi-rugi arus Eddy dan rugi-rugi histeris, kedua rugi-rugi ini disebut rugi-rugi inti. Semua rugi-rugi ini akan menimbulkan suhu yang tinggi pada isolasi trafo (Tobing, 2012: 193). Rugi yang disebabkan arus beban mengalir pada kawat tembaga dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_{Cu} = I^2 R \dots \dots \dots (2.38)$$

Karena arus beban berubah-ubah, rugi tembaga juga tidak tetap atau bergantung pada beban (Liklikwatil, 2014: 204). Pada saat arus mengalir melewati koil, resistansi kawat koil akan menghasilkan rugi-rugi yang dikenal dengan nama rugi-rugi tembaga atau seperti pada persamaan 2.38, yang berarti bahwa daya yang diserap oleh kawat sebanding dengan kuadrat arus dan didisipasikan sebagai panas. Dengan meningkatnya temperatur kawat, resistansinya juga akan bertambah besar dan oleh karenanya rugi-rugi pada persamaan 2.38 kawat juga semakin besar. Di samping itu, temperatur yang tinggi dapat mengakibatkan degradasi isolasi kawat yang pada gilirannya dapat memperpendek usia transformator (Hayt, 2005:27).

2.1.6.2. Rugi Besi (P_i)

Menurut (Liklikwatil, 2014: 204), rugi besi terdiri atas:

- a) Rugi Histerisis, yaitu rugi yang disebabkan fluks bolak-balik pada inti besi yang dinyatakan sebagai:

$$P_h = K_h \cdot f \cdot B_{maks} \dots\dots\dots (2.39)$$

Keterangan:

K_h = konstanta

B_{maks} = fluks maksimum (weber) (1 weber = 10^8 maxwel)

- b) Rugi arus eddy, yaitu rugi yang disebabkan arus pusar pada inti besi.

Dirumuskan sebagai:

$$P_e = K_e \cdot f^2 \cdot B_{maks}^2 \dots\dots\dots (2.40)$$

$$B_M = \frac{\phi_M}{A} \dots\dots\dots (2.41)$$

Dimana,

$$\phi_M = \frac{10^8 \cdot (E_{ff})_2}{4,44 \cdot f \cdot N_2} \dots\dots\dots (2.42)$$

Dan

$$(E_{ff})_2 = 4,44 \cdot f \cdot N_2 \cdot \phi_M \cdot 10^8 \text{ Volt} \dots\dots\dots (2.43)$$

Jadi, rugi besi (rugi inti) adalah:

$$P_i = P_h + P_e \dots\dots\dots (2.44)$$

2.1.6.3. Efisiensi Transformator

Efisiensi dinyatakan sebagai:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + \Sigma \text{rugi}} = 1 - \frac{\Sigma \text{rugi}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots (2.45)$$

Keterangan:

η = efisiensi (%)

P_{out} = daya keluar (watt)

P_{in} = daya masuk (watt)

Dimana:

$$\sum rugi = P_{Cu} + P_i \dots\dots\dots (2.46)$$

2.1.7. Software ETAP

ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*) adalah *software* yang berfungsi untuk menganalisis sistem tenaga listrik yang menampilkan secara GUI (*Graphical User Interface*). *Software* ini dapat bekerja secara *offline* dan *online*, dimana secara *offline software* ini digunakan untuk mensimulasikan tenaga listrik, sedangkan secara *online software* ini untuk pengelolaan data secara *real time*. Berbagai macam analisa tenaga listrik yang dapat dilakukan dengan menggunakan *software* ETAP seperti, analisa aliran daya, analisa hubungan singkat.

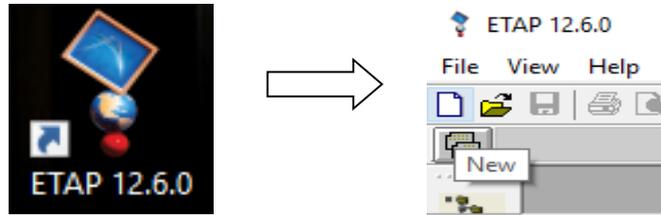
Dalam membuat rancangan dan analisis sistem tenaga listrik dalam simulasi ETAP 12.6 ada beberapa tahap yang harus dilakukan, berikut ini langkah-langkah yang harus dikerjakan:

1. Mengumpulkan data-data yang diperlukan
2. Membuat *single line* diagram
3. Analisis *load flow*
4. Mencetak hasil *load flow*

Langkah pertama adalah mengumpulkan data-data seperti gambar jaringan yang dibutuhkan, data penghantar seperti jenis dan panjang, spesifikasi transformator, beban transformator seperti rating dan level tegangan. Setelah data

lengkap langkah kedua, ketiga dan keempat dilakukan dalam ETAP 12.6. berikut di bawah ini cara memulai menjalankan simulasi ETAP 12.6.

1. Klik *icon* ETAP 12.6



Gambar 2.35 Lembar Kerja ETAP

Sumber: Dokumentasi Pribadi

2. Beri nama *file*, klik ok.

Create New Project File

Project File

Name: skripsi

Directory: C:\ETAP 1260\skripsi

Unit System: English Metric

Password: Required

ODBC Driver: MS Access

Buttons: Help, OK, Cancel

User Information

User Name: Luthif

Full Name:

Description:

Password:

Confirmed Password:

Buttons: OK, Cancel, Delete, Help

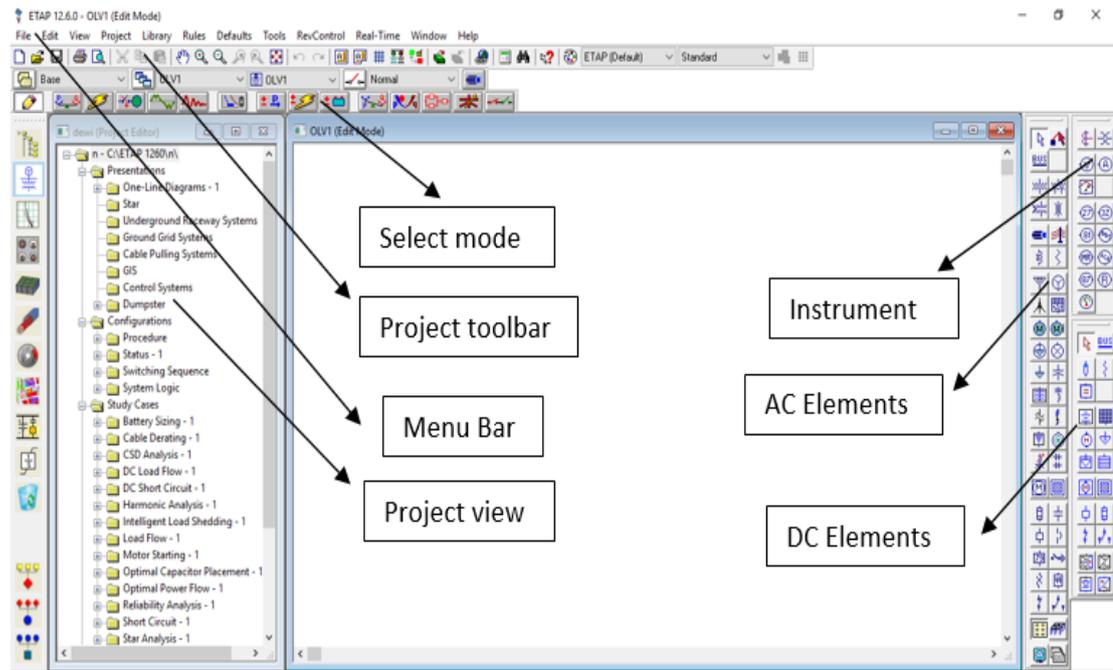
Access level permissions:

<input checked="" type="checkbox"/> Administrator	<input checked="" type="checkbox"/> Revision Editor	<input checked="" type="checkbox"/> Librarian
<input checked="" type="checkbox"/> Project Editor	<input checked="" type="checkbox"/> Checker	<input checked="" type="checkbox"/> Controller
<input checked="" type="checkbox"/> Base Editor	<input checked="" type="checkbox"/> Browser	<input checked="" type="checkbox"/> Operator

Gambar 2.36 Tampilan Input Nama Project File

Sumber: Dokumentasi Pribadi

3. Tampilan lembar kerja ETAP 12.6



Gambar 2.37 Tampilan Lembar Kerja ETAP

Sumber: Dokumentasi Pribadi

4. Membuat single line diagram sistem tenaga listrik
5. Menjalankan simulasi dan mencetak hasil simulasi

2.2. Penelitian yang Relevan

Penelitian yang relevan adalah hasil penelitian yang berkaitan dengan penelitian ini dan sebelumnya telah dilakukan, diantaranya:

1. *“Evaluasi Instalasi Jaringan Tegangan Rendah Untuk Menekan Rugi-Rugi Daya dan Tegangan Jatuh”* yang dilakukan oleh seorang mahasiswa Universitas Indonesia, Eko Haridyanto, pada tahun 2008. Objek penelitian adalah jaringan tegangan rendah pada fasilitas pabrik farmasi PT. Bristol Myers Squibb Indonesia dengan menggunakan *software* ETAP 4.0.0 C. Dari data hasil penelitian, didapat kesimpulan bahwa rugi-rugi daya meningkat secara proporsional dengan nilai beban, semakin besar nilai persentase beban

maka semakin besar pula tingkat rugi-rugi dayanya. Nilai rugi-rugi daya pada suatu jaringan yang dihasilkan bersifat proporsional kuadratik terhadap arus yang mengalir pada jaringan tersebut. Perbaikan kinerja jaringan terhadap rugi-rugi daya dilakukan dengan mengubah ukuran kabel untuk kemudian di simulasikan dengan ETAP. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rugi-rugi daya berkurang hingga sebesar 33 kW seiring dengan penurunan resistansi penghantar. Pengurangan nilai rugi-rugi daya akan menghemat pemakaian energi suatu jaringan, dimana rugi-rugi daya hanya akan menimbulkan panas yang tidak diperlukan pada suatu penghantar. Selain itu, penurunan rugi daya juga membawa keuntungan yaitu meningkatnya efisiensi jaringan yang berakibat penurunan kerugian finansial.

2. *“Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi dan Usia Transformator (Studi Kasus Transformator IV Gardu Induk Sukamerindu Bengkulu) Berdasarkan Standar IEC 60076-7”* yang dilakukan oleh Sofyan dan Afriyanti Herawati, akademisi Teknik Elektro Universitas Bengkulu pada tahun 2015. Hasil penelitian menunjukkan bahwa usia pakai dan efisiensi suatu transformator tenaga sangat dipengaruhi oleh beban yang dilayani oleh transformator tersebut. Pembebanan pada suatu trafo dapat menimbulkan panas pada kumparan trafo. Pengaplikasian beban yang melebihi *rating nameplate* dapat menimbulkan beberapa tingkat resiko.
3. *“Analisa Sistem Distribusi 20 kV Untuk Memperbaiki Kinerja Sistem Distribusi Menggunakan ETAP”* yang dilakukan oleh seorang akademisi Teknik Elektro Universitas Lancang Kuning, Abrar Tanjung. Dalam penelitian ini untuk memperbaiki dan meminimalkan rugi daya dan drop tegangan dengan

melakukan perubahan sistem distribusi dengan melakukan rekonfigurasi yang dapat menghemat energi listrik, peningkatan kualitas tegangan dan kualitas daya (*power quality*). Rekonfigurasi dilakukan dengan mengalihkan sebagian beban ke sumber lain. Hasilnya, diperoleh penghematan rugi-rugi daya aktif sebesar 1,21 MW dan daya reaktif sebesar 1,16 MVAR.

Kesimpulan pada ketiga penelitian tersebut menunjukkan bahwa adanya pengaruh yang berbanding lurus antara persentase pembebanan dengan rugi daya. Namun data pembebanan yang digunakan di penelitian-penelitian di atas bukan merupakan data pembebanan rata-rata selama waktu periode tertentu, skenario atau rekonfigurasi yang digunakan pun tidak berdasarkan teori-teori, itu lah yang membedakan penelitian tersebut dengan penelitian yang akan dilakukan oleh penulis sekarang.

2.3. Kerangka Berpikir

Pengaturan beban transformator gardu induk Pulomas dengan cara memindahkan sebagian penyulang pada trafo 1 dan 3 ke trafo 2 didasari pada kenyataan bahwa besarnya persentase beban trafo 1 dan 3 menyebabkan beberapa kerugian, diantaranya rugi daya (*losses*); panasnya kabel fasa sekunder trafo yang bebannya paling berat yang dapat berakibat terbakarnya kabel tersebut; dan kerugian finansial bagi PLN. Jika dibiarkan terlalu lama, beban trafo berlebih akan menyebabkan penyaluran daya kepada konsumen menjadi terganggu, padahal jaringan distribusi merupakan rantai terakhir dari sistem tenaga listrik dan yang paling dekat dengan konsumen, sehingga kontinuitas dan kualitasnya harus selalu optimal. Menurut SPLN D3.002-1:2007, batas maksimum dari nilai rugi total yang

diperbolehkan, yaitu sebesar $\pm 5\%$.

Penyesuaian beban trafo dilakukan dengan berdasarkan teori keandalan sistem dan sifat beban/penyulang. Tahap perencanaan dalam metode ini merupakan tahap yang paling menentukan. Untuk mendapatkan gambaran hasil penyesuaian beban, maka digunakan *software* ETAP 12.6 agar diketahui kondisi pembebanan dan rugi daya sistem. Dari teori dan penelitian-penelitian relevan, penulis mendapatkan bahwa semakin besar persentase pembebanan trafo maka rugi daya yang ada juga semakin tinggi.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Tempat, Waktu dan Subjek Penelitian

Tempat yang akan digunakan untuk penelitian yaitu di Gardu Induk Pulomas PT. PLN (Persero), Jl. Rawamangun Muka Selatan No.1 RT01/RW13, Pulogadung, Jakarta Timur. Penelitian dilaksanakan pada semester ganjil/semester 107 tahun ajaran 2017/2018. Pengambilan data untuk kebutuhan analisis penelitian selesai dalam rentang waktu 1 bulan yaitu pada bulan Oktober 2017.

3.2. Populasi dan Sampel

3.2.1. Populasi

Populasi adalah wilayah generalisasi yang terdiri dari obyek/subyek yang mempunyai kualitas dan karakteristik tertentu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan karakteristik tertentu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan kemudian ditarik kesimpulan (Sugiyono, 2016: 117).

Populasi dalam penelitian ini adalah adalah sistem distribusi di Gardu Induk Pulomas yang meliputi sisi primer 150 kV dan sisi sekunder 20 kV.

3.2.2. Sampel

Sampel adalah bagian dari jumlah dan karakteristik yang dimiliki oleh populasi tersebut. Bila populasi besar dan peneliti tidak mungkin mempelajari semua yang ada pada populasi, misalnya karena keterbatasan dana, tenaga dan waktu, maka peneliti dapat menggunakan sampel yang diambil dari populasi itu. Apa yang dipelajari dari sampel itu, kesimpulannya akan dapat diberlakukan untuk

populasi. Untuk itu sampel yang diambil dari populasi harus betul-betul *representative* (mewakili) (Sugiyono, 2016: 118).

Berdasarkan pertimbangan dari populasi, maka sampel yang digunakan adalah sistem distribusi sekunder 20 kV yaitu beban ketiga transformator daya yang masing-masingnya berkapasitas 60 MVA dan beban tiap penyulang masing-masing transformator tersebut. Beban yang dimaksud berupa arus transformator dan arus tiap penyulang yang menjadi tanggungan transformator tersebut.

3.3. Metode Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menilai sejauh mana variable yang diteliti telah sesuai dengan tolak ukur yang sudah ditentukan, oleh karena itu penelitian ini termasuk dalam penelitian deskriptif evaluasi. Penelitian evaluasi menuntut persyaratan yang harus dipenuhi yaitu adanya kriteria, tolak ukur atau standar yang digunakan sebagai pembanding bagi data yang diperoleh (Arikunto, 2010: 36).

Dilaksanakan dalam rangka pengumpulan data secara sistematis kemudian digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk perbaikan-perbaikan di masa yang akan datang. Sementara metode yang digunakan adalah observasi terhadap variable yang hendak diteliti, dalam hal ini adalah beban transformator daya dan beban penyulang. Pengambilan data dilakukan di *data centre* Gardu Induk Pulomas yang berkaitan dengan pembebanan transformator dan penyulang, dan melalui wawancara/diskusi dengan pihak praktisi di lapangan. Data yang digunakan adalah sekunder.

Setelah data terkumpul maka terlebih dahulu dilakukan pengolahan dengan menyajikan data dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan prosesnya.

Selanjutnya barulah dilakukan simulasi menggunakan software ETAP *Power Station* 12.6 untuk mengetahui kondisi pembebanan dan rugi daya sistem. Kemudian dibuat beberapa skenario dalam rangka penyesuaian beban transformator yang bertujuan untuk menurunkan pembebanan trafo sebagai langkah pencegahan trafo beban lebih (*overload*) dan penurunan rugi daya sehingga dampak yang kurang menguntungkan bagi baik pihak konsumen maupun PLN dapat diatasi atau setidaknya diminimalisir. Skenario-skenario tersebut kemudian dibuat simulasi di ETAP 12.6 dan dijalankan mode *load flow* sebagai salah satu fitur yang tersedia di ETAP tersebut. Di akhir penelitian, setelah hasil setiap skenario dianalisis maka dipilihlah skenario terbaik agar didapat hasil yang semaksimal mungkin.

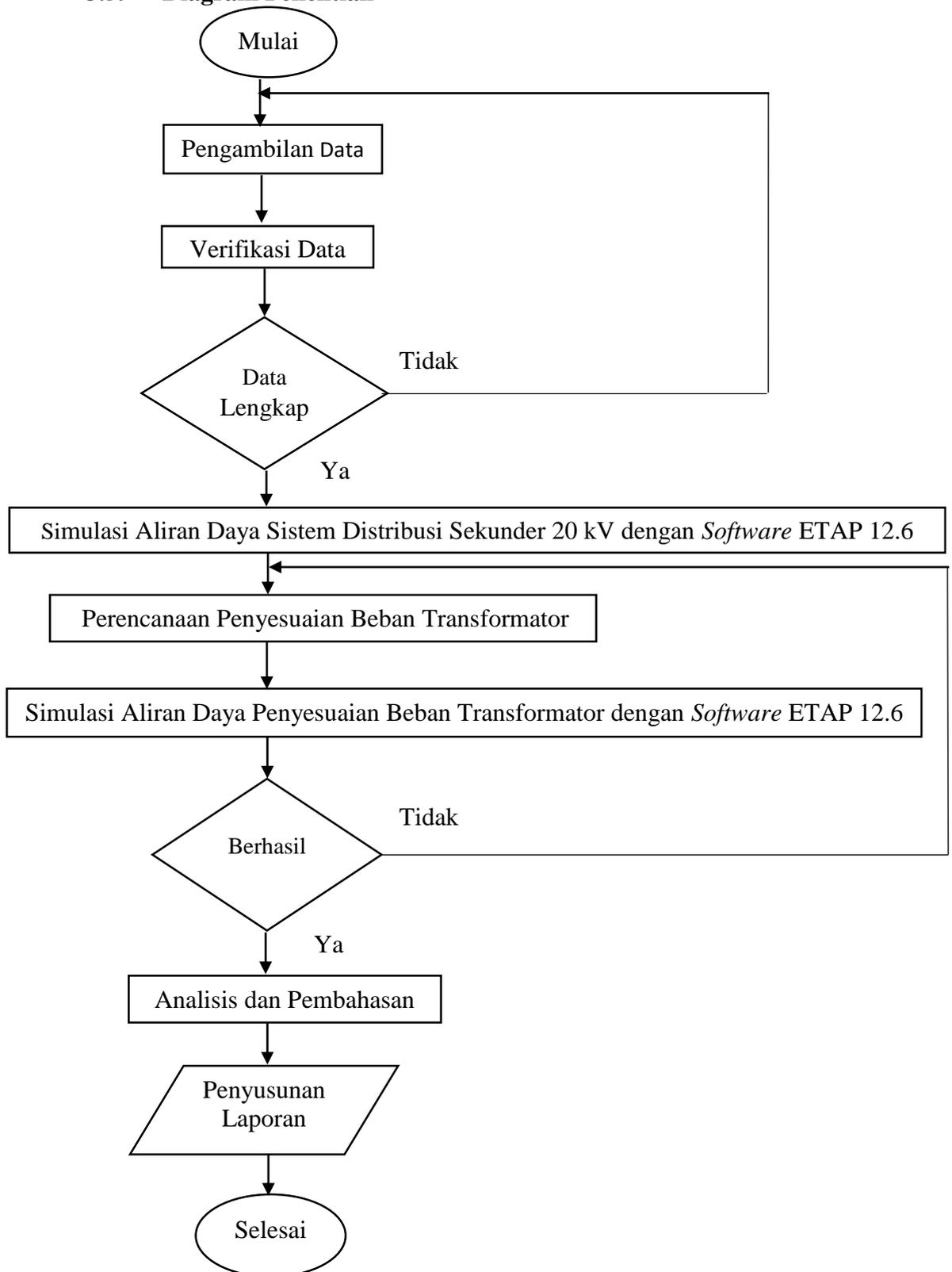
3.4. Instrumen Penelitian

Berdasarkan dari tujuan penelitian ini, maka instrumen penelitian dikembangkan dalam bentuk tabel hasil pengamatan kubikel TM yang dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Beban Harian

Tanggal	Beban (Ampere)	Tanggal	Beban (Ampere)
		Rata-Rata	

3.5. Diagram Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian

3.6. Jenis dan Teknik Pengumpulan Data

Untuk mendapatkan data yang lebih bervariasi dan representatif, maka jenis data yang digunakan adalah data sekunder. Pengertian dari data sekunder menurut Sugiyono (2013:137) adalah sumber data yang tidak langsung memberikan data kepada pengumpul data, misalnya lewat orang lain atau lewat dokumen. Data sekunder antara lain disajikan dalam bentuk data-data, tabel-tabel, diagram-diagram, atau mengenai topik penelitian.

Secara umum, ada empat macam teknik pengumpulan data, yaitu teknik observasi, wawancara, dokumentasi, dan gabungan/triangulasi (Sugiyono: 2013:63). Sesuai dengan standar penelitian kuantitatif, teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan dengan wawancara dan dokumentasi untuk mendapat data sekunder. Wawancara adalah teknik pengumpulan data dengan cara menanyakan sesuatu kepada seseorang yang menjadi informan dengan bercakap-cakap secara tatap muka (Afifuddin & Saebani, 2012:131). Jenis wawancara yang dimaksud adalah wawancara semiterstruktur yang menurut Esterberg dalam Sugiyono (2012: 233) merupakan pelaksanaan wawancara yang lebih bebas dan bertujuan untuk menemukan permasalahan secara lebih terbuka dimana responden dimintai pendapat dan ide-idenya. Dalam penelitian ini, wawancara dilakukan kepada pegawai PLN, lebih tepatnya *supervisor* dan *operator* 20 kV GI Pulomas yang telah berpengalaman dalam praktik di lapangan sehingga tidak hanya didapat teori saja.

Dokumentasi adalah teknik pengumpulan data dengan cara mencari bukti-bukti sumber dari nonmanusia terkait dengan objek yang diteliti (Afifuddin & Saebani, 2012:141). Sementara menurut Sugiyono (2013: 82) dokumentasi

merupakan catatan peristiwa yang sudah berlalu yang berupa tulisan, gambar, atau karya-karya momental dari seseorang. Studi dokumentasi yang dimaksud berupa pengumpulan data-data tertulis secara objektif dari data yang dimiliki oleh PLN yang berisi pembebanan transformator dan penyulang selama tahun 2017 khususnya bulan Oktober.

Sehingga dalam penelitian ini, pengumpulan data dilakukan dengan teknik gabungan atau triangulasi dengan mempertimbangkan kondisi di lapangan. Menurut Sugiyono (2013: 83), triangulasi diartikan sebagai teknik pengumpulan data yang bersifat menggabungkan dari berbagai teknik pengumpulan data dan sumber data yang telah ada. Jika peneliti melakukan pengumpulan data dengan triangulasi, sebenarnya peneliti mengumpulkan data sekaligus menguji kredibilitas data tersebut.

3.7. Teknik Analisis Data

Analisis kuantitatif dalam suatu penelitian dapat didekati dari dua sudut pendekatan, yaitu analisis kuantitatif secara deskriptif, dan analisis kuantitatif secara inferensial. Masing-masing pendekatan ini melibatkan pemakaian dua jenis statistik yang berbeda. Yang pertama menggunakan statistik deskriptif dan yang kedua menggunakan statistik inferensial. Kedua jenis statistik ini memiliki karakteristik yang berbeda, baik dalam hal teknik analisis maupun tujuan yang akan dihasilkannya dari analisisnya itu (Sudijono, 1987:4).

Dalam penelitian ini, teknik analisis yang digunakan adalah analisis kuantitatif deskriptif. Seperti namanya, deskriptif hanya akan mendeskripsikan keadaan suatu gejala yang telah direkam kemudian diolah sesuai dengan fungsinya.

Hasil pengolahan tersebut selanjutnya dipaparkan dalam bentuk angka-angka sehingga memberikan suatu kesan lebih mudah ditangkap maknanya oleh siapapun yang membutuhkan informasi tentang keberadaan gejala tersebut. Dengan demikian hasil olahan data dengan statistik ini hanya sampai pada tahap deskripsi, belum sampai pada tahap generalisasi. Dengan kata lain, statistik deskriptif adalah statistik yang mempunyai tugas mengorganisasi dan menganalisa data angka, agar dapat memberikan gambaran secara teratur, ringkas dan jelas, mengenai suatu gejala, peristiwa atau keadaan, sehingga dapat ditarik pengertian atau makna tertentu.

Instrumen penelitian yang berupa tabel-tabel memudahkan peneliti untuk membandingkan data-data yang ada, yaitu perubahan pembebanan trafo dan ketidakseimbangan beban yang terjadi. Selain itu, perubahan data sebelum dan sesudah dilakukan penyeimbangan beban pun dapat terlihat setelah data-data tersebut diolah dengan dicari rata-ratanya, sehingga didapat kesimpulan yang representatif. Sajian data kuantitatif sebagai hasil analisis kuantitatif dapat berupa angka-angka maupun gambar-gambar grafik. Untuk lebih jelasnya, tahap-tahap yang dilakukan peneliti setelah data-data terkumpul antara lain:

1. Dari data sekunder pembebanan pada transformator dan penyulang, serta data spesifikasi peralatan dan data yang mendukung diolah ke dalam *software* ETAP 12.6 lalu dicetak ke dalam bentuk laporan. Setelah data keluar, data dikelompokkan untuk mengetahui apakah data yang diperoleh sudah sesuai dengan standar yang ditetapkan.
2. Menganalisis kondisi pembebanan dan rugi daya hasil simulasi aliran daya ETAP dengan teori dan jurnal hasil penelitian sebelumnya.

3. Menyusun solusi berupa perencanaan penyesuaian pembebanan transformator dengan beberapa skenario untuk kemudian disimulasikan dengan ETAP 12.6.
4. Menganalisis kondisi pembebanan dan rugi daya tiap skenario dengan teori dan jurnal hasil penelitian sebelumnya.
5. Merekomendasi skenario yang paling baik dalam jangka waktu pendek maupun panjang berdasarkan hasil analisisnya.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Data yang sudah terkumpul kemudian disajikan dalam bentuk tabel untuk memudahkan pengolahan. Untuk data beban trafo dan beban penyulang yang merupakan data krusial dalam penelitian ini, didapatkan data berupa beban puncak trafo dan beban harian penyulang yang *real time* terperinci dalam kurun waktu perjam setiap harinya. Dengan bantuan *microsoft excel*, data-data yang berkaitan dengan beban tersebut kemudian diolah dan diambil rata-ratanya untuk penganalisaan lebih lanjut dan pembuatan simulasi aliran beban *software* ETAP 12.6.

Selanjutnya data-data yang terdiri dari diagram satu garis Gardu Induk Pulomas, data beban trafo, data beban harian penyulang, dan spesifikasi peralatan ini akan diolah menggunakan perangkat lunak (*Electrical Transient Analyzer Program*) ETAP 12.6.0 untuk mengetahui kondisi pembebanan trafo dan rugi daya sistem. Data yang diambil merupakan data yang sebaru mungkin, yaitu bulan Mei-Oktober 2017 agar semakin aktual dan valid.

4.1.1. Beban Puncak Trafo

Yang dimaksud dengan beban puncak adalah tingkat pemakaian listrik para konsumen mencapai puncak kapasitas pembebanan. Dalam sistem distribusi primer Gardu Induk, transformator penurun tegangan (*step down*) dari 150 kV menjadi 20 kV dihubungkan ke kubikel 20 kV sebagai beban. Kubikel 20 kV terdiri dari *Circuit Breaker* (CB), *Current Transformator* (CT), *Over Current Relay* (OCR), dan

Grounding Swtich. Beban transformator didapat dari ampere meter yang ada di kubikel tersebut untuk kemudian dicatat oleh petugas operator distribusi 20 kV Gardu Induk Pulomas untuk dimonitori besar pembebanannya.

4.1.1.1 Beban Puncak Transformator 1

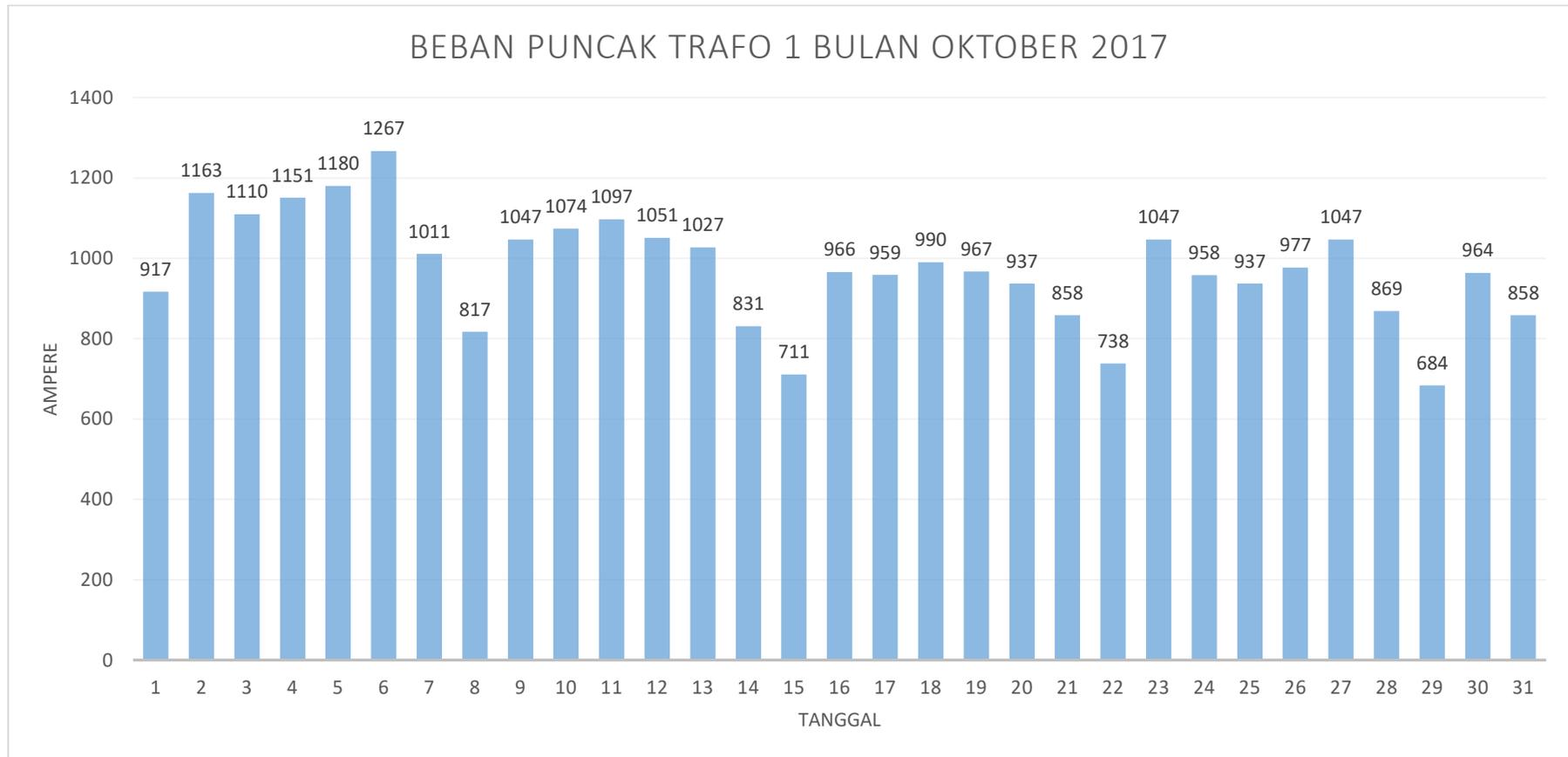
Transformator 1 Gardu Induk Pulomas yang berkapasitas 60 MVA sudah aktif beroperasi sejak tahun 1997. *Name Plate* trafo ini bisa dilihat pada tabel 4.1 yang disusun berdasarkan lampiran 1 dan beban puncak harian bulan Oktober 2017 pada tabel 4.2.

Tabel 4.1 Name Plate Transformator 1 GI Pulomas

Merk	Pauwels		Impedansi (%)	12,835
Serial Number	96P0053		Fasa	3
Tahun	1997		Simbol Koneksi	YNyn0+d
Standar	IEC 76 SPLN		<i>High Voltage</i>	150 kV
Kapasitas Daya	60	MVA	<i>Low Voltage</i>	20 kV
<i>Cooling</i>	ONAN/ONAF/70/100%		Arus Nominal (LV)	1732.1 A
Frekuensi	50 Hz		Jenis Minyak	IEC 296

Tabel 4.2 Beban Puncak Trafo 1 Gardu Induk Pulomas Bulan Oktober 2017

Tanggal	Beban (Ampere)	Tanggal	Beban (Ampere)
1	917	17	959
2	1163	18	990
3	1110	19	967
4	1151	20	937
5	1180	21	858
6	1267	22	738
7	1011	23	1047
8	817	24	958
9	1047	25	937
10	1074	26	977
11	1097	27	1047
12	1051	28	869
13	1027	29	684
14	831	30	964
15	711	31	858
16	966	Rata-Rata	974,52



Gambar 4.1 Grafik Beban Puncak Harian Transformator 1 GI Pulomas

Transformator akan bekerja secara kontinyu apabila berada pada beban nominalnya. Namun apabila beban yang dilayani mendekati 100% bahkan lebih besar dari 100%, maka trafo tersebut akan mendapat pemanasan lebih dan dapat memperpendek umur isolasinya. Pada prakteknya, jika beban sudah mencapai 80%, maka teknisi GI akan melakukan manuver berupa penurunan beban yang dibahas lebih lanjut pada subbab 2.1.4.

Dapat dilihat dari tabel 4.2 dan gambar 4.1, beban puncak harian transformator 1 bersifat fluktuatif. Beban terendah sebesar 684 A atau 39,49% terjadi pada tanggal 29, sementara beban terbesar mencapai 1267 A atau 73,15% di tanggal 6. Maka beban terbesar tersebut yang sudah mendekati 80% patut diberi perhatian agar tidak benar-benar terjadi *overload* dan menyebabkan dampak yang menimbulkan kerugian.

Beban trafo terdiri dari penyulang-penyulang yang listriknya bersumber dari trafo tersebut. Pada tabel 4.3 dapat dilihat nama-nama penyulang pada trafo 1 GI Pulomas.

Tabel 4.3 Penyulang pada Transformator 1 GI Pulomas

No.	Nama Penyulang	Jumlah Gardu Distribusi
1.	Merpati	6
2.	Kumbara	10
3.	Parkit	20
4.	Nandi	2
5.	Mahesa	12
6.	Puntadewa Ex. Sempati	12
7.	Sugriwa	16
8.	Jatayu	11
9.	Kutilang	12
10.	Taksaka	7
11.	PAM 2	6
12.	Tornado	6

Besar tiap penyulang berbeda-beda tergantung dari beban yang dibutuhkan konsumen dan dapat berubah tiap jamnya. Namun penyulang tetap mempunyai beban maksimal sebesar 250 A. Beban puncak harian penyulang Merpati bulan Oktober 2017 dapat dilihat pada tabel 4.4, sementara untuk penyulang lain terdapat pada lampiran 2.

Tabel 4.4 Beban Puncak Harian Penyulang Merpati Bulan Oktober 2017

Tanggal	Beban (Ampere)	Tanggal	Beban (Ampere)
1	85	17	35
2	85	18	35
3	85	19	30
4	90	20	35
5	125	21	35
6	115	22	35
7	0	23	35
8	0	24	35
9	0	25	40
10	0	26	35
11	40	27	35
12	35	28	35
13	35	29	30
14	35	30	30
15	40	31	15
16	35	Rata-Rata	41,94

Seperti yang dapat terlihat pada tabel 4.4, beban penyulang-penyulang pun bersifat fluktuatif namun untuk mendapatkan data yang representatif maka dari beban harian selama sebulan tersebut dirata-ratakan sehingga didapat data untuk kemudian menjadi data masukkan ETAP 12.6 seperti pada tabel 4.18. Beban rata-rata (*average load*) merupakan situasi pada saat operasi normal dan pembebanan rata-rata didasarkan pada operasi beban kontinyu dan beban terputus-putus.

4.1.1.2 Beban Puncak Transformator 3

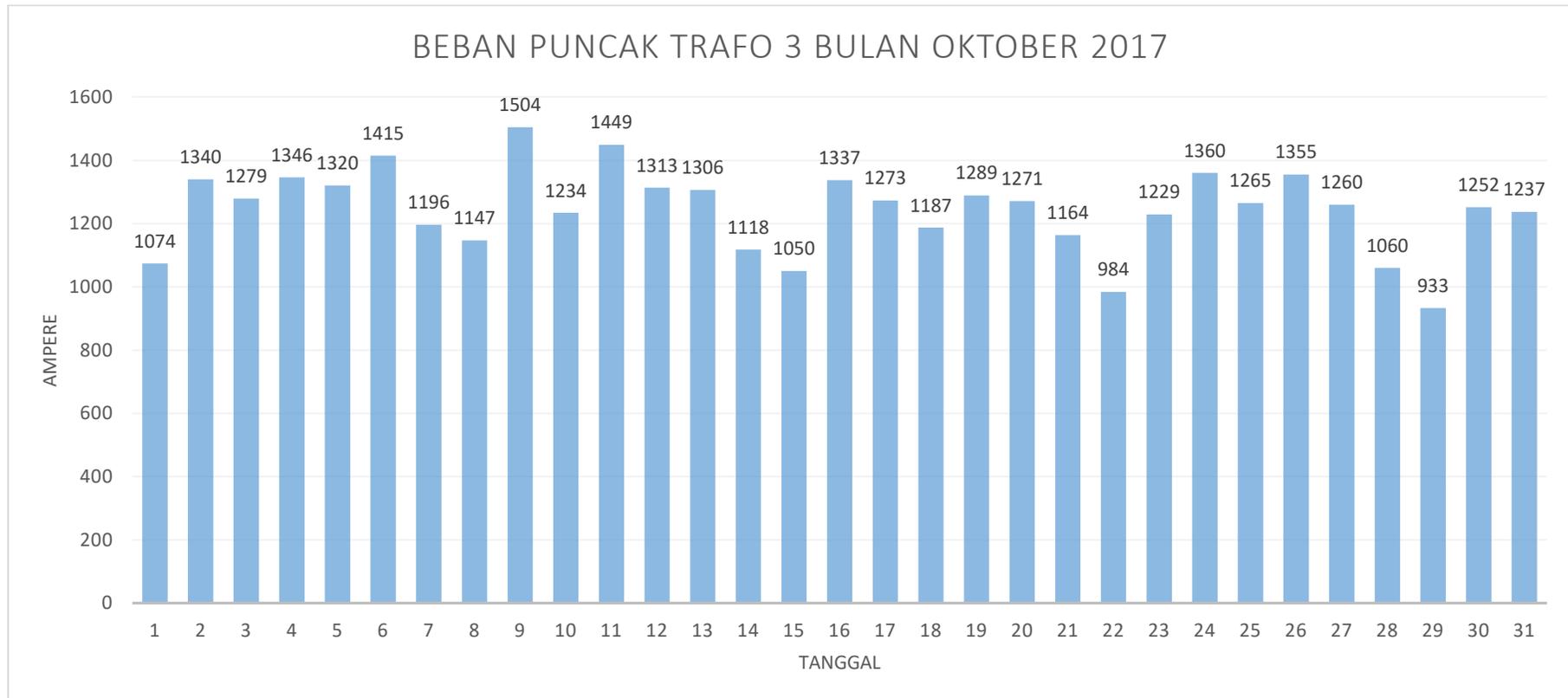
Transformator 3 Gardu Induk Pulomas yang berkapasitas 60 MVA sudah aktif beroperasi sejak tahun 1997. *Name Plate* trafo ini bisa dilihat pada tabel 4.5 dan beban puncak harian bulan Oktober 2017 pada tabel 4.6.

Tabel 4.5 Name Plate Transformator 3 GI Pulomas

Merk	Pauwels		Impedansi (%)	12,835
Serial Number	96P0055		Fasa	3
Tahun	1997		Simbol Koneksi	YNyn0+d
Standar	IEC 76 SPLN		<i>High Voltage</i>	150 kV
Kapasitas Daya	60	MVA	<i>Low Voltage</i>	20 kV
<i>Cooling</i>	ONAN/ONAF/70/100%		Arus Nominal (LV)	1732.1 A
Frekuensi	50 Hz		Jenis Minyak	IEC 296

Tabel 4.6 Beban Puncak Trafo 3 Gardu Induk Pulomas Bulan Oktober 2017

Tanggal	Beban (Ampere)	Tanggal	Beban (Ampere)
1	1074	17	1273
2	1340	18	1187
3	1279	19	1289
4	1346	20	1271
5	1320	21	1164
6	1415	22	984
7	1196	23	1229
8	1147	24	1360
9	1504	25	1265
10	1234	26	1355
11	1449	27	1260
12	1313	28	1060
13	1306	29	933
14	1118	30	1252
15	1050	31	1237
16	1337	Rata-Rata	1243,45



Gambar 4.2 Grafik Beban Puncak Harian Transformator 3 GI Pulomas

Dapat dilihat dari tabel 4.5 dan gambar 4.2, beban puncak harian transformator 3 pun bersifat fluktuatif. Beban terendah sebesar 933 A atau 53,86% terjadi pada tanggal 29, sementara beban terbesar mencapai 1504 A atau 86,83% di tanggal 9. Kondisi tersebut sudah menandakan bahwa trafo 3 GI Pulomas telah mengalami *overload* dan harus ditindaklanjuti agar tidak terjadi dampak yang tidak diinginkan. Salah satu cara penanganannya adalah dengan memindahkan sebagian beban/penyulang ke sumber atau trafo lain. Dalam kasus GI Pulomas yang masih terdapat satu trafo yang masih belum beroperasi secara aktif, atau masih difungsikan sebagai trafo cadangan, maka sebagian beban trafo 3 dapat dipindahkan ke trafo cadangan tersebut, yaitu trafo 2.

Beban trafo terdiri dari penyulang-penyulang yang listriknya bersumber dari trafo tersebut. Pada tabel 4.7 dapat dilihat nama-nama penyulang pada trafo 3 GI Pulomas.

Tabel 4.7 Penyulang pada Transformator 3 GI Pulomas

No.	Nama Penyulang	Jumlah Gardu Distribusi
1.	Bango	3
2.	Tekukur	17
3.	Shinta	13
4.	Lesmana	18
5.	Kaswari	15
6.	Anggada	14
7.	Badai	12
8.	Mamiri	6
9.	Baruna	4
10.	PAM 1	12
11.	Rahwana	10
12.	Ramayana	10
13.	Durna	10
14.	Angin	7
15.	Subali	2
16.	Sengkuni	3

Besar tiap penyulang berbeda-beda tergantung dari beban yang dibutuhkan konsumen dan dapat berubah tiap jamnya. Namun penyulang tetap mempunyai beban maksimal sebesar 250 A. Beban puncak harian penyulang Bango bulan Oktober 2017 dapat dilihat pada tabel 4.8, sementara untuk penyulang lain terdapat pada lampiran 3.

Tabel 4.8 Beban Puncak Harian Penyulang Bango Bulan Oktober 2017

Tanggal	Beban (Ampere)	Tanggal	Beban (Ampere)
1	135	17	165
2	175	18	90
3	190	19	185
4	190	20	85
5	190	21	175
6	185	22	70
7	170	23	65
8	150	24	140
9	205	25	145
10	190	26	140
11	205	27	140
12	190	28	135
13	200	29	105
14	175	30	140
15	135	31	145
16	180	RATA-RATA	154,52

Seperti yang dapat terlihat pada tabel 4.8, beban penyulang-penyulang pun bersifat fluktuatif namun untuk mendapatkan data yang representatif maka dari beban harian selama sebulan tersebut dirata-ratakan sehingga didapat data untuk kemudian menjadi data masukkan ETAP 12.6 seperti pada tabel 4.18.

4.1.2. Simulasi Aliran Daya ETAP 12.6

Data yang sudah terkumpul kemudian disajikan dalam bentuk tabel untuk memudahkan pengolahan. Selanjutnya data-data yang terdiri dari diagram satu

garis Gardu Induk Pulomas, data beban trafo, data beban harian penyulang, dan spesifikasi peralatan ini akan diolah menggunakan perangkat lunak (*Electrical Transient Analyzer Program*) ETAP 12.6.0 untuk mengetahui kondisi pembebanan trafo dan rugi daya sistem. Data yang diambil merupakan data yang sebaru mungkin, yaitu bulan Mei-Oktober 2017 agar semakin aktual dan valid.

4.1.2.1. Data Power Grid

Agar proses simulasi ETAP 12.6 dapat berjalan, maka dibutuhkan data spesifikasi peralatan yang berisi informasi rinci mengenai peralatan atau komponen yang dapat berupa gambar ataupun tulisan. Spesifikasi peralatan didapat dari *name plate* yang terdapat di badan peralatan tersebut. Berikut adalah penjabaran data spesifikasi peralatan Gardu Induk Pulomas.

Dalam simulasi aliran daya sistem ketenagalistrikan, dibutuhkan data *power grid* yang ada dalam kotak AC Element ETAP 12.6.

Tabel 4.9 Data Spesifikasi Power Grid

No.	Info		Rating				
	Penyulang	Mode	Imp. urutan positif		Teg.	Arus Hub. Sgkt.	%
			R1(pu)	R2(pu)	(kV)	(MVA)	(V)
1	PLN APP Cawang	Swing	0.090253	0.248722	150	415	100

Power Grid Editor - PLN APP Cawang

Info Rating Short Circuit Harmonic Reliability Energy Price Remarks Comment

150 kV Swing

Rated kV Balanced Unbalanced

	Gen. Cat.	%V	Vangle	MW	Mvar	%PF	Qmax	Qmin
1	Design	100	0					
2	Normal	100	0					
3	Shutdown	100	0					
4	Emergency	100	0					
5	Standby	100	0					
6	Startup	100	0					
7	Accident	100	0					
8	Summer Load	100	0					
9	Winter Load	100	0					
10	Gen Cat 10	100	0					

Operating

% V	Vangle	MW	Mvar
<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="71.431"/>	<input type="text" value="49.503"/>

PLN APP Cawang

OK Cancel

Gambar 4.3 Masukan Data *Rating Power Grid* pada ETAP 12.6
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Power Grid Editor - PLN APP Cawang

Info Rating Short Circuit Harmonic Reliability Energy Price Remarks Comment

150 kV Swing

Grounding



SC Rating

	MVA _{sc}	MVA _{sc}	X/R	kA _{sc}
3-Phase	<input type="text" value="500"/>		<input type="text" value="2,756"/>	<input type="text" value="1,925"/>
1-Phase	<input type="text" value="701,997"/>	<input type="text" value="233,999"/>	<input type="text" value="2,756"/>	<input type="text" value="2,702"/>
	sqrt(3)V _{ll} If	V _{ln} If		

SC Impedance (100 MVA_b)

	% R	% X
Pos.	<input type="text" value="6,82171"/>	<input type="text" value="18,8006"/>
Neg.	<input type="text" value="6,82171"/>	<input type="text" value="18,8006"/>
Zero	<input type="text" value="0,93295"/>	<input type="text" value="2,5712"/>

PLN APP Cawang

OK Cancel

Gambar 4.4 Masukan Data *Short Circuit Power Grid* pada ETAP 12.6
(Sumber: Dokumen Pribadi)

4.1.2.2. Data Transformator Gardu Induk

Dalam simulasi aliran daya sistem ketenagalistrikan, dibutuhkan data transformator. *2-winding transformer* dapat dipilih dalam kotak AC Element ETAP 12.6 untuk kemudian dimasukkan spesifikasinya sesuai tabel 4.10.

Tabel 4.10 Data Spesifikasi Transformator GI Pulomas

No	Info		Rating					
	Penyulang	GI	Daya Total	Imp.	Tegangan (kV)		Grounding	
			(MVA)		Primer	Sekunder	Primer	sekunder
1.	PLN APP Cawang	Pulo-mas	60	Typical Z&X/R	150	20	Star	Star Resistor 12 ohm

2-Winding Transformer Editor - T1

Reliability Remarks Comment

Info Rating Impedance Tap Grounding Sizing Protection Harmonic

60 MVA IEC Liquid-Fill Other 65 C 150 20 kV

Voltage Rating

kV	FLA	Bus kVnom	Z Base
Prim. 150	230.9	150	MVA
Sec. 20	1732	20	60

Other 65

Power Rating

MVA

Rated 60

Other 65

Derated 60

% Derating 0

MFR

Alert - Max

MVA

60

Derated MVA

User-Defined

Installation

Altitude 3300 ft

Ambient Temp. 30 °C

Type / Class

Type	Sub Type	Class	Temp. Rise
Liquid-Fill	Other	Other	65

T1

OK Cancel

Gambar 4.5 Masukan Data Rating Trafo GI Pulomas pada ETAP 12.6
(Sumber: Dokumen Pribadi)

2-Winding Transformer Editor - T1

Reliability		Remarks		Comment			
Info	Rating	Impedance	Tap	Grounding	Sizing	Protection	Harmonic
60 MVA	IEC	Liquid-Fill	Other	65 C	150	20 kV	
Phase Shift							
<input checked="" type="checkbox"/> Font	<input checked="" type="radio"/> Vector Group		Vector	Angle	HV leads LV		
	<input type="radio"/> Winding Connection		YNyn0	0			
<input type="checkbox"/> Symbols (Grounding Element)							
Primary							
	Grounding		Solid				
Secondary							
	Grounding		Solid				





T1






Gambar 4.6 Masukan Data *Grounding* Trafo GI Pulomas pada ETAP 12.6
(Sumber: Dokumen Pribadi)

4.1.2.3. Data *Ground Switch*

Dalam simulasi aliran daya sistem ketenagalistrikan, dibutuhkan data *ground switch* yang dapat dipilih dalam kotak AC Element ETAP 12.6. Peralatan yang digunakan sebagai pengaman ketika dilakukan perbaikan pada peralatan yang ada di gardu induk. Saat pengoperasian normal, *ground switch* dalam keadaan *open*, sedangkan saat akan dilakukan perbaikan, maka *ground switch* diclose agar tidak ada arus sisa yang mengalir pada peralatan.

Ground Switch(GSW) Editor - GroundSwitch1

Info | Checker | Interlock | Remarks | Comment

Info

ID: GroundSwitch1

From: T1

To: Bus2 20 kV

Revision Data

Base

Equipment

Tag #:

Name:

Description:

Condition

Service: In Out

State: As-built

Real-Time Status

Scanned: Not Scanned

Control: (No Tag)

Pin: Ground, Unground

Control:

Configuration

Normal

Status: Grounded Ungrounded

GroundSwitch1

OK Cancel

Gambar 4.7 Masukan Data *Ground Switch* GI Pulomas pada ETAP 12.6
(Sumber: Dokumen Pribadi)

4.1.2.4. Data *Current Transformer* (CT) 150 kV

Dalam simulasi aliran daya sistem ketenagalistrikan, dibutuhkan data *Current Transformer* (CT) 150 kV yang dapat dipilih dalam kotak AC Element ETAP 12.6 untuk kemudian dimasukkan spesifikasinya sesuai tabel 4.11.

Tabel 4.11 Data Spesifikasi *Current Transformer* 150 kV

No	Info		Rating			
	ID	GI	Rasio (A)		Class	
			Primer	Sekunder	Designation	Burden (VA)
1	CT1	Pulomas	2000	5	5P20	15

Current Transformer(CT) Editor - CT1

Info Rating Checker Remarks Comment

Ratio

Primary	Sec.	Ratio
2000 A	5 A	2000 : 5

Class

Designation: 5P20

Burden: 15 VA

CT1

OK Cancel

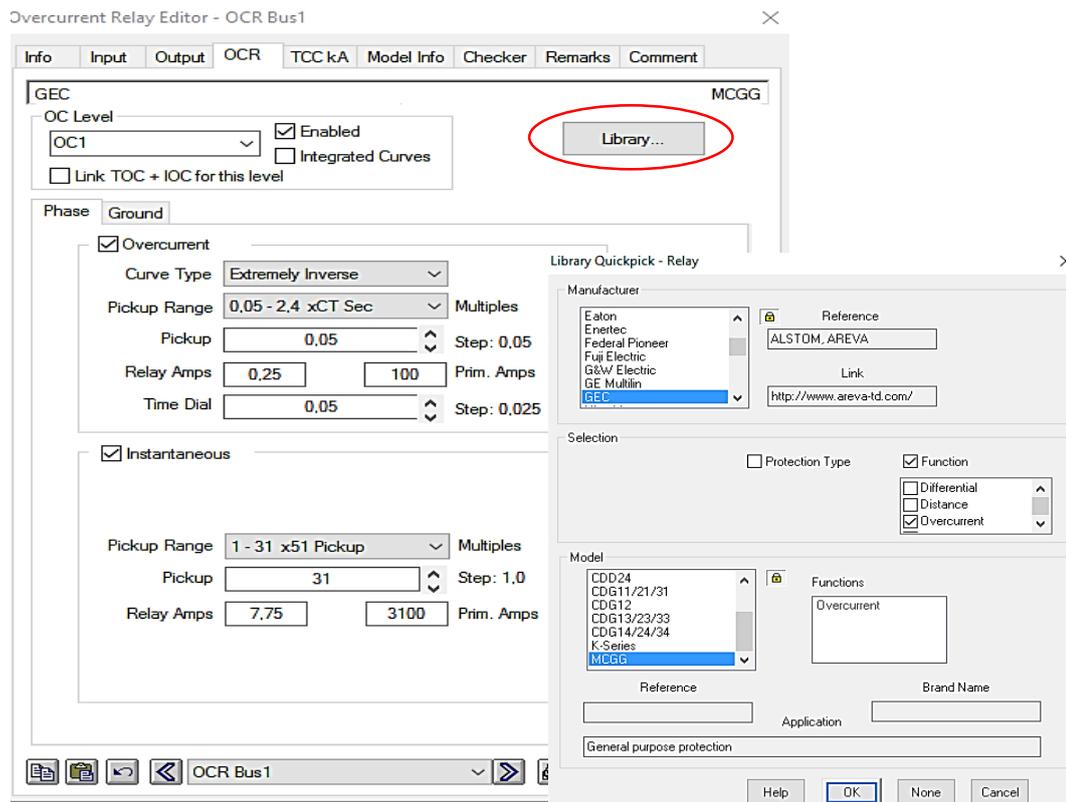
Gambar 4.8 Masukan Data CT 150 kV pada ETAP 12.6
(Sumber: Dokumen Pribadi)

4.1.2.5. Data *Over Current Relay (OCR) Bus Section 1*

Dalam simulasi aliran daya sistem ketenagalistrikan, dibutuhkan data *Over Current Relay (OCR)* yang dapat dipilih dalam kotak AC Element ETAP 12.6. Untuk komponen relay, terdapat fitur *library* yang memudahkan dalam memasukkan data spesifikasi relay. Namun pertama, harus dipilih terlebih dulu jenis relay yang digunakan pada sistem baru kemudian mengklik fitur *library* di kolom jenis relay tersebut. Pada sistem kelistrikan Gardu Induk Pulomas, jenis relay yang digunakan adalah relay arus lebih atau *Over Current Relay (OCR)* .

Tabel 4.12 Data Spesifikasi *Over Current Relay (OCR)*

No	Info		
	ID	Merk	Type
1	OCR Bus 1	GEC.ALSTHOM	MCGG52

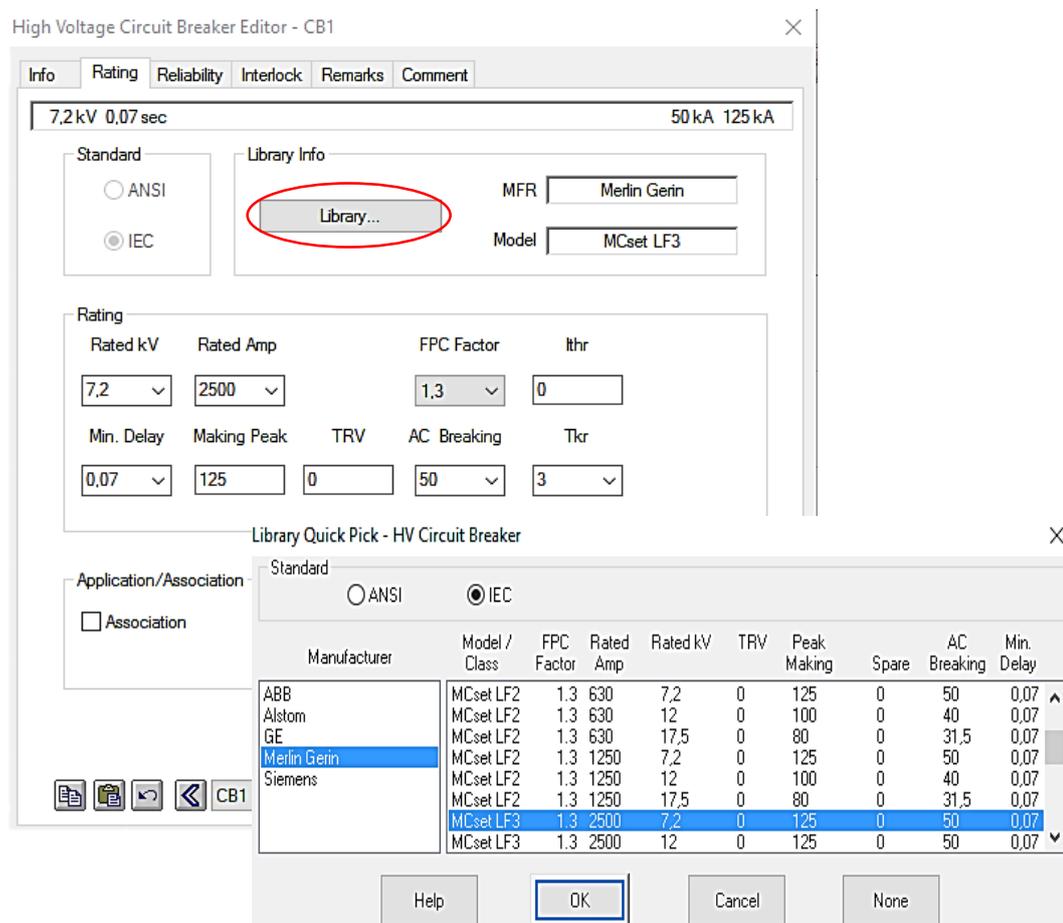
Gambar 4.9 Masukan Data OCR Bus 1 pada ETAP 12.6
(Sumber: Dokumen Pribadi)

4.1.2.6. Data *Circuit Breaker (CB)* Bus 1

Dalam simulasi aliran daya sistem ketenagalistrikan, dibutuhkan data *Circuit Breaker (CB)* Bus 1 yang dapat dipilih dalam kotak AC Element ETAP 12.6. Untuk komponen CB, terdapat fitur *library* yang memudahkan dalam memasukkan data spesifikasi CB seperti pada tabel 4.13.

Tabel 4.13 Data Spesifikasi *Circuit Breaker* Bus 1

No	Info			
	ID	Merk-Type	From-To	Tegangan (kV)
1	CB1	Merlin Gerin-Mcset LF 3	T1-Bus 2	20

Gambar 4.10 Masukan Data CB Bus 1 pada ETAP 12.6
(Sumber: Dokumen Pribadi)

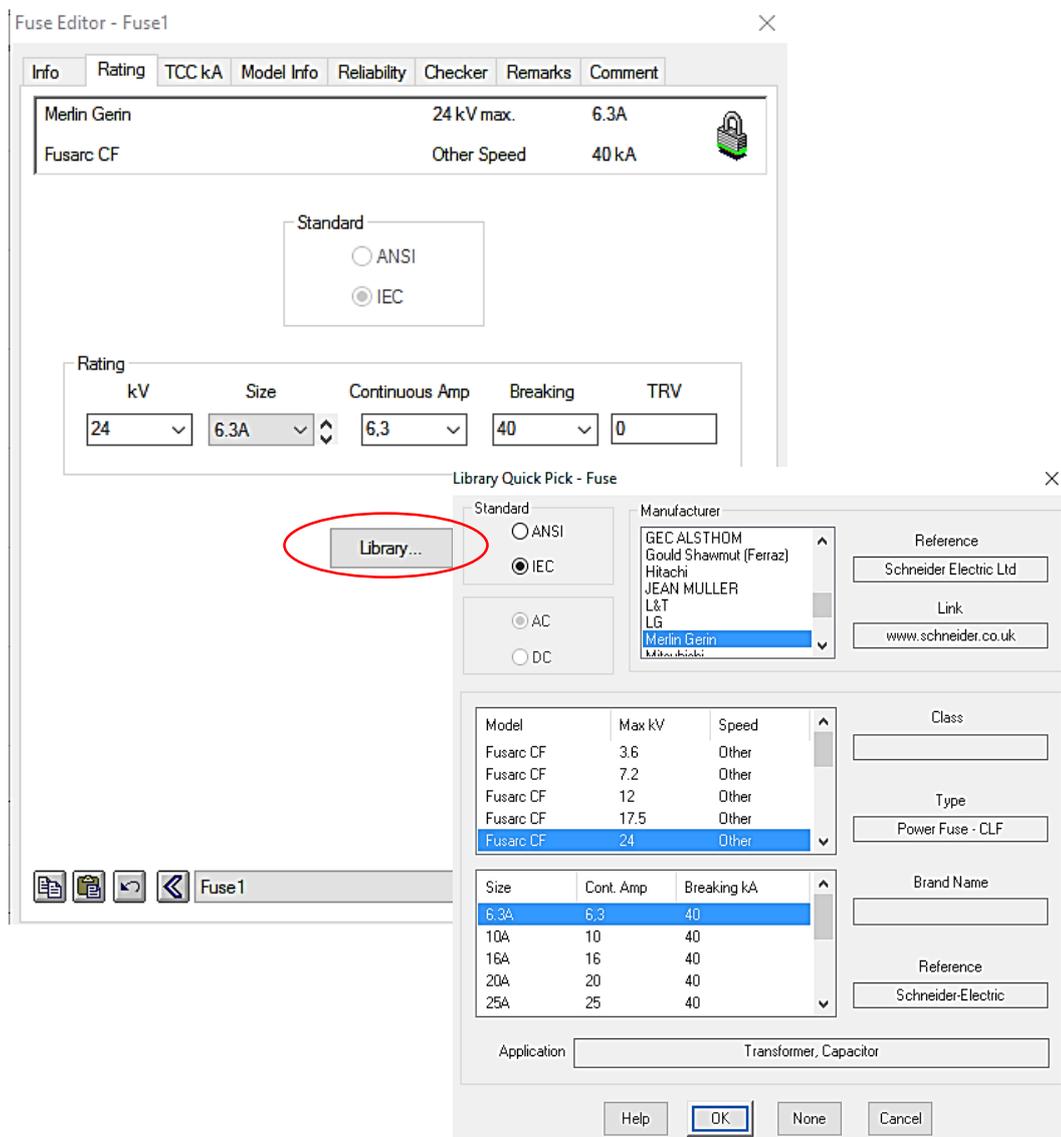
4.1.2.7.Data Fuse

Dalam simulasi aliran daya sistem tenaga listrik, dibutuhkan data *fuse* yang dapat dipilih dalam kotak AC Element ETAP 12.6. Untuk komponen *fuse*,

terdapat fitur *library* yang memudahkan dalam memasukkan data spesifikasi *fuse* seperti pada tabel 4.14.

Tabel 4.14 Data Spesifikasi Fuse

No	Info		Rating	
	ID	Merk-Type	kV	Size (A)
1	Fuse	Merlin Gerin-Fusarc CF	24	6,3



Gambar 4.11 Masukan Data Fuse pada ETAP 12.6
(Sumber: Dokumen Pribadi)

4.1.2.8. Data *Current Transformer* (CT) 20 kV

Dalam simulasi aliran daya sistem ketenagalistrikan, dibutuhkan data *Current Transformer* (CT) 20 kV yang dapat dipilih dalam kotak AC Element ETAP 12.6 untuk kemudian dimasukkan spesifikasinya sesuai tabel 4.15.

Tabel 4.15 Data Spesifikasi *Current Transformer* 20 kV

No	Info		Rating			
	ID	GI	Rasio (A)		Class	
			Primer	Sekunder	Designation	Burden (VA)
1	CT	Pulo- mas	400	5	5P20	15

Current Transformer(CT) Editor - CT7

Info Rating Checker Remarks Comment

Ratio

Primary: 400 A Sec.: 5 A Ratio: 400 : 5

Class

Designation: 5P20

Burden: 15 VA

CT7

OK Cancel

Gambar 4.12 Masukan Data CT 20 kV pada ETAP 12.6
(Sumber: Dokumen Pribadi)

4.1.2.9.Data Transformator Pemakaian Sendiri

Dalam simulasi aliran daya sistem ketenagalistrikan, dibutuhkan data trafo pemakaian sendiri yang dapat dipilih dalam kotak AC Element ETAP 12.6 untuk kemudian dimasukkan spesifikasinya sesuai tabel 4.16.

Tabel 4.16 Data Spesifikasi Transformator Pemakaian Sendiri

No	Info		Rating					
	Penyulang	GI	Daya Total	Imp.	Tegangan (kV)		Grounding	
			(KVA)		Primer	Sekunder	Primer	sekunder
1.	T1	Pulo-mas	300	Typical Z&X/R	20	0,4	Delta	Star

2-Winding Transformer Editor - T. PS1

Reliability Remarks Comment

Info Rating Impedance Tap Grounding Sizing Protection Harmonic

300 kVA IEC Liquid-Fill Other 65 C 20 0,4 kV

Voltage Rating

Prim. kV FLA Bus kVnom

20 8,66 20

Sec. 0,4 433 0,4

Z Base

kVA

300

Other 65

Power Rating

kVA

Rated 300

Other 65

Derated 300

% Derating 0

MFR

Alert - Max

kVA

300

Derated kVA

User-Defined

Installation

Altitude

3300 ft

Ambient Temp.

30 °C

Type / Class

Type Sub Type Class Temp. Rise

Liquid-Fill Other Other 65

T. PS1 OK Cancel

Gambar 4.13 Masukan Data Rating Trafo Pemakaian Sendiri pada ETAP 12.6

(Sumber: Dokumen Pribadi)

2-Winding Transformer Editor - T. PS1

Reliability			Remarks			Comment		
Info	Rating	Impedance	Tap	Grounding	Sizing	Protection	Harmonic	
300 kVA IEC Liquid-Fill Other 65 C						20	0,4 kV	
Impedance Positive %Z: 4, X/R: 1,5, R/X: 0,667, %X: 3,328, %R: 2,219 Zero %Z: 4, X/R: 1,5, R/X: 0,667, %X: 3,328, %R: 2,219 Typical Z & X/R, Typical X/R						Z Base kVA: 300 OOther 65		
Z Variation @ -5 % Tap: %Z: 4, % Z Variation: 0 @ 5 % Tap: %Z: 4, % Z Variation: 0						Z Tolerance + 0 % - 0 %		
No Load Test Data (Used for Unbalanced Load Flow only) Positive % FLA: 0, kW: 0, % G: 0, % B: 0 Zero % FLA: 0, kW: 0, % G: 0, % B: 0 <input type="checkbox"/> Buried Delta Winding, Zero Seq. Impedance, Typical Value								
T. PS1 [Navigation icons] [OK] [Cancel]								

Gambar 4.14 Masukan Data Impedansi Trafo Pemakaian Sendiri pada ETAP 12.6
(Sumber: Dokumen Pribadi)

4.1.2.10. Data *Potensial Transformer* (PT)

Dalam simulasi aliran daya sistem tenaga listrik, dibutuhkan data PT yang dapat dipilih dalam kotak AC Element ETAP 12.6. Lalu memasukkan data spesifikasi PT seperti pada tabel 4.17.

Tabel 4.17 Data Spesifikasi *Potensial Transformer*

No	Info	Rating	
	ID	Primary (kV)	Secondary (V)
1	PT	20	400

Potential Transformer Editor - PT1

Info Remarks Comment

Info

ID

From 20 kV

Revision Data

Rating

Primary kV Connection

Secondary V Ratio

Equipment

Tag #

Name

Description

Condition

Service In Out

State

Online Status

Scanned

Gambar 4.15 Masukan Data PT pada ETAP 12.6
(Sumber: Dokumen Pribadi)

4.1.2.11. Data Spesifikasi Beban

Dalam simulasi aliran daya sistem ketenagalistrikan, dibutuhkan data beban jenis *lumped load* yang dapat dipilih dalam kotak AC Element ETAP 12.6 untuk kemudian dimasukkan spesifikasinya sesuai tabel 4.18. Beban diasumsikan mempunyai motor dan beban statis sehingga *lumped load* dipilih karena merupakan gabungan antara beban motor dan beban statis. Beban yang dimaksud merupakan penyulang-penyulang yang disuplai oleh Gardu Induk Pulomas seperti yang dihimpunkan pada tabel 4.18 tersebut.

Tabel 4.18 Data Spesifikasi *Lumped Load*

NO.	NAMA PENYULANG	TRAFO	MAX. BEBAN (A)	RATA-RATA BEBAN HARIAN (A)
1	KUMBARA	1	250	140,81
2	PARKIT	1	250	128,23
3	KUTILANG	1	250	119,84
4	PAM 2	1	250	114,84
5	JATAYU	1	250	110,97
6	TAKSAKA	1	250	95,43
7	TORNADO	1	250	95,32
8	SUGRIWA	1	250	81,29
9	PUNTADEWA EX. SIMPATI	1	250	61,13
10	NANDI	1	250	68,55
11	MERPATI	1	250	41,94
12	MAHESA	1	250	32,36
13	BANGO	3	250	154,52
14	TEKUKUR	3	250	152,06
15	SHINTA	3	250	133,06
16	LESMANA	3	250	125,81
17	KASWARI	3	250	110,97
18	ANGGADA	3	250	104,35
19	BADAI	3	250	90,97
20	MAMIRI	3	250	89,84
21	BARUNA	3	250	78,55
22	PAM 1	3	250	61,29
23	RAHWANA	3	250	58,39
24	RAMAYANA	3	250	56,61
25	ANGIN	3	250	57,58
26	DURNA	3	250	53,23
27	SUBALI	3	250	35
28	SENGKUNI	3	250	0

Lumped Load Editor - Kumbara

Info | Nameplate | Short-Circuit | Dyn Model | Reliability | Remarks | Comment

4.9 MVA 20 kV (80% Motor 20% Static)

Info

ID: Kumbara

Bus: Bus2 20 kV

Equipment

Tag #:

Name:

Description:

Data Type: Estimated

Priority: Other

Load Type: Other

Demand Factor

Continuous: 100 Intermittent: 50 Spare: 0 %

Revision Data

Base:

Condition

Service: In Out

State: As-built

Configuration

Normal

Status: Continuous

Connection

3 Phase 1 Phase

Reference kV

Calculated User-Defined

kV: 0

OK Cancel

Gambar 4.16 Masukan Data *Lumped Load* pada ETAP 12.6
(Sumber: Dokumen Pribadi)

4.1.3. Single Line Diagram

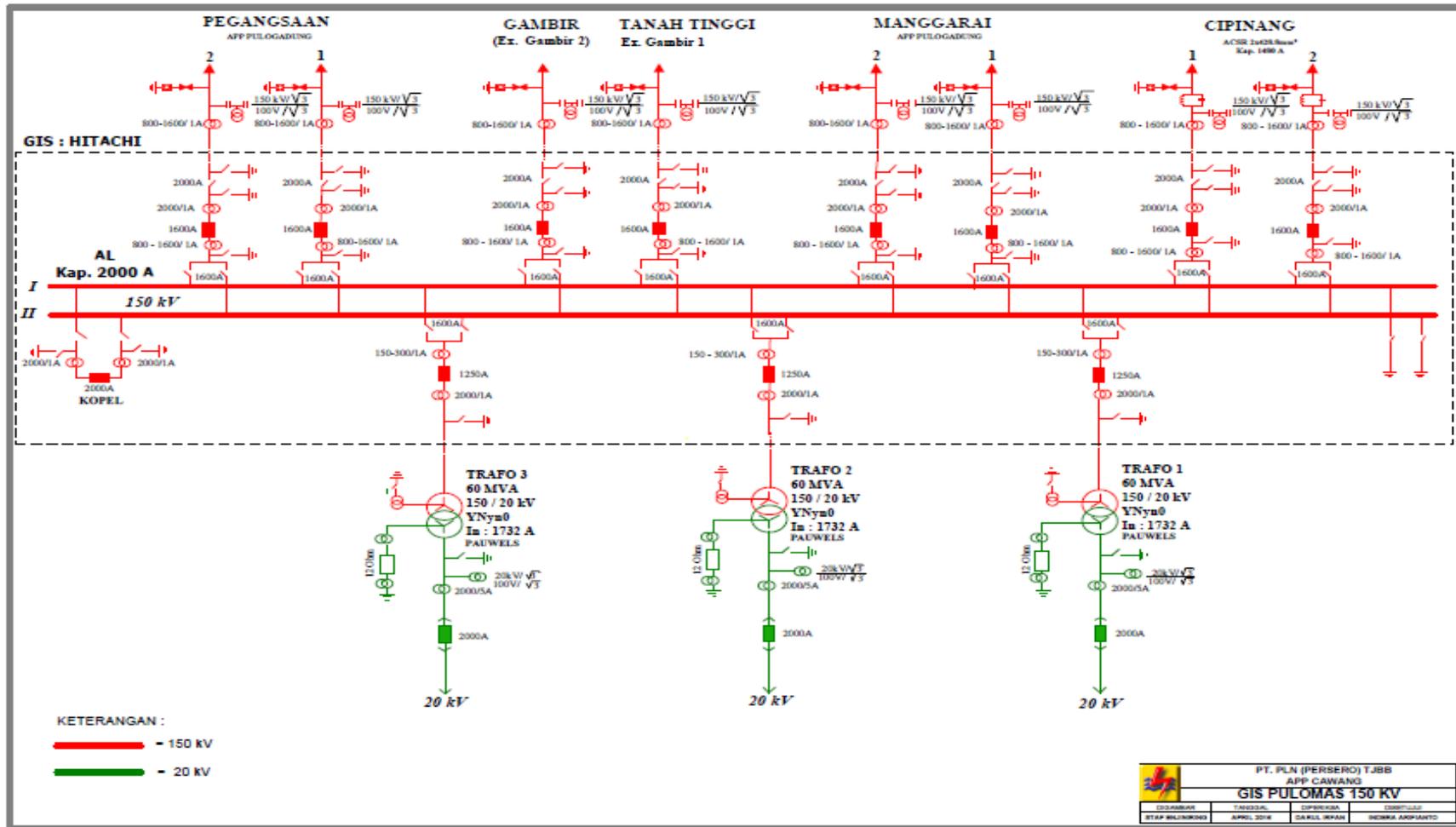
Gardu Induk Pulomas merupakan salah satu gardu induk 150kV/20kV yang mendapatkan sumber tegangan dari PLN TJBB APP Cawang. Terdapat 12 bay dan 8 penghantar serta 3 unit transformator *step down* yang masing-masing berkapasitas 60 MVA. Transformator 1 dan 3 aktif mensuplai 28 penyulang untuk memenuhi kebutuhan listrik sekitar Rawamangun, Duren Sawit, sebagian wilayah Cipinang, dan sebagian wilayah Pondok Kopi. Sementara transformator 2 difungsikan sebagai sumber cadangan yang akan menggantikan fungsi transformator 1 atau 3 jika sedang terjadi gangguan. Selain itu juga terdapat 2 trafo *step down* yang masing-masing

berkapasitas 300 kVA untuk pemakaian sendiri atau pemasok listrik Gardu Induk Pulomas.

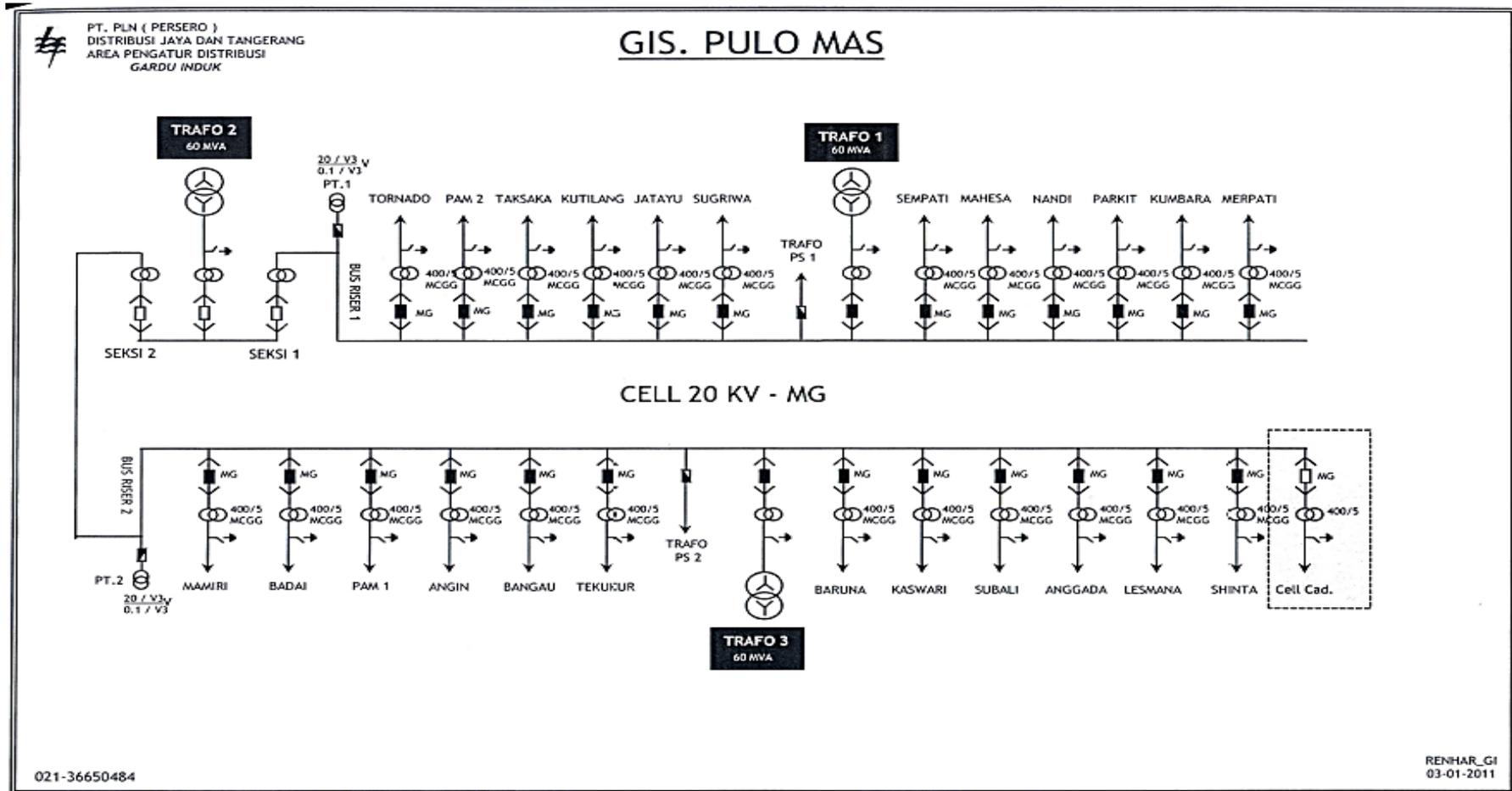
Gardu Induk Pulomas terhubung dengan Gardu Induk Pegangsaan dan Gardu Induk Cipinang serta didistribusikan ke Gardu Induk Tanah Tinggi, Gambir Lama, dan Manggarai 1 & 2. Gambar 4.17 merupakan *single line* diagram Gardu Induk Pulomas di sisi 150 kV, sementara yang di sisi 20 kV dapat dilihat di gambar 4.18.

4.1.4 *Single Line Diagram* ETAP 12.6

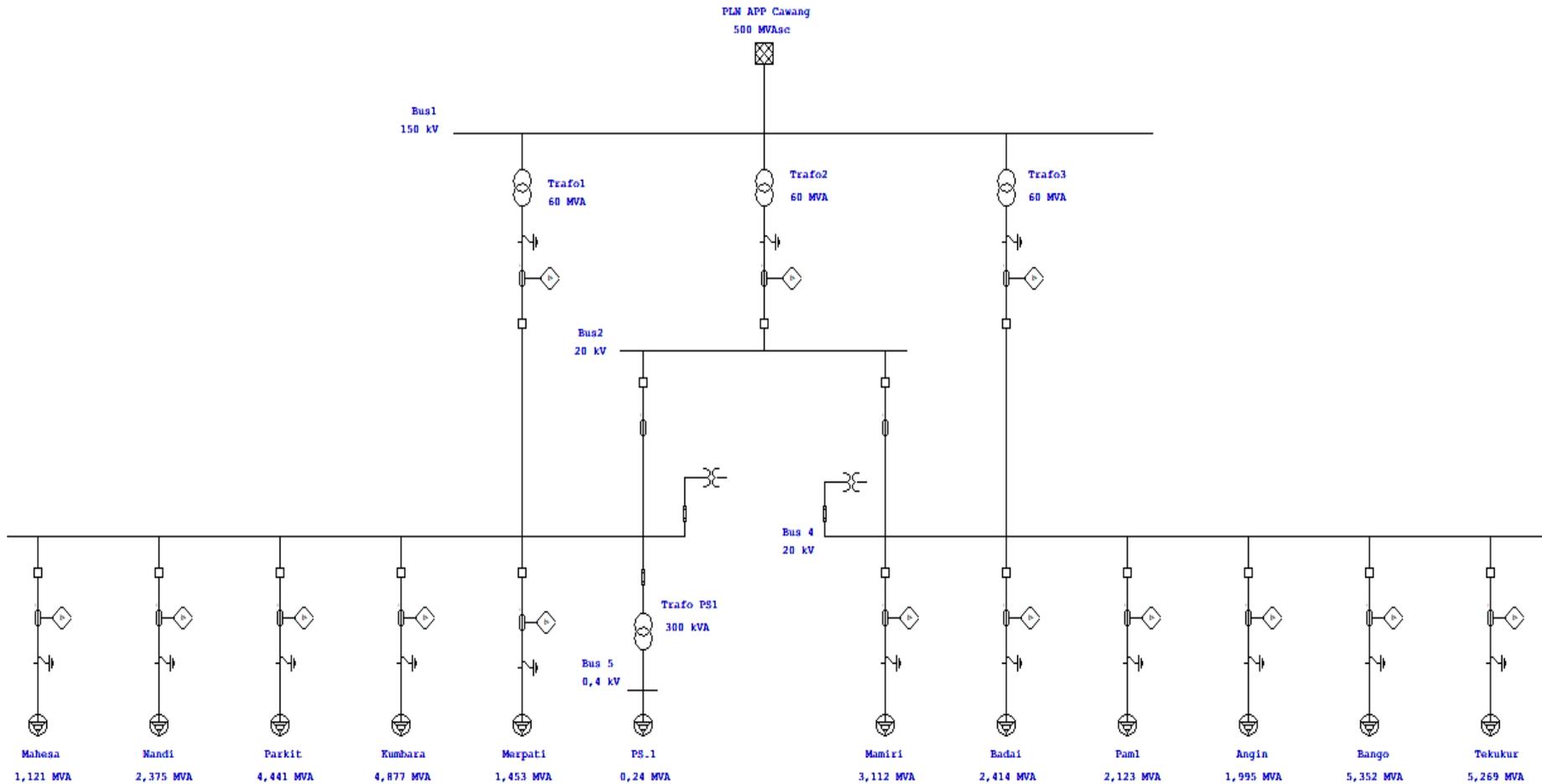
Untuk dapat mensimulasikan dan menganalisa sistem, maka diperlukan *single line* diagram sebagai acuan dalam membuat program di *software* ETAP 12.6. Sumber data yang diperlukan adalah TJBB AP Cawang dan Gardu Induk Pulomas. Dalam *software* ETAP 12.6, gambar *single line diagram* dimaksudkan untuk menjadi gambaran sederhana simulasi aliran daya dalam rangka mengetahui kondisi pembebanan trafo dan rugi daya sistem. Gambar 4.19 merupakan gambaran secara sederhana *Single Line Diagram* dalam *Software* ETAP 12.6, untuk gambar *full single line* diagram GI Pulomas sisi 20 kV dapat dilihat pada lampiran 4.



Gambar 4.17 Single Line Diagram GI Pulomas Sisi 150 kV
(Sumber: PT. PLN TJBB APP Cawang)



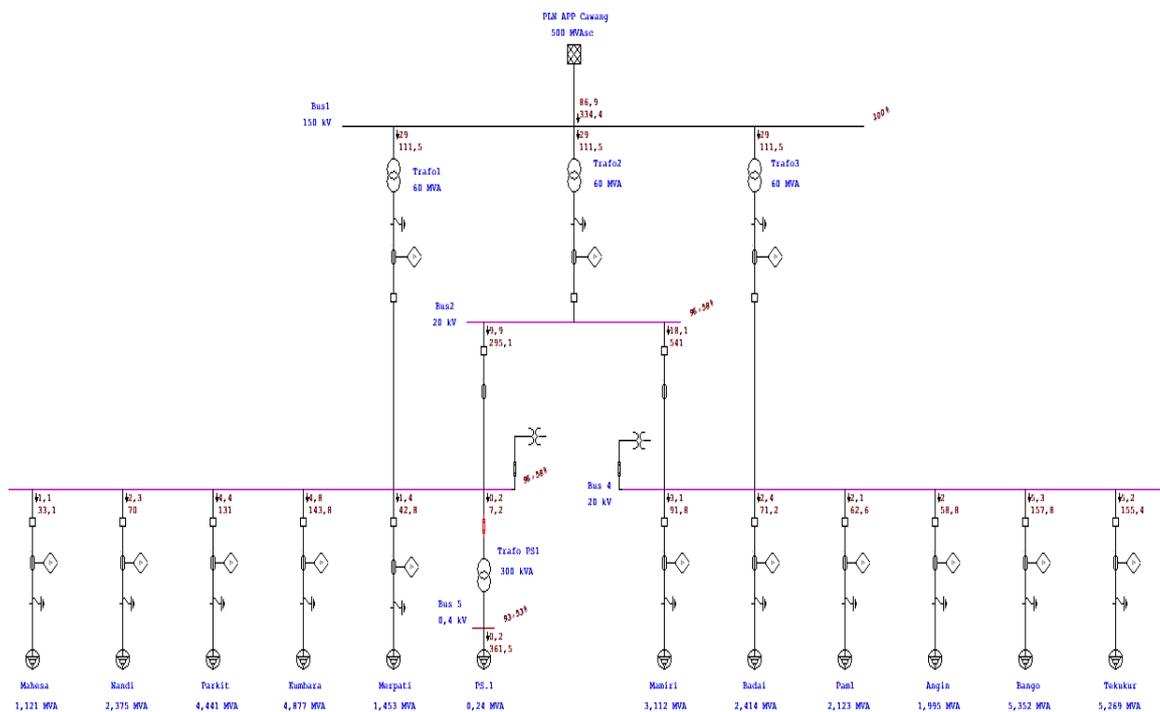
Gambar 4.18 Single Line Diagram GI Pulomas Sisi 20 KV
(Sumber: PT. PLN Disjaya APD Gardu Induk)



Gambar 4.19 Single Line Diagram GI Pulomas Sisi 20 KV pada ETAP 12.6
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

4.1.5 Hasil Pembebanan dan Rugi Daya pada ETAP 12.6

Dengan menggunakan *software* ETAP 12.6, sistem distribusi Jaringan Tegangan Menengah (JTM) 20 kV GI Pulomas dapat disimulasikan untuk diketahui kondisi pembebanan dan rugi daya. Pada gambar 4.20 terdapat gambaran kecil simulasi *load flow* ETAP 12.6 yang telah dijalankan dan terlihat hasilnya, selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 5.



Gambar 4.20 Load Flow GI Pulomas Sisi 20 KV pada ETAP 12.6
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Berdasarkan gambar 4.20 terlihat simulasi aliran daya dari PLN APP Cawang sebagai *Power Grid* yang menjadi sumber utama sistem hingga menuju ke *lumped load* tiap penyulang sebagai beban. Maka data hasil simulasi aliran daya dapat dikelompokkan ke dalam tabel 4.19, adapun data yang ditampilkan adalah data pembebanan dan rugi daya, untuk hasil lengkap simulasi terdapat di lampiran 6.

Tabel 4.19 Data *Bus Loading* Hasil Simulasi *Software ETAP 12.6*

No.	Bus	kV	%Voltage	MVA	Amp	%PF
1.	Bus 1	150	100	87,998	338,7	80,6
2.	Bus 2	20	100	0	0,0	0,0
3.	Bus 3	20	95,269	37,652	1140,9	85,0
4.	Bus 4	20	94,131	45,634	1399,5	85,0
5.	Bus 5	0,4	92,192	0,233	364,9	85,0
6.	Bus 6	0,4	91,028	0,232	367,9	85,0

Tabel 4.20 Data *Branch Loading* dan *Losses* Hasil Simulasi *Software ETAP*

No.	Trafo	Loading (Output)		From-To Bus Flow		Losses		%Drop Vmag
		MVA	%	MW	Mvar	kW	kVAr	kVA
1.	Trafo 1	37,652	62,8	32,075	23,091	72,3	3253,3	4,73
2.	Trafo 3	45,634	76,1	38,896	28,937	108,8	4895,1	5,87
3.	Trafo PS.1	0,233	77,7	0,203	0,130	4,7	7,1	3,08
4.	Trafo PS.2	0,232	77,3	0,202	0,129	4,8	7,2	3.10
Total						190,6	8162,7	

4.1.6 Hasil Pembebanan dan Rugi Daya dengan Perhitungan Manual

Selain dengan ETAP, kita juga dapat mendapatkan besar pembebanan dan rugi daya dengan perhitungan manual sehingga kedua hasil tersebut dapat dibandingkan untuk mengetahui kevalidannya.

4.1.6.1. Hasil Pembebanan Trafo GI Pulomas

Transformator tenaga mempunyai beban maksimal yang dapat ditanggungnya yang bergantung dari besar kapasitas trafo. Semakin besar kapasitas trafo maka semakin besar pula beban maksimalnya. Di setiap badan trafo terdapat plat nama (*name plate*) yang berisikan informasi peralatan atau biasa disebut spesifikasi, diantara juga tercantum arus nominal atau arus beban maksimal (I_{FL}) trafo. Biasanya di *name plate* tersebut hanya ada arus nominal pada sisi sekunder trafo. Namun untuk memastikan kevalidannya, kita juga dapat menghitung arus nominal baik dari sisi primer maupun sekunder dengan rumus.

$$I_P = \frac{S}{V_P \sqrt{3}} \dots\dots\dots (4.1)$$

$$I_S = I_{FL} = \frac{S}{V_S \sqrt{3}} \dots\dots\dots (4.2)$$

Sehingga berdasarkan spesifikasi trafo GI Pulomas, kita dapat menghitung arus nominal primer dan sekundernya dengan menggunakan persamaan 4.1 dan 4.2. Berikut adalah hitungan untuk trafo 60 MVA.

$$\text{Daya Semu (S)} = 60.000 \text{ MVA} = 60.000 \text{ kVA}$$

$$\text{Tegangan Sisi Primer (Vp)} = 150 \text{ kV}$$

$$\text{Tegangan Sisi Sekunder (Vs)} = 20 \text{ kV}$$

$$I_P = \frac{S}{V_P \sqrt{3}} = \frac{60.000}{150 \times 1,732} = 230,95 \text{ A}$$

$$I_S = I_{FL} = \frac{S}{V_S \sqrt{3}} = \frac{60.000}{20 \times 1,732} = 1732,1 \text{ A}$$

Sedangkan untuk trafo pemakaian sendiri yang berkapasitas 300 kVA, berikut adalah hitungannya.

$$\text{Daya Semu (S)} = 300 \text{ kVA}$$

$$\text{Tegangan Sisi Primer (Vp)} = 20 \text{ kV}$$

Tegangan Sisi Sekunder (V_s) = 400 V = 0,4 kV

$$I_P = \frac{S}{V_P \sqrt{3}} = \frac{300}{20 \times 1,732} = 8,67 \text{ A}$$

$$I_S = I_{FL} = \frac{S}{V_S \sqrt{3}} = \frac{300}{0,4 \times 1,732} = 433,02 \text{ A}$$

Dengan begitu, dapat terlihat bahwa besar arus nominal yang tertera pada *name plat* yang telah diuraikan di tabel 4.1, sesuai dengan hasil hitungan manual menggunakan rumus. Sementara untuk perhitungan persentase pembebanan trafo dapat dihitung dengan persamaan 4.3.

$$\% \text{Pembelian} = \frac{I_{\text{Terukur}}}{I_{FL}} \dots\dots\dots (4.3)$$

Arus terukur didapat dari penjumlahan beban penyulang-penyulang pada tabel 4.20 sehingga hitungannya menjadi:

Trafo 1

$$\% \text{Pembelian Trafo 1} = \frac{I_{\text{TerukurTrafo1}}}{I_{FL}}$$

$$\% \text{Pembelian Trafo 1} = \frac{1090,7}{1732,1}$$

$$\% \text{Pembelian Trafo 1} = 62,97\%$$

Trafo 3

$$\% \text{Pembelian Trafo 3} = \frac{I_{\text{TerukurTrafo3}}}{I_{FL}}$$

$$\% \text{Pembelian Trafo 3} = \frac{1362,2}{1732,1}$$

$$\% \text{Pembelian Trafo 3} = 78,65\%$$

Sehingga perbandingan antara hasil simulasi ETAP 12.6 dengan perhitungan manual dapat dilihat pada tabel 4.22.

Tabel 4.21 Perbandingan Persentase Pembebanan Trafo Hasil ETAP 12.6 dengan Perhitungan Manual

No.	Trafo	% Pembebanan	
		Simulasi ETAP	Perhitungan Manual
1.	Trafo 1	62,8	63
2.	Trafo 3	76,1	78,6
3.	Trafo PS.1	77,7	80
4.	Trafo PS.2	77,3	80

4.1.6.2. Hasil Rugi Daya

Setiap sistem tenaga listrik mempunyai rugi daya yang merupakan daya yang hilang dalam penyaluran daya listrik dari sumber daya listrik utama ke suatu beban seperti ke rumah-rumah, ke gedung-gedung, dan lain sebagainya. Begitupun dengan sistem distribusi primer pada GI Pulomas yang besar rugi daya atau *losses*-nya dapat dilihat pada tabel 4.19 dan 4.20. Besar *losses* pada tabel-tabel tersebut juga dapat dihitung dengan rumus.

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \dots\dots\dots (4.4)$$

$$P_p = S_p \times \cos \varphi \dots\dots\dots (4.5)$$

$$Losses = P_s - P_p \dots\dots\dots (4.6)$$

Dimana:

$\cos \varphi$ = faktor daya

P_p = daya nyata yang dipakai (W)

S_p = daya semu yang dipakai (VA)

P_s = daya nyata yang disalurkan (W)

Daya nyata yang dipakai merupakan beban penyulang-penyulang pada sistem sedangkan daya yang disalurkan berupa daya *From-To Bus* yang tertera pada tabel 4.20. Maka *losses* dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 4.5 dan 4.6. dan hasil lengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.23.

Trafo 1

$$P_p = S_p \times \cos \varphi = 37,652 \times 0,85 = 32,0042 \text{ MW}$$

$$\text{Losses} = P_s - P_p = 32,075 - 32,0042 = 0,708 \text{ MW} = 70,8 \text{ kW}$$

Tabel 4.22 Perbandingan Persentase *Losses* Trafo Hasil ETAP 12.6 dengan Perhitungan Manual

No.	Trafo	<i>Losses</i> (kW)	
		Simulasi ETAP	Perhitungan Manual
1.	Trafo 1	72,3	70,8
2.	Trafo 3	108,8	106
3.	Trafo PS.1	4,7	4,95
4.	Trafo PS.2	4,8	4,7
Total		190,6	186,55

Perbedaan persentase pembebanan trafo antara hasil ETAP dengan perhitungan manual pada tabel 4.23 masih dapat ditoleransi karena selisih angkanya yang tidak terlampaui jauh. Ini menunjukkan bahwa hasil ETAP 12.6 masih dapat dikatakan valid.

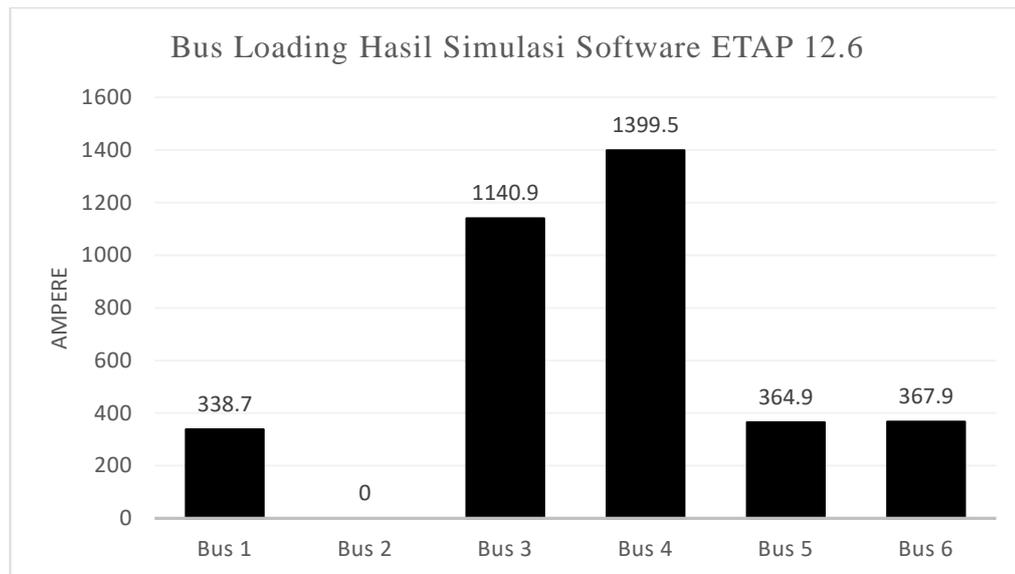
4.2 Analisis Data

Sistem distribusi primer GI Pulomas yang telah diolah datanya dan didapatkan hasil pembebanan maupun *losses*-nya baik dari simulasi ETAP maupun

perhitungan manual selanjutnya dianalisis dengan teori-teori yang sudah dipaparkan pada Bab II.

4.2.1 Analisis Hasil Pembebanan

Pembebanan pada GI Pulomas dari hasil ETAP yang telah dijabarkan pada tabel 4.19 dan 4.20 kemudian disajikan dalam gambar 4.21.

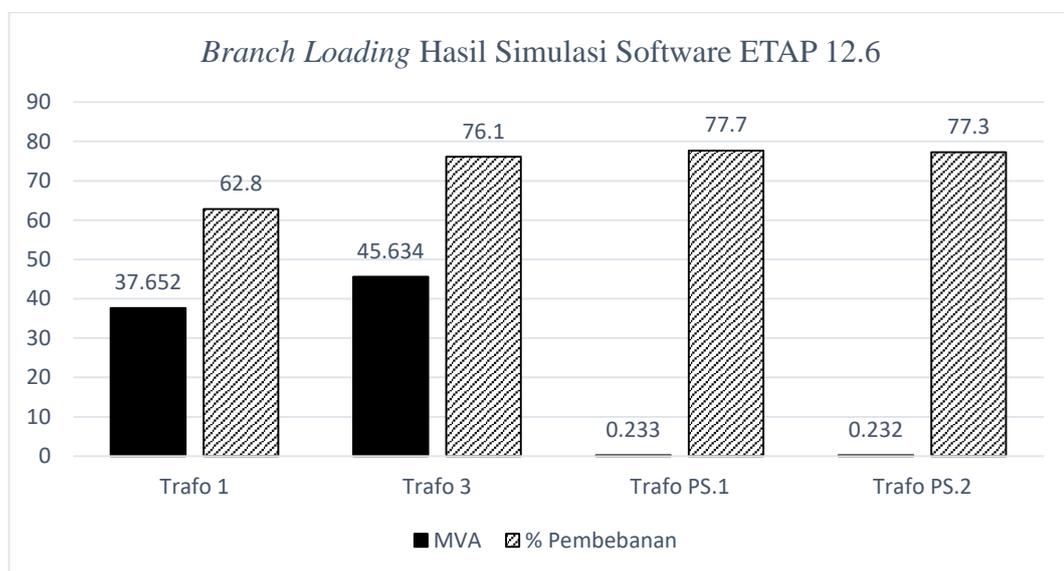


Gambar 4.21 Grafik *Bus Loading* Hasil Simulasi Software ETAP

Berdasarkan tabel 4.19, Bus 4 yang bertegangan 20 kV memiliki beban atau ampere terbesar yang mencapai 1399,5 A dikarenakan bus tersebut merupakan bus yang menghubungkan trafo 3 ke 16 penyulangannya juga satu trafo pemakaian sendiri. Sementara Bus 5 dan 6 memiliki ampere terkecil yaitu 346,9 A dan 367,9 A sebab bus-bus tersebut merupakan bus yang menghubungkan bus yang bertegangan 400 V hasil penurunan tegangan yang semula 20 kV oleh trafo pemakaian sendiri ke beban trafo yang berkapasitas 300 kVA tersebut ke bebannya, yaitu komponen listrik beserta kebutuhan instalasi listrik gedung-gedung GI Pulomas. Bus 2 tidak memiliki arus maupun daya semu karena simulasi ETAP 12.6 dijalankan dengan kondisi normal, atau trafo 1 dan 3 beroperasi dengan baik

sehingga sisi sekunder trafo 2 tidak aktif. Maka otomatis dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin banyak dan bervariasi penyulang atau beban dari trafo, maka beban busnya juga semakin besar. Begitupun dengan data MVA yang berbanding lurus dengan ampere.

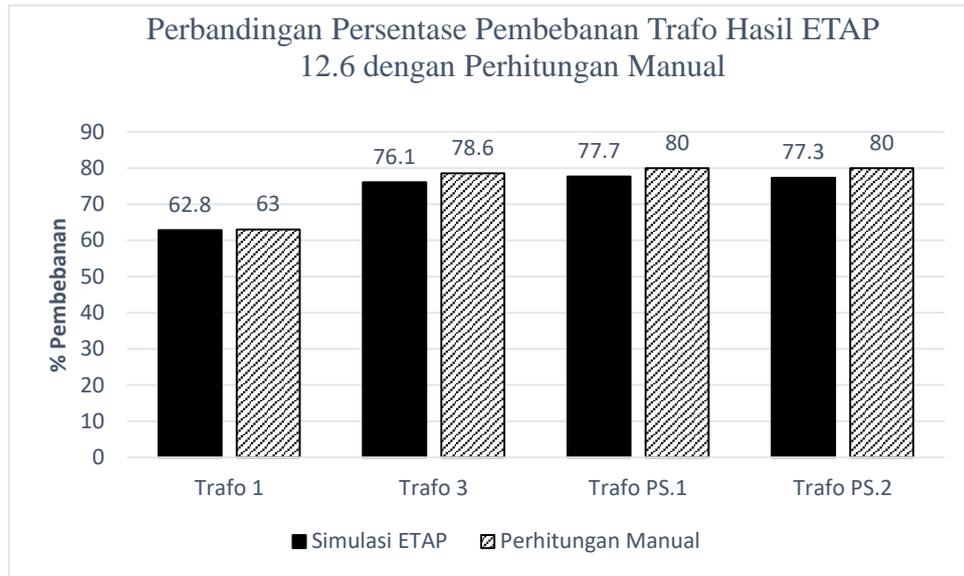
Data %PF (*Power Factor*) atau faktor daya listrik pada tabel 4.19 yang sebesar 85% pada bus 3 hingga bus 6, sesuai dengan standar faktor daya listrik PLN, yaitu 0,85



Gambar 4.22 Grafik *Branch Loading* Hasil Simulasi Software ETAP

Berdasarkan gambar 4.22, *loading* atau beban trafo utama terbesar dimiliki oleh trafo 3 sebesar 45,634 MVA atau 76,1%. Terdapat perbedaan senilai 13,3% antara beban trafo 3 dengan beban trafo 1 yang bebannya mencapai 37,652 MVA atau 62,8%. Hal tersebut dikarenakan jumlah beban yang ditanggung oleh trafo 3 lebih banyak dan bervariasi.

Data hasil simulasi ETAP kemudian juga dihitung manual dengan rumus. Kedua hasil tersebut yang dibandingkan di tabel 4.21 juga disajikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada gambar 4.23.

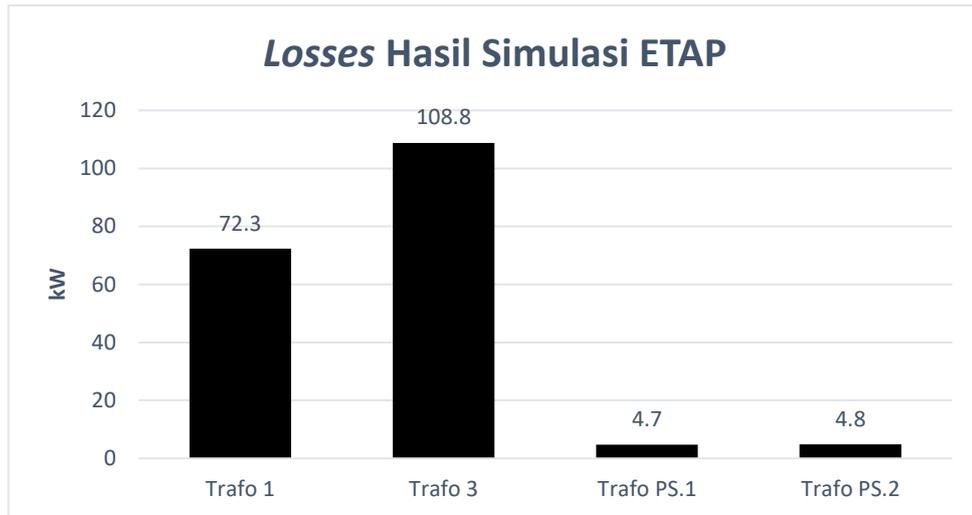


Gambar 4.23 Grafik Perbandingan Persentase Pembebanan Trafo Hasil ETAP 12.6 dengan Perhitungan Manual

Perbedaan persentase pembebanan trafo antara hasil ETAP dengan perhitungan manual pada tabel 4.21 masih dapat ditoleransi karena selisih angkanya yang tidak terlampau jauh bahkan mendekati sama. Perbedaan yang tidak signifikan tersebut dapat disebabkan oleh perbedaan angka desimal yang dipakai. *Software* ETAP 12.6 menggunakan angka desimal hingga 15 digit di belakang koma, sedangkan perhitungan manual hanya dua hingga tiga digit.

4.2.2 Analisis Rugi Daya

Losses trafo GI Pulomas hasil simulasi ETAP yang dapat dilihat pada tabel 4.20 disajikan dalam gambar 4.24.



Gambar 4.24 Grafik Losses Hasil Simulasi ETAP 12.6

Losses terbesar dimiliki oleh trafo 3 sebesar 108,8 kW + 4895,1 kVAR atau dapat juga dihitung dengan persamaan 4.1.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots (4.7)$$

Sehingga losses trafo 3 pada tabel 4.20 juga dapat diketahui daya semunya dengan perhitungan dan hasil lengkapnya dapat dilihat di tabel 4.23.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$S = \sqrt{108,8^2 + 4895,1^2}$$

$$S = \sqrt{23973841,45}$$

$$S = 4896,31 \text{ kVA}$$

Tabel 4.23 Data Losses Trafo Hasil Perhitungan

No.	Trafo	Losses		
		kW	kVAr	kVA
1.	Trafo 1	72,3	3253,3	3254,10
2.	Trafo 3	108,8	4895,1	4896,31

Tabel 4.23 (Lanjutan)

No.	Trafo	Losses		
		kW	kVAr	kVA
3.	Trafo PS.1	4,7	7,1	8,51
4.	Trafo PS.2	4,8	7,2	8,65
Total		190,6	8162,7	8167,57

Maka persentase total *losses* hasil simulasi ETAP dapat dihitung dengan persamaan 4.8.

$$\% \text{ Losses} = \frac{\Delta S}{S_{\text{Kirim}}} \times 100\% \dots\dots\dots (4.8)$$

$$\% \text{ Losses} = \frac{8167,57 \text{ kVA}}{60000 \text{ kVA}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Losses} = 13,61 \%$$

Mengacu pada SPLN No.72 tahun 1987 dimana rugi daya yang diizinkan dalam jaringan distribusi 20 kV adalah 10%. Hal tersebut menunjukkan bahwa rugi daya pada sistem distribusi primer GI Pulomas telah melebihi batas maksimal.

Losses atau rugi daya tersebut merupakan rugi tembaga karena faktor yang menyebabkannya adalah beban dari transformator. Atau dalam kata lain, rugi tembaga ini sesuai dengan pendapat Linsley (2004: 162) yang mengatakan bahwa rugi-rugi tembaga terjadi karena resistansi dalam belitan. Rugi-rugi ini akan berbanding lurus dengan besarnya beban sehingga meningkatnya arus beban akan meningkatkan rugi-rugi tembaga karena rugi-rugi tembaga ini dirumuskan oleh persamaan 4.9 berikut.

$$P = I^2 R \dots\dots\dots (4.9)$$

Linsley juga mengatakan bahwa rugi tembaga merupakan rugi yang sifatnya tidak konstan dan bergantung pada besarnya beban. Selain itu, jika kita menilik dari teori Fisika yang mengatakan bahwa arus listrik yang mengalir di dalam suatu bahan listrik dapat melakukan atau menimbulkan suatu usaha atau energi yang salah satunya yaitu menimbulkan energi panas, maka dapat dikatakan bahwa *losses* atau kerugian tersebut merupakan kerugian akibat panas. Dimana jika suatu penghantar dialiri arus listrik secara terus-menerus maka akan menimbulkan panas, panas ini timbul akibat energi listrik yang mengalir pada penghantar tersebut. Semakin lama arus mengalir maka semakin panas penghantar tersebut dan semakin banyak energi listrik yang hilang karena energi tersebut berubah menjadi panas. Hal inilah yang merugikan karena jika energi itu hilang maka tegangan pada ujung penghantar tersebut akan berkurang. Semakin banyak energi yang menjadi panas maka semakin banyak tegangan yang menghilang.

Faktor daya juga dapat menjadi salah satu penyebab rugi daya. Hal tersebut dilihat dari penelitian-penelitian sebelumnya yang menunjukkan adanya hubungan antara kualitas faktor daya dengan rugi daya. Salah satunya adalah jurnal yang dikeluarkan oleh Fakultas Teknik Universitas Udaya yang kesimpulan penelitiannya adalah perbaikan faktor daya menghasilkan penghematan ekonomi dalam pengeluaran yang besar dan pengeluaran bahan bakar melalui pengurangan kapasitas kilovoltampere dan penurunan rugi daya dalam semua perlengkapan, termasuk saluran distribusi, trafo di gardu induk dan saluran transmisi (Utama, 2008: 47).

Penelitian yang dilakukan oleh mahasiswa-mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Diponegoro juga menunjukkan bahwa nilai rugi – rugi daya aktif pada

tiap level beban (bus) sistem distribusi primer mengalami pengurangan setelah perbaikan faktor daya dilakukan dengan penempatan kapasitor shunt secara paralel (Alamajibuwono: 2011: 7).

4.3 Perencanaan Penyesuaian Beban Transformator

Tujuan utama dari penyesuaian beban adalah untuk mengantisipasi dan mencegah kolapsnya sistem tenaga yang disebabkan oleh transformator yang kelebihan beban (*overload*). Proses kelebihan beban ini dapat terjadi dalam waktu yang cukup lama disebabkan oleh naiknya nilai beban melebihi kapasitas transformator maupun dalam waktu instan yang terjadi karena satu transformator trip dan melepas beban ke transformator atau sumber lain.

Pembebanan transformator 1 GI Pulomas yang hasil simulasi ETAP-nya mencapai 62,8% dan beban puncak harian bulan Oktober 2017 sebesar 73,15% sebenarnya belum dalam kondisi *overload* tetapi sudah mendekati nominal *overload* (80%) dan harus dicegah agar tidak terjadi kerugian. Sedangkan untuk pembebanan transformator 3 yang mencapai 76,1% pada hasil ETAP dan beban puncak harian bulan Oktober 2017 sebesar 86,83% telah terindikasi kondisi *overload* sehingga sudah harus dilakukan manuver untuk penurunan atau pengurangan beban.

Transformator 2 GI Pulomas yang selama ini berperan sebagai transformator cadangan pun kemudian diputuskan untuk beroperasi secara normal dengan pemindahan beberapa penyulang trafo 1 dan 3 ke trafo 2 tersebut. Proses penyesuaian beban dengan pemindahan penyulang tersebut pun diperlukan perencanaan matang agar dicapai hasil yang diinginkan. Perencanaan yang dimaksud adalah yang berkaitan dengan pemilihan berapa penyulang dan

penyulang yang mana saja yang akan dipindahkan ke trafo 2. Dalam penelitian ini, digunakan *software* ETAP 12.6 sebagai media pembantu dalam perencanaan. Simulasi ETAP 12.6 yang dibuat berdasarkan kondisi ril di lapangan kemudian dijalankan untuk mengetahui kondisi pembebanan dan rugi daya sistem distribusi primer sisi 20 kV GI Pulomas. Perencanaan yang dibuat pun tidak hanya satu, tapi beberapa skenario untuk kemudian dipilih yang hasil simulasinya paling optimal.

4.3.1 Skenario 1 Perencanaan Penyesuaian Beban Transformator

Dalam membuat skenario perencanaan penyesuaian beban trafo, pertama-tama dibuat klasifikasi beban penyulang karena suatu faktor utama yang paling penting dalam perencanaan sistem distribusi adalah karakteristik dari berbagai beban. Karakteristik beban diperlukan agar sistem tegangan dan pengaruh termis dari pembebanan dapat dianalisis dengan baik. Analisis tersebut termasuk dalam menentukan keadaan awal yang akan di proyeksikan dalam perencanaan selanjutnya (Suswanto, 2010:185).

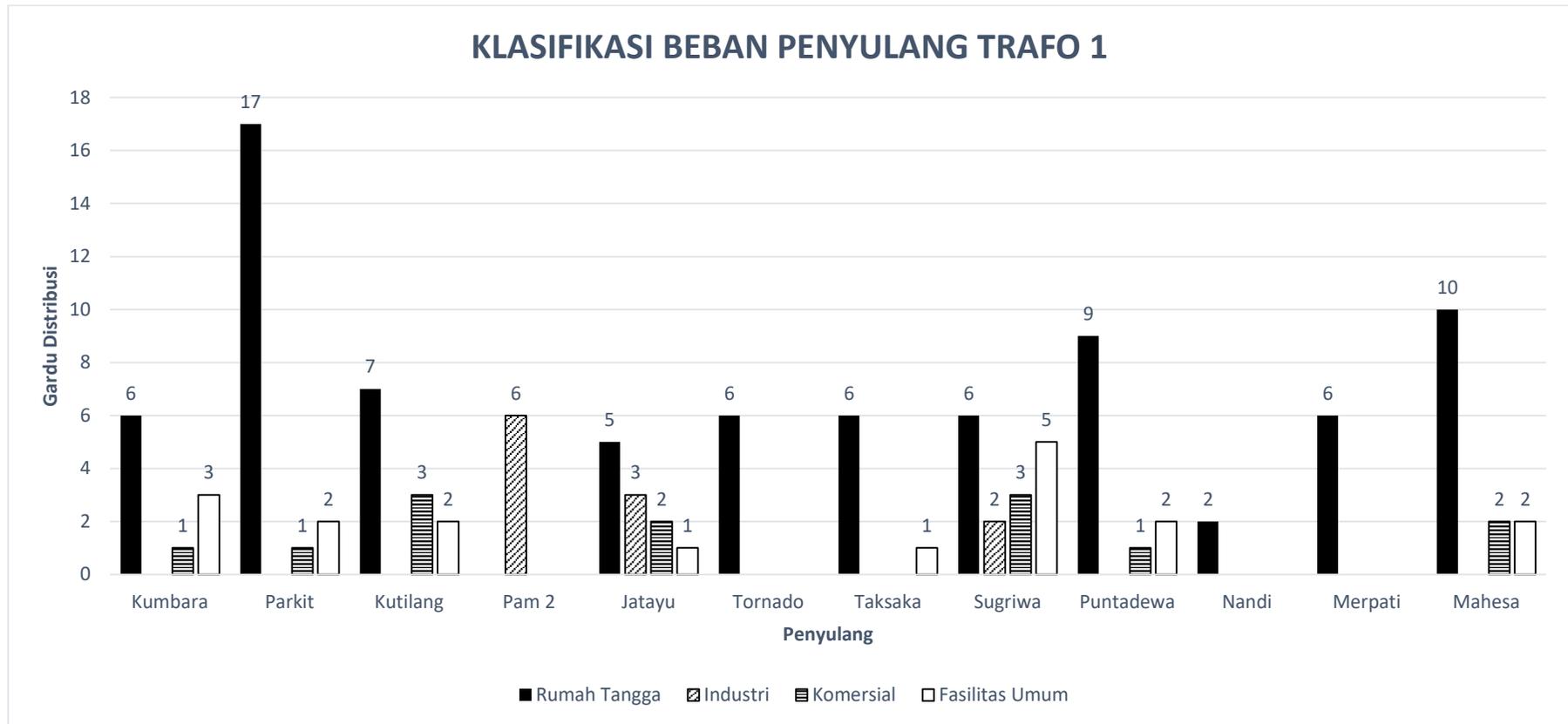
Ada empat klasifikasi beban menurut Kadaffi (2015:11) yang juga sudah dijabarkan pada bab II, yaitu beban rumah tangga, komersial, industri, dan fasilitas umum. Pengklasifikasian beban dibuat berdasarkan konsumen penyulang tersebut seperti pada tabel 4.24 berikut.

Tabel 4.24 Klasifikasi Beban Konsumen Tiap Penyulang

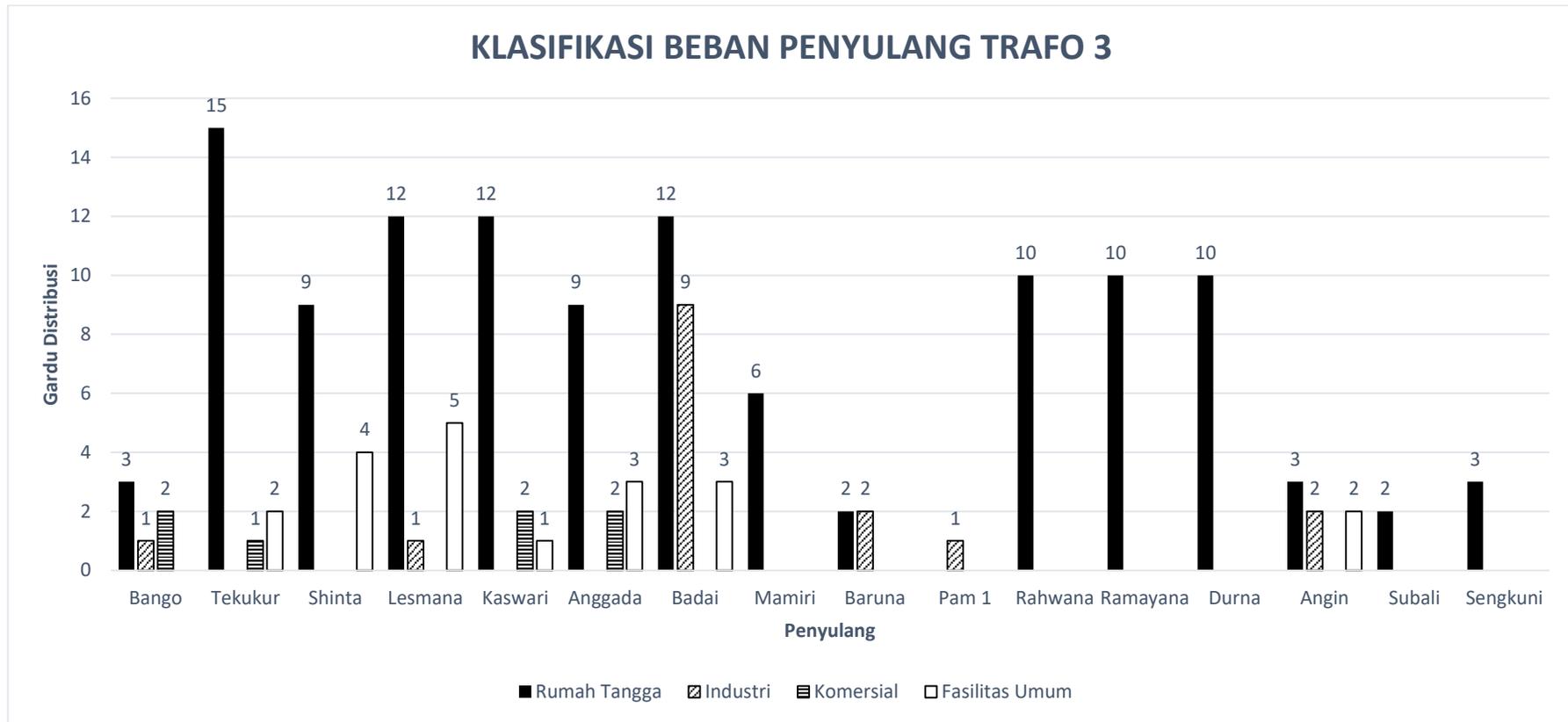
NO.	NAMA PENYULANG	TRAFO	JUMLAH GARDU DISTRIBUSI	KLASIFIKASI BEBAN			
				RUMAH TANGGA	INDUSTRI	KOMERSIAL	FASILITAS UMUM
1.	Kumbara	1	10	6		1	3
2.	Parkit	1	20	17		1	2
3.	Kutilang	1	12	7		3	2
4.	Pam 2	1	6		6		
5.	Jatayu	1	11	5	3	2	1
6.	Tornado	1	6	6			
7.	Taksaka	1	7	6			1
8.	Sugriwa	1	16	6	2	3	5
9.	Puntadewa	1	12	9		1	2
10.	Nandi	1	2	2			
11.	Merpati	1	6	6			
12.	Mahesa	1	12	10		2	2
13.	Bango	3	3	3	1	2	
14.	Tekukur	3	17	15		1	2
15.	Shinta	3	13	9			4
16.	Lesmana	3	18	12	1		5
17.	Kaswari	3	15	12		2	1
18.	Anggada	3	14	9		2	3
19.	Badai	3	12	12	9		3
20.	Mamiri	3	6	6			
21.	Baruna	3	4	2	2		

NO.	NAMA PENYULANG	TRAFO	JUMLAH GARDU DISTRIBUSI	KLASIFIKASI BEBAN			
				RUMAH TANGGA	INDUSTRI	KOMERSIAL	FASILITAS UMUM
22.	Pam 1	3	12		12		
23.	Rahwana	3	10	10			
24.	Ramayana	3	10	10			
25.	Durna	3	10	10			
26.	Angin	3	7	3	2		2
27.	Subali	3	2	2			

Untuk memudahkan maka tabel 4.24 juga disajikan dalam bentuk grafik pada gambar 4.25 dan 4.26.



Gambar 4.25 Grafik Klasifikasi Beban Penyulang Transformator 1



Gambar 4.26 Grafik Klasifikasi Beban Penyulang Transformator 1

Pada skenario 1 ini, yang diperhitungkan dalam perencanaan penyesuaian beban trafo adalah prioritas beban/penyulang pada sistem. Dilakukan pemisahan beban yang berfluktuasi rendah dengan yang berfluktuasi tinggi sesuai dengan teori keandalan beban. Klasifikasi beban rumah tangga masuk dalam beban berfluktuasi rendah sedangkan industri adalah beban berfluktuasi tinggi.

- a. Fluktuasi Rendah
- b. Fluktuasi Sedang
- c. Fluktuasi Tinggi

Beban industri tergolong berfluktuasi tinggi karena penggerak utama yang digunakan adalah motor induksi yang sensitif terhadap perubahan tegangan dan frekuensi. Pada beban yang lebih besar, waktu start motor akan lebih panjang, arus kerja motor lebih tinggi dan putaran kerja motor lebih rendah. Sementara itu karena besarnya arus motor, temperatur kerja motor akan lebih tinggi pula. Tingkat ketergantungan beban industri pada sumber listrik pun sangat tinggi karena industri bekerja berpatokan pada jam kerja. Jika suplai listrik terhenti maka produksi industri akan terhambat dan pabrik akan mengalami kerugian.

Sedangkan untuk beban komersial dan fasilitas umum termasuk dalam beban berfluktuasi sedang. Beban komersial merupakan kebutuhan listrik untuk bangunan perdagangan seperti toko-toko, restoran, pasar-pasar, dan sebagainya. Sementara beban fasilitas umum misalnya lampu penerangan jalan, lampu lalu lintas, dan sebagainya.

Selain itu, beban listrik diklasifikasikan sesuai dengan pelayanannya seperti: beban normal, beban khusus (essential), dan beban kritis.

- a. Beban Normal – beban-beban yang berhubungan dengan produksi, di mana kehilangan pasokan ini tidak akan menciptakan suatu kondisi yang tidak aman atau menghasilkan kerusakan pada peralatan. Beban-beban ini tidak mengalami perubahan pada kondisi operasi normal.
- b. Beban-beban khusus (*Essential*) – beban-beban ini berhubungan dengan keselamatan manusia dan peralatan, walau demikian beban ini kemungkinan akan mengalami pemutusan singkat pada pasokannya tanpa merusak peralatan dan tidak menimbulkan gangguan pada keselamatan manusia yang terjadi pada saat pengoperasian awal generator darurat. Pada kondisi darurat, beban khusus menerima suplai dari generator darurat (*emergency generator*) yang mampu bertahan memasok daya sampai generator utama dapat dioperasikan atau sekurang-kurangnya generator darurat dapat dioperasikan selama 24 jam.
- c. Beban-beban Kritis – beban kritis (*critical loads*) merupakan beban yang pasokan dayanya harus dijaga kontinuitasnya untuk mencegah terjadinya kondisi tidak aman. Biasanya, beban ini merupakan sistem kontrol proses produksi dan sistem keselamatan (*safety*), dan sistem telekomunikasi.
- d. Beban-beban bukan listrik – beban-beban yang digerakkan oleh penggerak listrik seperti penggerak pneumatic dan hydraulic perlu diperhitungkan. Beban-beban ini dapat termasuk dalam daftar beban sebagai suatu acuan.

Sedangkan berdasarkan sifat beban yang terdiri dari faktor kebutuhan, faktor diversitas dan faktor bebannya, menurut (Pabla, 1994: 7), klasifikasi beban menjadi seperti di tabel 4.25.

Tabel 4.25 Klasifikasi Beban Berdasarkan Sifatnya

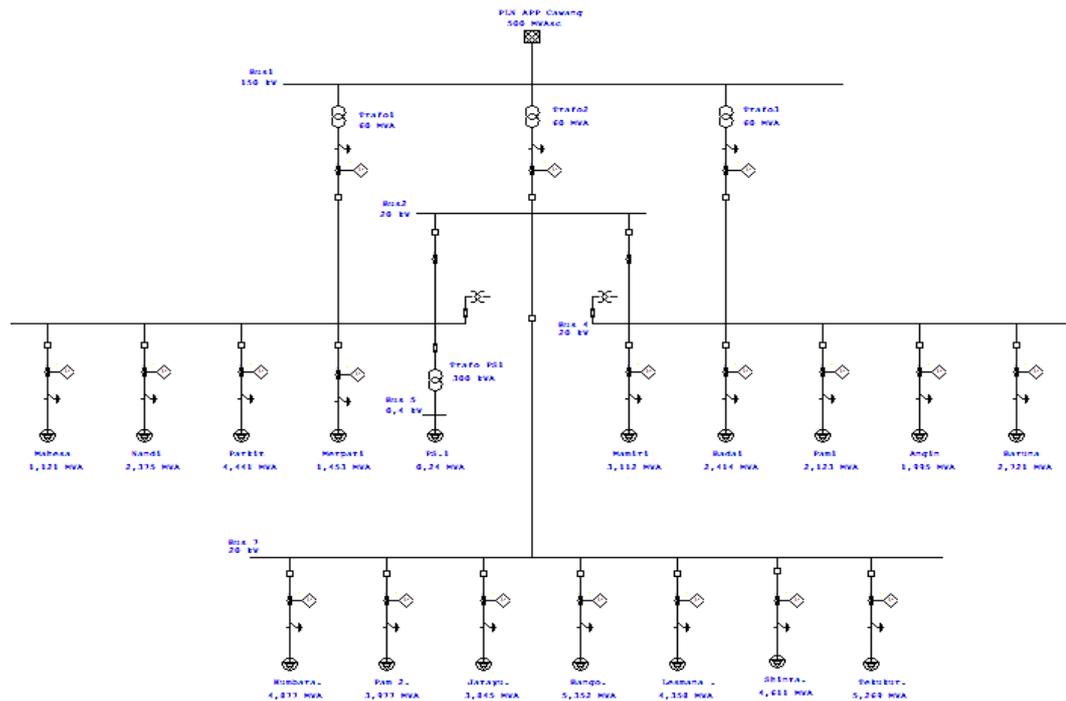
No.	Klasifikasi Beban	Faktor Kebutuhan	Faktor Diversitas	Faktor Beban
1.	Fasilitas Umum	100%	1	25-30%
2.	Komersial	90-100%	1.1-1.2	25-30%
3.	Industri	70-80%	-	60-65%
4.	Rumah Tangga (Domestic)	70-100%	1.2-1.3	10-15%

Sehingga jika melihat dari tingkat fluktuasi dan sifat beban, pada skenario 1, yang akan diprioritaskan untuk dipindah bebannya ke trafo 2 adalah penyulang dengan gardu distribusi yang menyuplai beban industri, komersial, dan fasilitas umum terbanyak seperti yang diuraikan dalam tabel 4.24 Khusus untuk PAM 1 dan PAM 2 dipilih karena penyulang ini merupakan penyulang prioritas yang memasok hanya untuk pabrik PAM Jaya.

Tabel 4.26 Penyulang yang Akan dipindah ke Trafo 2 Pada Skenario 1

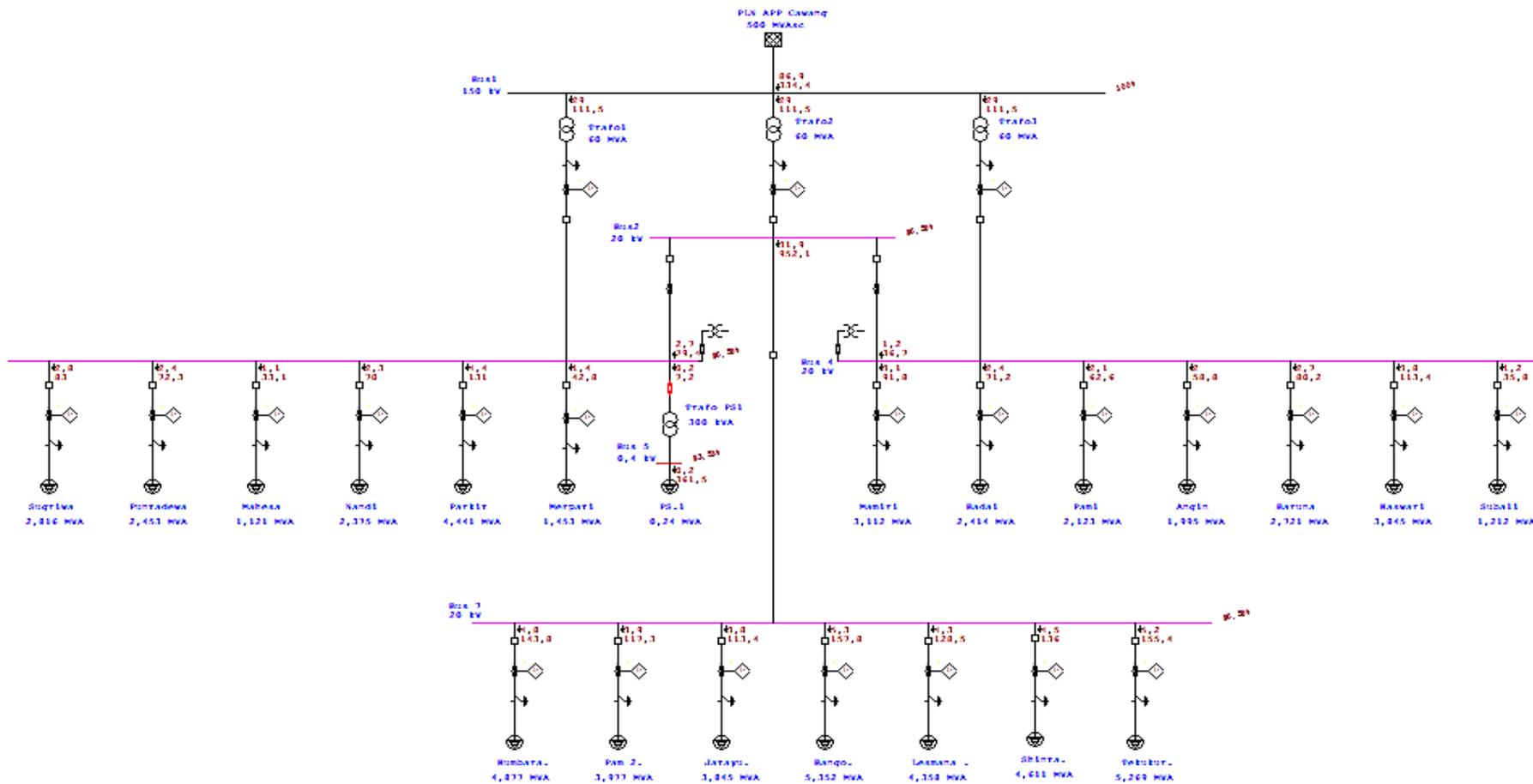
No.	Nama Penyulang	Trafo Asal
1.	Kumbara	1
2.	PAM 2	1
3.	Jatayu	1
4.	Bango	3
5.	Lesmana	3
6.	Shinta	3
7.	PAM 1	3

Setelah diketahui penyulang yang mana saja yang akan dipindah, selanjutnya dilakukan kembali simulasi aliran daya pada ETAP 12.6 untuk diketahui perubahan yang terjadi pada kondisi pembebanan dan rugi dayanya. *Single line* ETAP 12.6 skenario 1 ini dapat dilihat pada gambar 4.27 dan lengkapnya pada lampiran 7.



Gambar 4.27 Single Line Diagram ETAP 12.6 Skenario 1
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Hanya 7 penyulang yang dipindah ke trafo 2 untuk mengantisipasi naiknya kebutuhan listrik masyarakat yang membuat harus diadakannya penyulang baru. *Single line* pun tidak banyak berubah yang dapat dilihat dengan tetap adanya fuse 1 (seksi 1) dan fuse 2 (seksi 2) agar ketiga trafo tetap terhubung satu sama lain secara paralel. Perubahan hanya pada 7 penyulang yang berpindah. Setelah simulasi tersebut berhasil dijalankan seperti pada gambar 4.28 yang lengkapnya dapat dilihat pada lampiran 8, maka didapatkan hasil yang dijabarkan pada tabel 4.27 dan 4.28.



Gambar 4.28 Load Flow Skenario 1 pada ETAP 12.6
 (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Tabel 4.27 Data Bus Loading Hasil Simulasi Skenario 1 Software ETAP 12.6

No.	Bus	kV	%Voltage	MVA	Amp	%PF
1.	Bus 1	150	100	67,053	335,1	82,2
2.	Bus 2	20	96,460	28,886	864,5	85,0
3.	Bus 3	20	96,922	25,350	755,0	85,0
4.	Bus 4	20	96,335	29,819	893,5	85,0
5.	Bus 5	0,4	93,882	0,235	360,6	85,0
6.	Bus 6	0,4	93,282	0,234	361,1	85,0
7.	Bus 7	20	96,460	28,886	864,5	85,0

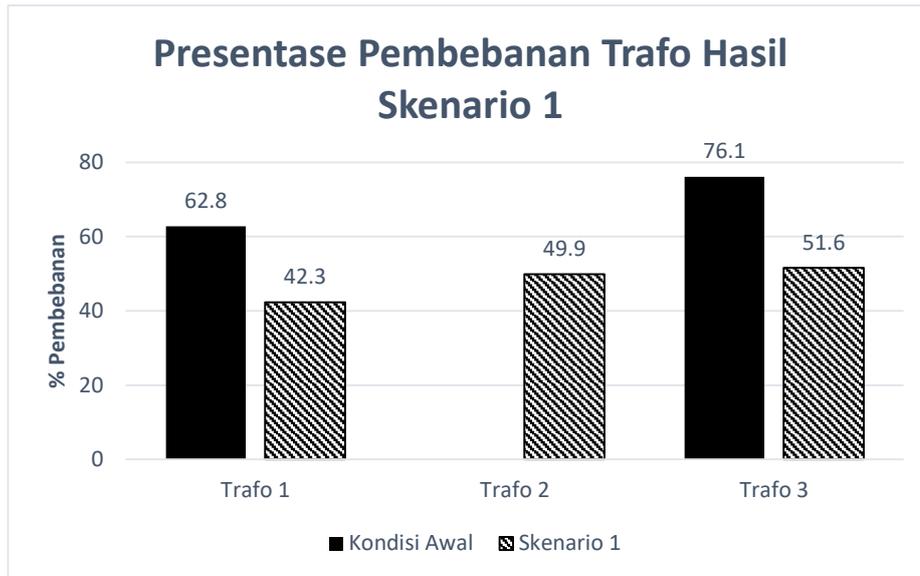
Tabel 4.28 Data Branch Loading dan Losses Hasil Simulasi Skenario 1 Software ETAP 12.6

No.	Trafo	Loading (Output)		From-To Bus Flow		Losses		%Drop Vmag
		MVA	%	MW	Mvar	kW	kVAr	kVA
1.	Trafo 1	26,155	43,6	21,578	14,782	31,7	1424,8	3,08
2.	Trafo 2	29,155	49,9	24,594	17,084	41,5	1867,8	3,54
3.	Trafo 3	30,953	51,6	25,388	17,707	44,3	1995,5	3,66
4.	Trafo PS.1	0,242	80,7	0,204	0,130	4,6	6,9	3,04
5.	Trafo PS.2	0,242	80,7	0,204	0,130	4,7	7	3,05
Total						126,8	5302	

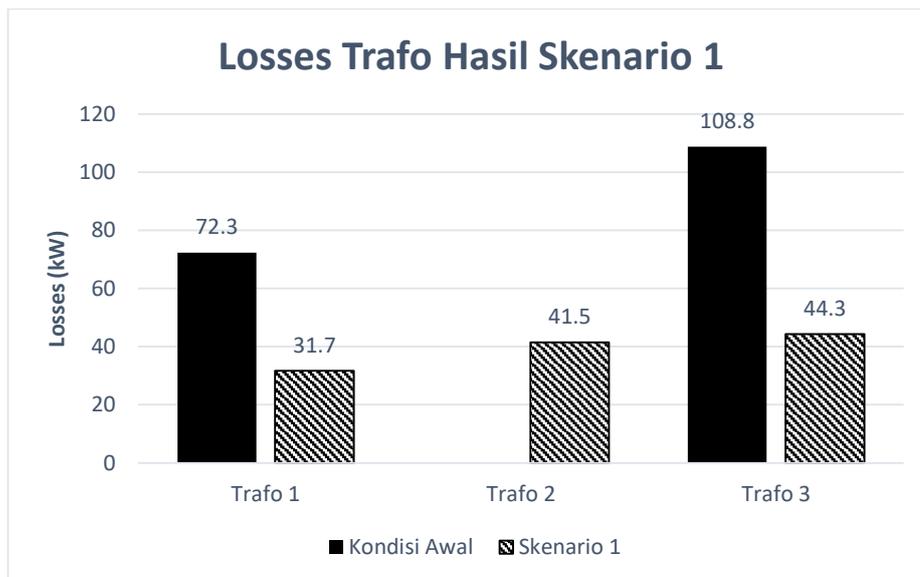
Aktifnya trafo 2 dengan pemberian 7 beban yang sebelumnya menjadi tanggungan trafo 1 dan trafo 3 tentu membuat perubahan kondisi pembebanan dan rugi daya sistem. Dari tabel 4.27 terlihat bahwa terdapat penambahan satu bus baru

yaitu bus 7 yang merupakan penghubung antara trafo 2 dengan penyulang-penyulangnya. Bus tersebut bertegangan 20 kV dengan beban yang mencapai 28,886 MVA dari maksimal 60 MVA atau 864,5A dari maksimal 1732,1 A. Bus 2 yang pada kondisi awal tidak berbeban pun menjadi memiliki beban yang besarnya sama dengan bus 7 karena ke dua bus ini saling berhubungan dan sama-sama mendapat suplai dari trafo 2. Perbedaannya, bus 2 terdiri dari 2 seksi yang tiap seksinya merupakan kubikel yang terdiri dari *circuit breaker*, *current transformer*, *fuse*, dan *potensial transformer* sebagai penghubung antar trafo. Seksi 2 menghubungkan trafo 2 dengan trafo 1, sementara seksi 2 menghubungkan trafo 2 dengan trafo 3. Jika kita bandingkan tabel 4.27 dengan tabel 4.19 yang merupakan penjabaran hasil simulasi ETAP pada kondisi awal, maka dapat terlihat penurunan beban pada bus 3 dan 4.

Sedangkan pada tabel 4.28 terlihat penurunan presentase pembebanan pada trafo 1 dan 3 jika dibandingkan dengan tabel 4.20 Untuk trafo 1 terjadi penurunan sebesar 19,2% karena 3 penyulangnya telah dipindah ke trafo 2, dan untuk trafo 3 terjadi penurunan yang lebih besar yaitu mencapai 24,5% setelah 4 penyulangnya juga menjadi tanggungan trafo 2. Begitupun dengan *losses* pada trafo 1 yang turun sebesar 40,6 kW dan trafo 2 turun sebesar 64,5 kW. Penyajian dalam bentuk grafik dapat dilihat pada gambar 4.29 dan gambar 4.30



Gambar 4.29 Grafik Perbandingan Presentase Pembebanan Trafo Hasil Skenario 1



Gambar 4.30 Grafik Perbandingan Losses Trafo Hasil Skenario 1

Maka persentase total *losses* skenario 1 hasil simulasi ETAP pada tabel 4.28 dapat dihitung dengan persamaan 4.8 dengan terlebih dahulu menghitung daya semunya dengan persamaan 4.7.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$S = \sqrt{126,8^2 + 5302^2}$$

$$S = 5303,52 \text{ kVA}$$

Sehingga perhitungan total *losses* menjadi sebagai berikut:

$$\% \text{ Losses} = \frac{\Delta S}{S_{\text{Kirim}}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Losses} = \frac{5303,52 \text{ kVA}}{60000 \text{ kVA}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Losses} = 8,84\%$$

Terdapat penurunan sebesar 4,77% dari kondisi awal sehingga jika mengacu pada SPLN No.72 tahun 1987 dimana rugi daya yang diizinkan dalam jaringan distribusi 20 Kv adalah 10%, maka % *losses* pada skenario 1 sudah sesuai dengan standar yang ditetapkan. Begitu pula dengan presentase pembebanan baik trafo 1, 2, dan 3 tidak ada yang masuk dalam kondisi *overload* atau bahkan mendekati *overload*.

Kelebihan skenario 1 dapat terlihat dari % *Losses* yang turun dan sudah sesuai SPLN, beban-beban fluktuasi tinggi dan sedang pun lebih terjamin kekontinuitasan aliran listriknya karena kondisi trafo 2 yang masih lebih baik dari trafo 1 maupun 3. Namun kelemahannya adalah jika pun trafo 2 mengalami masalah hingga tidak dapat beroperasi, kerugian akan lebih besar karena yang bebanya terputus adalah beban industri yang pengaruhnya tinggi terhadap kegiatan ekonomi. Selain itu trafo 1 atau 3 yang akan memasok beban trafo 2, menjadi *overload* karena penambahan beban yang cukup signifikan.

4.3.2 Skenario 2 Perencanaan Penyesuaian Beban Transformator

Masih berpegang pada teori keandalan dan sifat beban seperti pada skenario 1, namun pada skenario 2 ini, penyulang dengan gardu distribusi yang menyuplai beban industri, komersial, dan fasilitas umum terbanyak seperti yang diuraikan

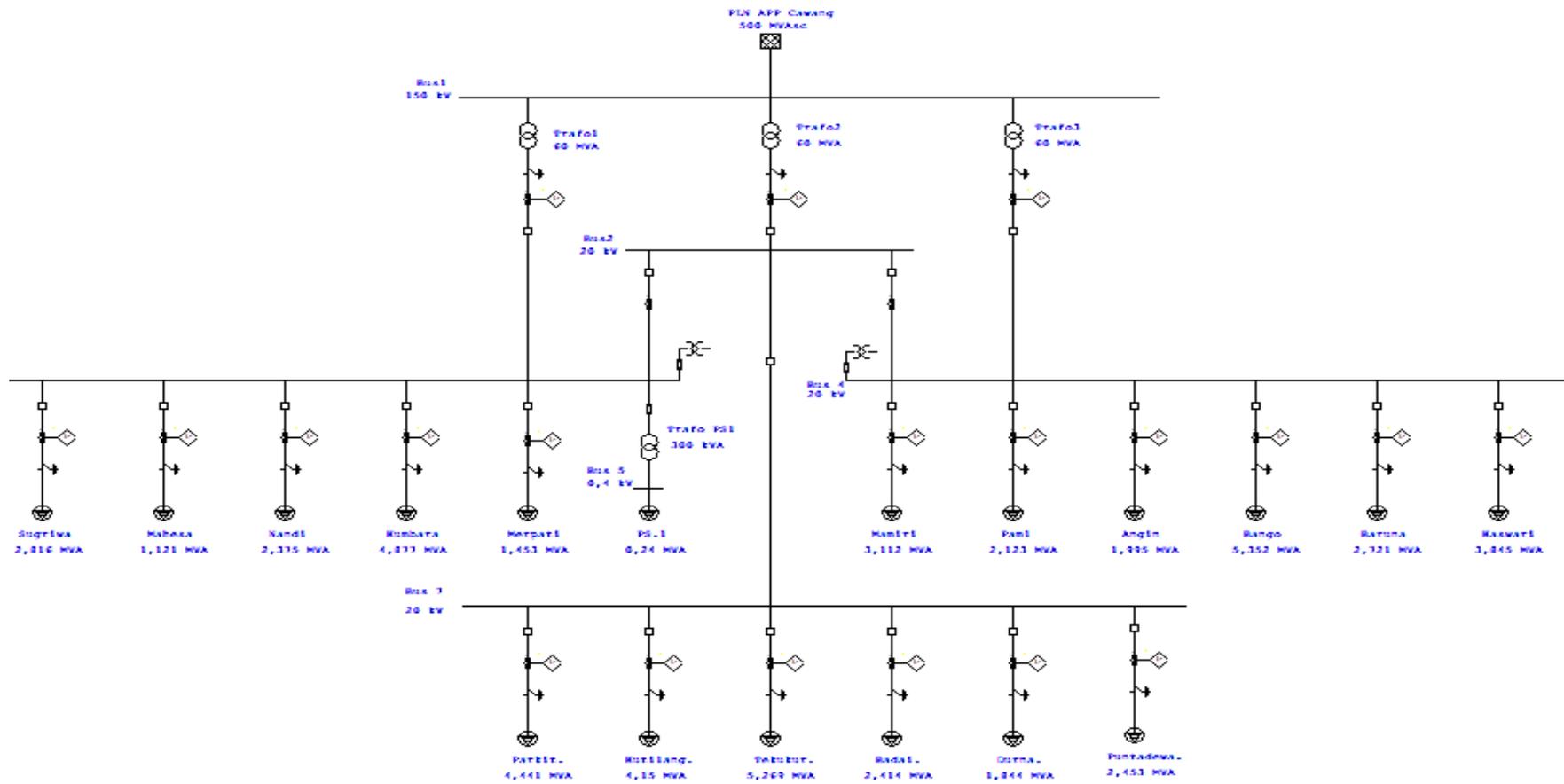
dalam tabel 4.24 akan tetap pada trafo awalnya. Yang akan dipindah ke trafo 2 adalah beban dengan beban rumah tangga tertinggi berdasarkan grafik 4.2

Tabel 4.29 Penyulang yang Akan dipindah ke Trafo 2 Pada Skenario 2

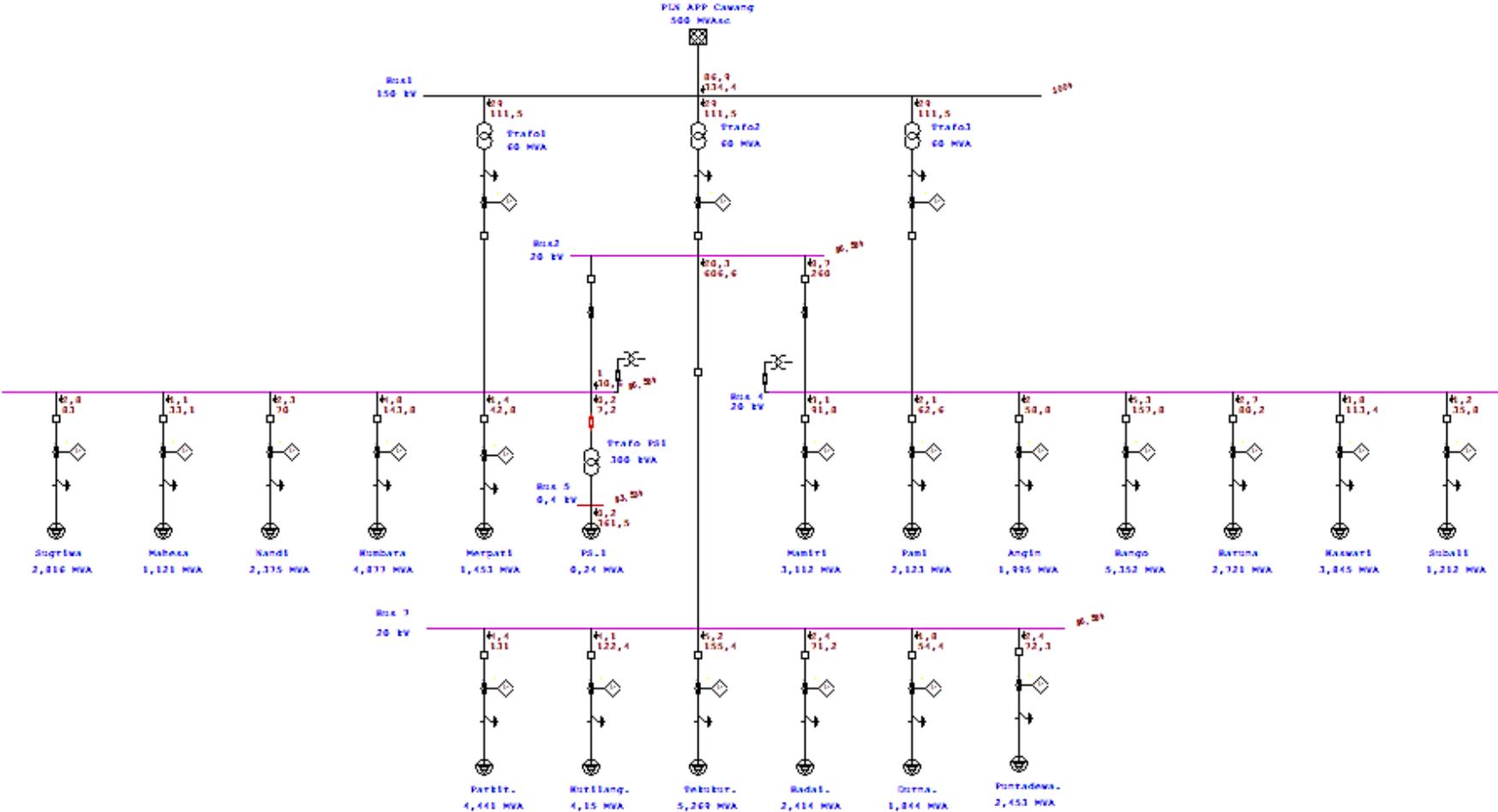
No.	Nama Penyulang	Trafo Asal
1.	Parkit	1
2.	Kutilang	1
3.	Puntadewa	1
4.	Tekukur	3
5.	Badai	3
6.	Durna	3

Setelah diketahui penyulang yang mana saja yang akan dipindah, selanjutnya dilakukan kembali simulasi aliran daya pada ETAP 12.6 untuk diketahui perubahan yang terjadi pada kondisi pembebanan dan rugi dayanya. *Single line* ETAP 12.6 skenario 2 ini dapat dilihat pada gambar 4.31 dan lengkapnya pada lampiran 10.

Hanya 6 penyulang yang dipindah ke trafo 2 untuk mengantisipasi naiknya kebutuhan listrik masyarakat yang membuat harus diadakannya penyulang baru. *Single line* pun tidak banyak berubah yang dapat dilihat dengan tetap adanya fuse 1 (seksi 1) dan fuse 2 (seksi 2) agar ketiga trafo tetap terhubung satu sama lain secara paralel. Perubahan hanya pada 6 penyulang yang berpindah. Setelah simulasi tersebut berhasil dijalankan seperti pada gambar 4.32 (lengkapnya pada lampiran 11), maka didapatkan hasil yang dijabarkan pada tabel 4.31 dan 4.32 (lengkapnya pada lampiran 12).



Gambar 4.31 Single Line Diagram ETAP 12.6 Skenario 2
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Gambar 4.32 Load Flow Skenario 2 pada ETAP 12.6
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Tabel 4.31 Data Bus Loading Hasil Simulasi Skenario 2 Software ETAP 12.6

No.	Bus	kV	%Voltage	MVA	Amp	%PF
1.	Bus 1	150	100	87,011	334,9	82,2
2.	Bus 2	20	97,560	20,372	602,8	85,0
3.	Bus 3	20	96,712	26,963	804,8	85,0
4.	Bus 4	20	95,428	36,507	1104,4	85,0
5.	Bus 5	0,4	93,667	0,234	361,2	85,0
6.	Bus 6	0,4	92,355	0,233	362,5	85,0
7.	Bus 7	20	97,560	20,372	602,8	85,0

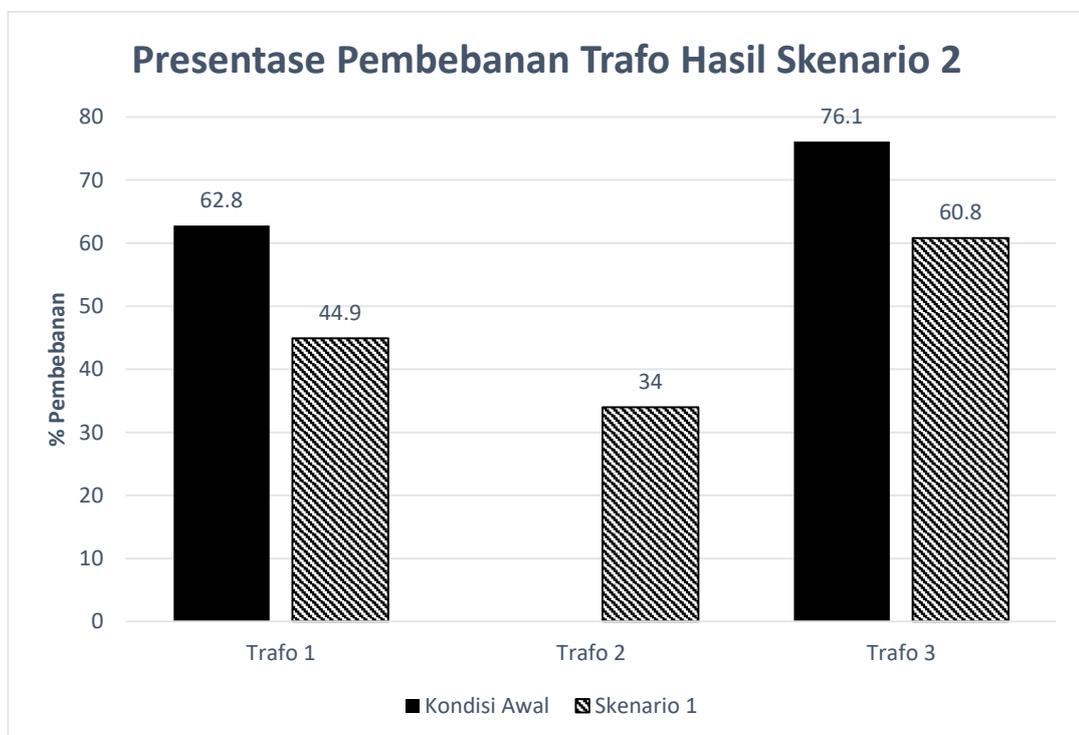
Tabel 4.32 Data Branch Loading dan Losses Hasil Simulasi Skenario 2 Software ETAP 12.6

No.	Trafo	Loading (Output)		From-To Bus Flow		Losses		%Drop Vmag
		MVA	%	MW	Mvar	kW	kVAr	kVA
1.	Trafo 1	26,963	44,9	22,953	15,826	36	1619	3,29
2.	Trafo 2	20,372	34	17,337	11,640	20,2	908,2	2,44
3.	Trafo 3	36,507	60,8	31,097	22,283	67,7	3048,3	4,57
4.	Trafo PS.1	0,234	78,1	0,204	0,130	4,6	6,9	3,05
5.	Trafo PS.2	0,233	77,7	0,203	0,130	4,7	7,1	3,07
Total						133,2	5589,5	

Sama halnya seperti yang terjadi di skenario 1, pada skenario 2 terlihat dari tabel 4.33 terdapat penambahan satu bus baru yaitu bus 7 yang merupakan penghubung antara trafo 2 dengan penyulang-penyulangnya. Beban bus 7 mencapai 20,372 MVA dari maksimal 60 MVA atau 602,8 A dari maksimal 1732,1 A. Bus 2

yang pada kondisi awal tidak berbeban pun menjadi memiliki beban yang besarnya sama dengan bus 7 karena ke dua bus ini saling berhubungan dan sama-sama mendapat suplai dari trafo 2. Seksi 1 dan seksi 2 pun masih ada pada sistem di skenario 2 ini. Jika kita bandingkan tabel 4.33 dengan tabel 4.19 yang merupakan penjabaran hasil simulasi ETAP pada kondisi awal, maka dapat terlihat penurunan beban pada bus 3 dan 4.

Sedangkan pada tabel 4.34 terlihat penurunan presentase pembebanan pada trafo 1 dan 3 jika dibandingkan dengan tabel 4.20. Untuk trafo 1 terjadi penurunan sebesar 19,2% karena 3 penyulangannya telah dipindah ke trafo 2, dan untuk trafo 3 terjadi penurunan yang lebih besar yaitu mencapai 24,5% setelah 4 penyulangannya juga menjadi tanggungan trafo 2. Begitupun dengan *losses* pada trafo 1 yang turun sebesar 40,6 kW dan trafo 2 turun sebesar 64,5 kW. Penyajian dalam bentuk grafik dapat dilihat pada gambar 4.33 dan gambar 4.34.



Gambar 4.33 Pembebanan Trafo Hasil Skenario 2



Gambar 4.34. Losses Trafo 1 dan 2 Hasil Skenario 2

Maka persentase total *losses* skenario 2 hasil simulasi ETAP pada tabel 4.34 dapat dihitung dengan persamaan 4.8 dengan terlebih dahulu menghitung daya semunya dengan persamaan 4.7.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$S = \sqrt{133,2^2 + 5589,5^2}$$

$$S = 5591,09 \text{ kVA}$$

Sehingga perhitungan total *losses* menjadi sebagai berikut:

$$\% \text{ Losses} = \frac{\Delta S}{S_{\text{Kirim}}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Losses} = \frac{5591,09 \text{ kVA}}{60000 \text{ kVA}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Losses} = 9,32\%$$

Terdapat penurunan sebesar 4,29% dari kondisi awal sehingga jika mengacu pada SPLN No.72 tahun 1987 dimana rugi daya yang diizinkan dalam jaringan

distribusi 20 Kv adalah 10%, maka % *losses* pada skenario 2 pun sudah sesuai dengan standar yang ditetapkan. Begitu pula dengan presentase pembebanan baik trafo 1, 2, dan 3 tidak ada yang masuk dalam kondisi *overload* atau bahkan mendekati *overload*.

Kelebihan skenario 2 yaitu jika trafo 2 mengalami masalah sehingga tidak dapat beroperasi, maka kerugian yang akan dialami tidak signifikan skenario 1 karena pada skenario 2 yang dipindah ke trafo 2 bukan penyulang dengan *critical load* sehingga tidak akan terlalu mengganggu kegiatan perekonomian. Namun kelemahannya adalah jika pun trafo 2 mengalami masalah hingga tidak dapat beroperasi, trafo 1 atau 3 yang akan memasok beban trafo 2, menjadi *overload* karena penambahan beban yang cukup signifikan.

4.3.3 Skenario 3 Perencanaan Penyesuaian Beban Transformator

Pada skenario 3, dilakukan penambahan satu unit trafo yang akan disambungkan dengan penyulang-penyulang pada tabel 4.35 secara aktif. Sementara trafo 2 tetap sebagai trafo cadangan yang tidak aktif memasok beban ke penyulang. Hal ini menjadi pertimbangan karena dengan rencana diaktifkannya trafo 2, maka tidak akan ada lagi trafo cadangan sehingga jika salah satu trafo mengalami masalah, penyulang-penyulang pada trafo bermasalah tersebut akan benar-benar terputus. Dampak dari kasus tersebut tentulah sangat merugikan pihak konsumen maupun PLN.

Penambahan trafo ini masih diizinkan oleh SPLN yang mengatur bahwa jumlah maksimal trafo pada satu gardu induk adalah lima unit. Trafo baru yang

akan diparalelkan dengan ketiga trafo yang sudah ada pun tetap mengacu pada standar Direktori Listrik yang berisi syarat memparalelkan trafo, diantaranya:

- a. Perbandingan tegangan harus sama
- b. Polaritas sama
- c. Impedansi sama
- d. Perbandingan reaktansi sama
- e. Vektor grup sama

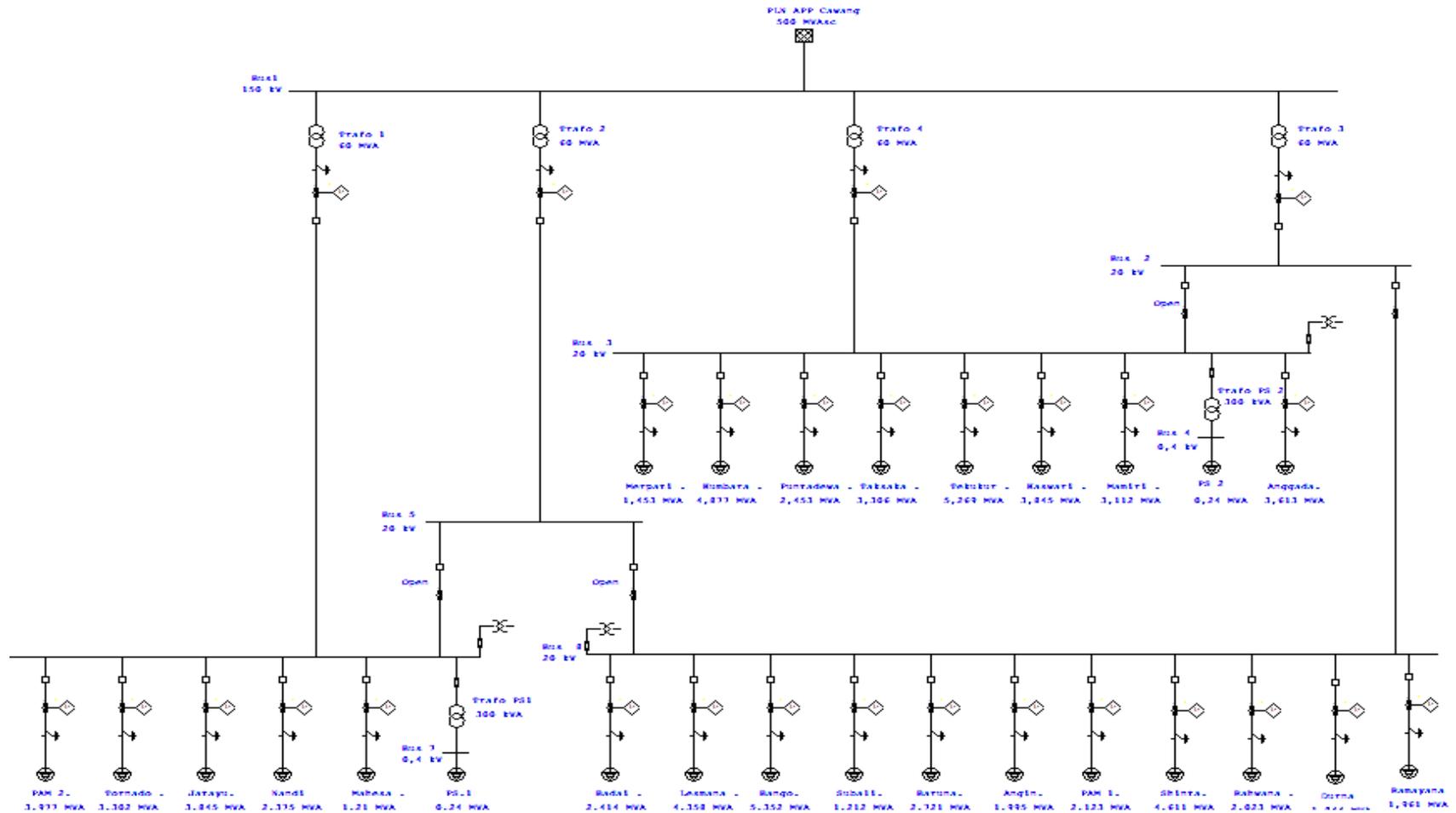
Memparalel trafo yang salah satu parameter di atas tidak terpenuhi dapat menimbulkan arus sirkulasi antar trafo tidak sesuai dengan yang diinginkan. Sehingga situasi tersebut akan menyebabkan turunnya efisiensi trafo serta menurunkan kemampuan trafo dalam melayani beban.

Pemindahan beberapa penyulang dari trafo 1 dan 3 ke trafo baru atau trafo 4 dilakukan masih dengan prinsip teori fluktuasi beban. Penyulang-penyulang yang dipilih merupakan penyulang dengan beban rumah tangga terbanyak, penyulang yang mencakup beban industri, komersial, dan fasilitas umum, serta penyulang yang hanya memasok beban rumah tangga. Faktor yang dipertimbangkan dari prinsip pemilihan penyulang pada skenario 3 ini adalah kelemahan pada skenario 1 dan 2 yang ingin dihindari. Sehingga diputuskanlah ada 8 penyulang beserta satu trafo pemakaian sendiri yang akan dipindah ke trafo 4 yang lebih rincinya dapat dilihat pada tabel 4.33.

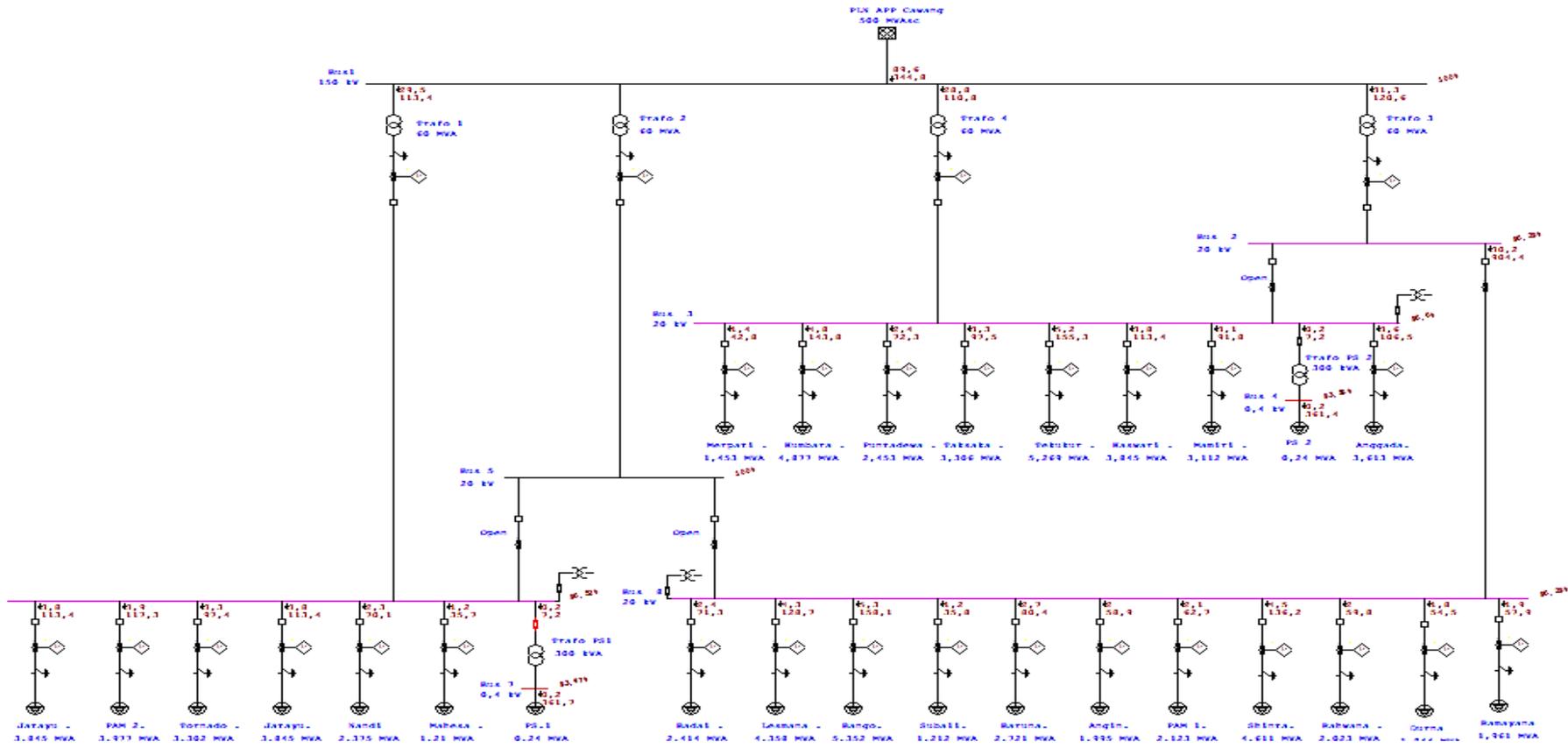
Tabel 4.33 Penyulang yang Akan dipindah ke Trafo 2 pada Skenario 3

No.	Nama Penyulang	Trafo Asal
1.	Kumbara	1
2.	Puntadewa	1
3.	Taksaka	1
4.	Merpati	1
5.	Tekukur	3
6.	Kaswari	3
7.	Mamiri	3
8.	Anggada	3
9.	Trafo PS2	3

Setelah diketahui penyulang yang mana saja yang akan dipindah, selanjutnya dilakukan kembali simulasi aliran daya pada ETAP 12.6 untuk diketahui perubahan yang terjadi pada kondisi pembebanan dan rugi dayanya. *Single line* ETAP 12.6 skenario 3 ini dapat dilihat pada gambar 4.35 dan lengkapnya pada lampiran 13.



Gambar 4.35 Single Line Diagram ETAP 12.6 Skenario 3
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Gambar 4.36 Load Flow Skenario 3 pada ETAP 12.6
 (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Gambar 4.36 yang lengkapnya dapat dilihat pada lampiran 14 menunjukkan terjadinya penambahan seksi yang menghubungkan trafo 3 dengan beban trafo 4 (bus 3). Fuse-fuse pada bus 5 (seksi 1 dan 2) dalam keadaan *open* karena simulasi aka dijalankan dalam kondisi normal tanpa masalah pada tiap-tiap trafo sehingga trafo 2 belum berbeban, yang dapat dibuktikan saat simulasi dijalankan pada gambar 4.36 CB Bus 2 yang menghubungkan trafo 3 dengan beban trafo 4 pun dibiarkan dalam kondisi *open* sehingga tidak juga mendapatkan suplai dari trafo 3.

Tabel 4.34 Data *Bus Loading* Hasil Simulasi Skenario 3 ETAP 12.6

No.	Bus	kV	%Voltage	MVA	Amp	%PF
1.	Bus 1	150	100	89,579	344,8	82,1
2.	Bus 2	20	96,290	30,168	904,4	85,0
3.	Bus 3	20	96,603	27,797	830,7	85,0
4.	Bus 4	0,4	93,555	0,234	361,4	85,0
5.	Bus 5	20	100	0	0	0
6.	Bus 6	20	96,517	28,448	850,9	0
7.	Bus 7	0,4	93,467	0,234	361,7	85,0
8.	Bus 8	20	96,290	30,168	904,4	85,5

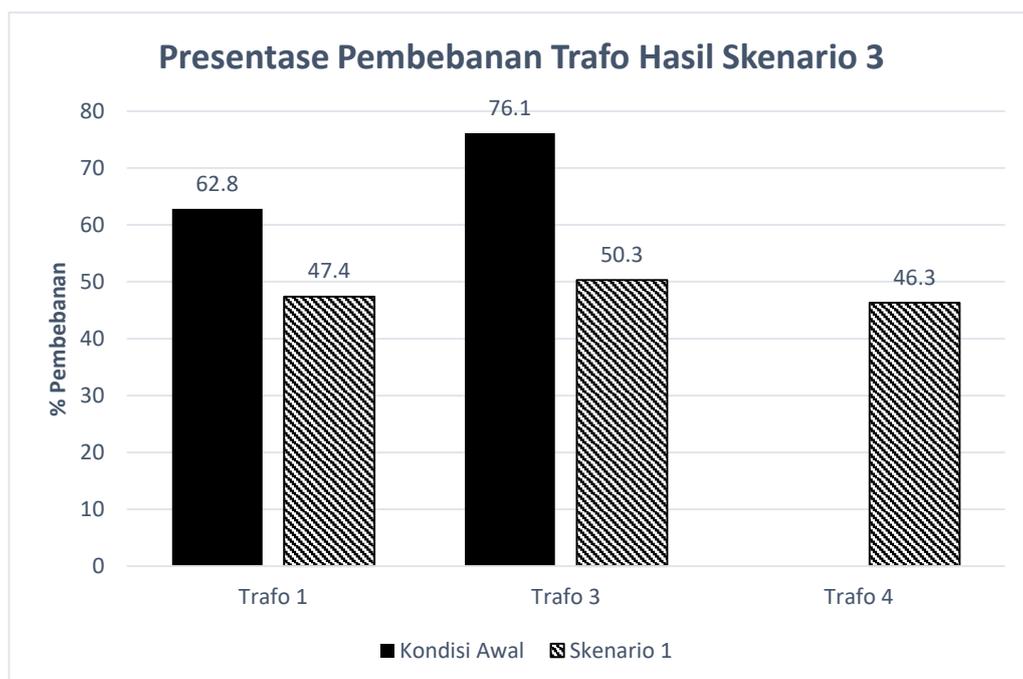
Tabel 4.35 Data *Branch Loading* dan *Losses* Hasil Simulasi Skenario 3 ETAP 12.6

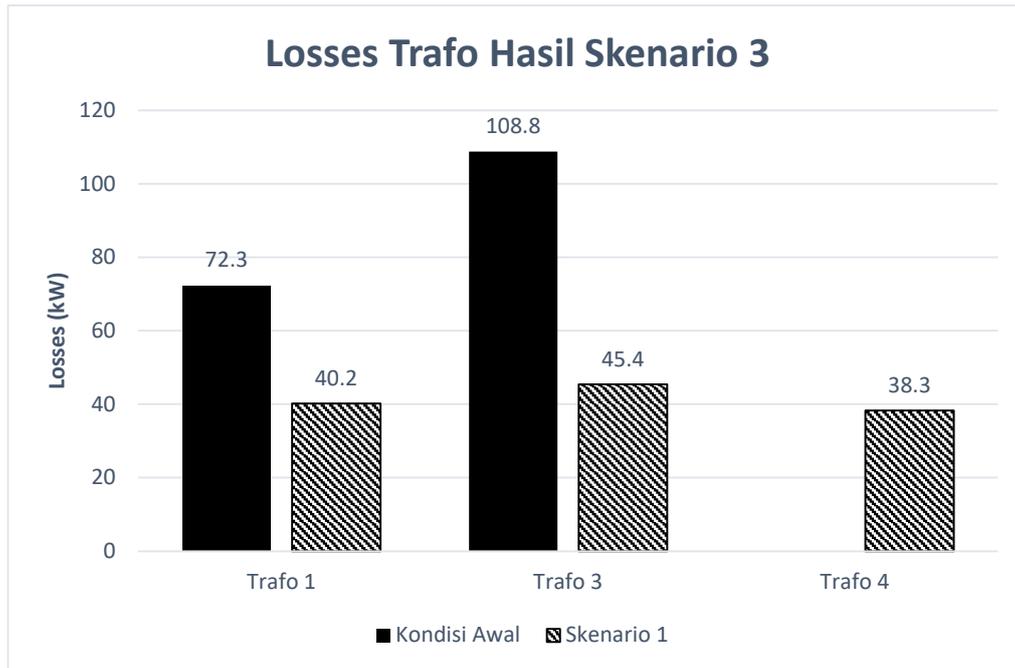
No.	Trafo	Loading (Output)		From-To Bus Flow		Losses		%Drop Vmag
		MVA	%	MW	Mvar	kW	kVAr	kVA
1.	Trafo 1	28,448	47,4	24,219	16,219	40,2	1809,5	3,48
2.	Trafo 2	0	0	0	0	0	0	0
3.	Trafo 3	30,168	50,3	25,688	17,936	45,4	2044,4	3,71

Tabel 4.35 (Lanjutan)

5.	Trafo 4	27,797	46,3	23,664	16,371	38,3	1724,5	3,40
6.	Trafo PS.1	0,234	78,1	0,204	0,130	4,6	7	3,05
5.	Trafo PS.2	0,234	78,1	0,204	0,130	4,6	7	3,05
Total						133,2	5592,4	

Pada tabel 4.34 bus 5 tidak bernilai karena bus ini merupakan penghubung trafo 2 dengan seksi 1 dan 2. Urutan pada bus ini tidak sama dengan skenario sebelumnya. Terlihat dari tabel 4.35 terdapat penurunan presentase pembebanan pada trafo 1 dan 3 jika dibandingkan dengan tabel 4.19. Untuk trafo 1 terjadi penurunan sebesar 15,4% karena 4 penyulangannya telah dipindah ke trafo 4, dan untuk trafo 3 terjadi penurunan yang lebih besar yaitu mencapai 25,8% setelah 5 penyulangannya juga menjadi tanggungan trafo 4. Begitupun dengan *losses* pada trafo 1 yang turun sebesar 32,1 kW dan trafo 3 turun sebesar 63,4 kW. Penyajian dalam bentuk grafik dapat dilihat pada gambar 4.37 dan gambar 4.38

**Gambar 4.37 Pembebanan Trafo 1 dan 2 Hasil Skenario 3**



Gambar 4.38 Losses Trafo 1 dan 3 Hasil Skenario 3

Maka persentase total *losses* skenario 2 hasil simulasi ETAP pada tabel 4.37 (lengkapnya pada lampiran 15) dapat dihitung dengan persamaan 4.8 dengan terlebih dahulu menghitung daya semunya dengan persamaan 4.7.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$S = \sqrt{133,2^2 + 5592,4^2}$$

$$S = 5593,99 \text{ kVA}$$

Sehingga perhitungan total *losses* menjadi sebagai berikut:

$$\% \text{ Losses} = \frac{\Delta S}{S_{\text{Kirim}}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Losses} = \frac{5593,99 \text{ kVA}}{60000 \text{ kVA}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Losses} = 9,32\%$$

Terdapat penurunan sebesar 4,29% dari kondisi awal sehingga jika mengacu pada SPLN No.72 tahun 1987 dimana rugi daya yang diizinkan dalam jaringan

distribusi 20 Kv adalah 10%, maka % *losses* pada skenario 2 pun sudah sesuai dengan standar yang ditetapkan. Begitu pula dengan presentase pembebanan baik trafo 1, 3, maupun 4 tidak ada yang masuk dalam kondisi *overload* atau bahkan mendekati *overload*.

Kelebihan skenario ini adalah akan tetap terjaminnya kontinuitas pemasokan listrik ke penyulang-penyulang karena trafo 2 akan dapat siaga menjadi sumber cadangan jika trafo 1, 3, atau 4 mengalami masalah. Selain itu, tidak akan ada trafo yang *overload* karena penambahan beban yang signifikan, karena trafo 2 tidak diberi beban/penyulang. Selain itu, jika kenaikan kebutuhan listrik masyarakat di sekitar GI Pulomas meningkat dengan drastis, maka GI Pulomas masih akan tetap dapat menyuplainya karena penambahan trafo baru tersebut. Sementara kelemahannya, skenario ini jelas membutuhkan biaya yang tidak sedikit mengingat harga satu transformator baru sangat mahal.

4.3.4 Skenario 4 Perencanaan Penyesuaian Beban Transformator

Pada skenario terakhir ini, tidak terjadi penambahan trafo. Penyulang dari trafo 1 dan 3 tetap akan dipindah ke trafo 2. Penyulang yang akan dipilih untuk dipindah merupakan penyulang-penyulang yang bebannya tergolong besar dan dengan beban rumah tangga terbanyak.

Tabel 4.36 Penyulang yang Akan dipindah ke Trafo 2 Skenario 4

No.	Nama Penyulang	Trafo Asal
1.	Parkit	1
2.	PAM 2	1
3.	Tekukur	3

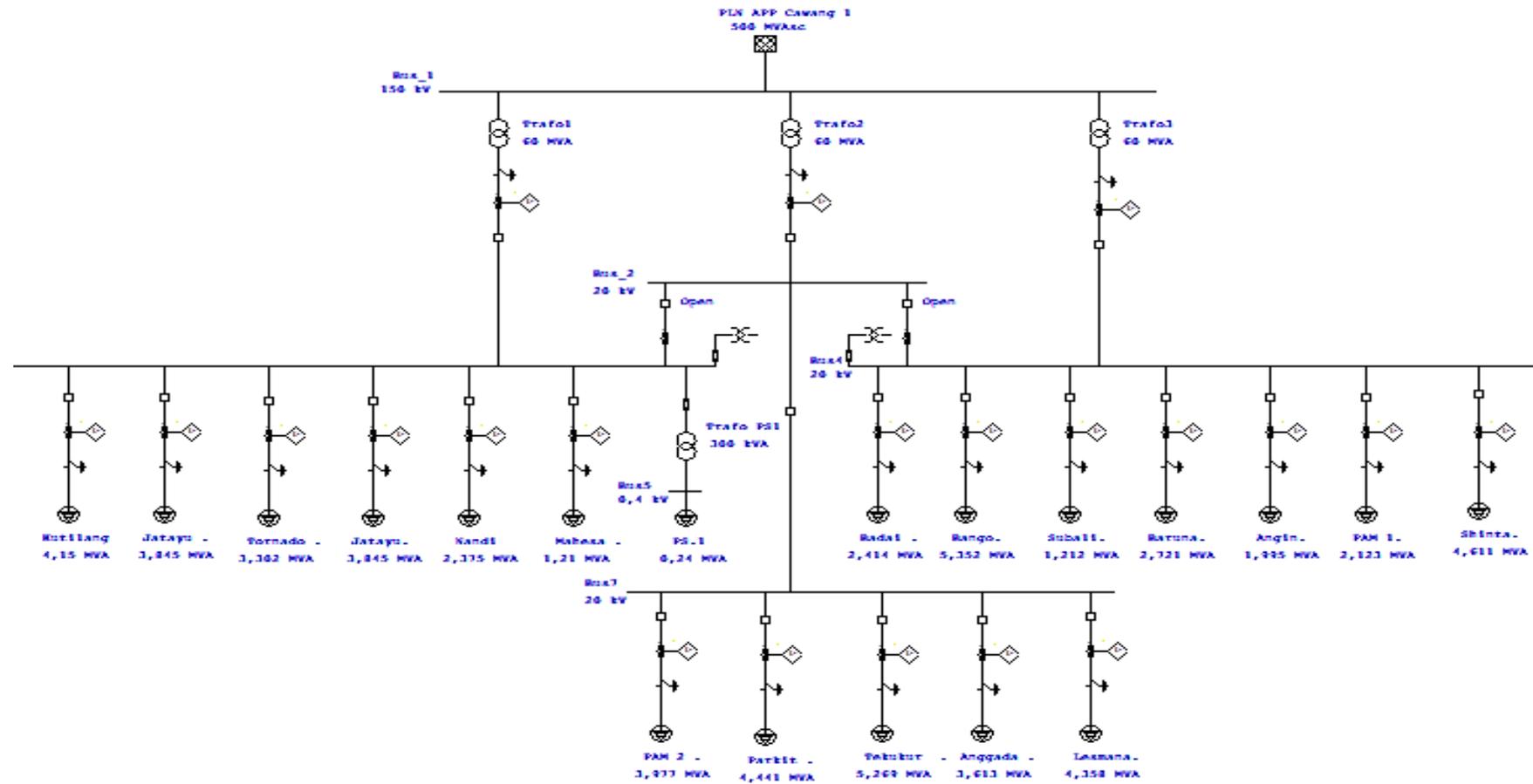
Tabel 4.36 (Lanjutan)

No.	Nama Penyulang	Trafo Asal
4.	Anggada	3
5.	Lesmana	3

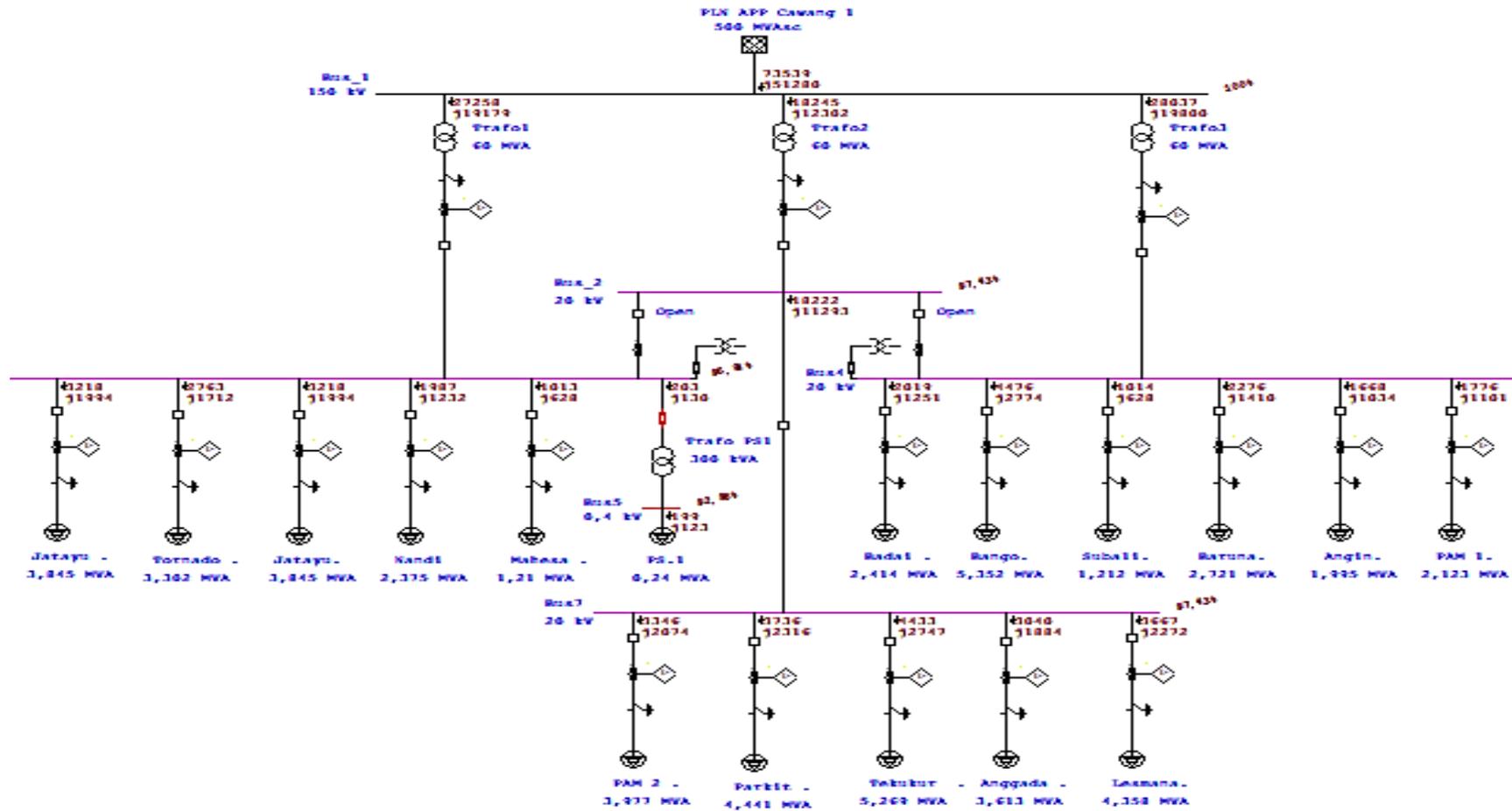
Hanya lima penyulang yang dipilih untuk menghindari kelemahan pada skenario 1 dan 2. PAM 2 pun dipilih karena merupakan *critical load* dan beban keempat terbesar di trafo 1 berdasarkan data pada tabel 4.19.

Setelah diketahui penyulang yang mana saja yang akan dipindah, selanjutnya dilakukan kembali simulasi aliran daya pada ETAP 12.6 untuk diketahui perubahan yang terjadi pada kondisi pembebanan dan rugi dayanya. Single line ETAP 12.6 skenario 2 ini dapat dilihat pada gambar 4.39 dan lengkapnya pada lampiran 16.

Selain itu, alasan hanya 5 penyulang yang dipindah ke trafo 2 yaitu karena mengantisipasi naiknya kebutuhan listrik masyarakat yang membuat harus diadakannya penyulang baru. Single line pun tidak banyak berubah yang dapat dilihat dengan tetap adanya fuse 1 (seksi 1) dan fuse 2 (seksi 2) agar ketiga trafo tetap terhubung satu sama lain secara paralel. Perubahan hanya pada 6 penyulang yang berpindah. Setelah simulasi tersebut berhasil dijalankan seperti pada gambar 4.40 (lengkapnya pada lampiran 17), maka didapatkan hasil yang dijabarkan pada tabel 4.37 dan 4.38 (lengkapnya pada lampiran 18).



Gambar 4.39 Single Line Diagram ETAP 12.6 Skenario 4
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Gambar 4.40 Single Line Diagram ETAP 12.6 Skenario 4
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Tabel 4.39 Data Bus Loading Hasil Simulasi Skenario 4 ETAP 12.6

No.	Bus	kV	%Voltage	MVA	Amp	%PF
1.	Bus 1	150	100	89,653	345,1	82,2
2.	Bus 2	20	97,425	21,428	635,2	85,0
3.	Bus 3	20	96,041	32,009	962,1	85,0
4.	Bus 4	20	95,919	32,923	990,8	85,0
5.	Bus 5	0,4	92,982	0,234	362,9	85,0
6.	Bus 6	0,4	92,856	0,233	363,2	85,0
7.	Bus 7	20	97,425	21,438	635,2	85,0

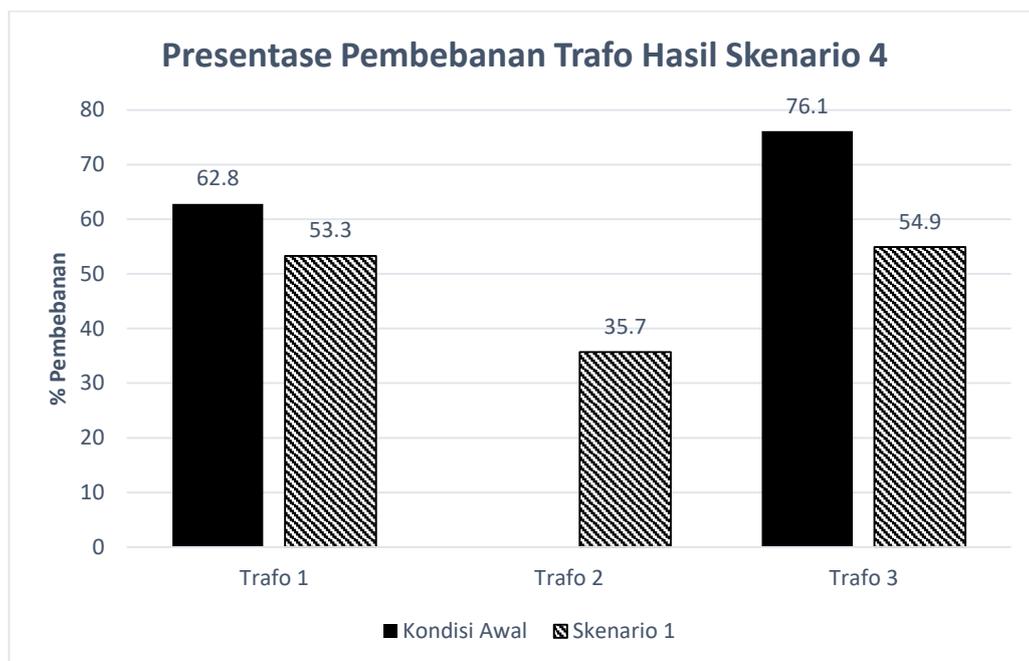
Tabel 4.40 Data Branch Loading dan Losses Hasil Simulasi Skenario 4 ETAP 12.6

No.	Trafo	Loading (Output)		From-To Bus Flow		Losses		%Drop Vmag
		MVA	%	MW	Mvar	kW	kVAr	kVA
1.	Trafo 1	32,009	53,3	27,258	19,179	51,4	2313,6	3,96
2.	Trafo 2	21,438	35,7	18,245	12,302	22,4	1008,5	2,57
3.	Trafo 3	32,923	54,9	28,037	19,800	54,5	2453,8	4,08
4.	Trafo PS.1	0,234	77,9	0,204	0,130	4,7	7	3,06
5.	Trafo PS.2	0,234	77,9	0,203	0,130	4,7	7	3,06
Total						137,7	5789,9	

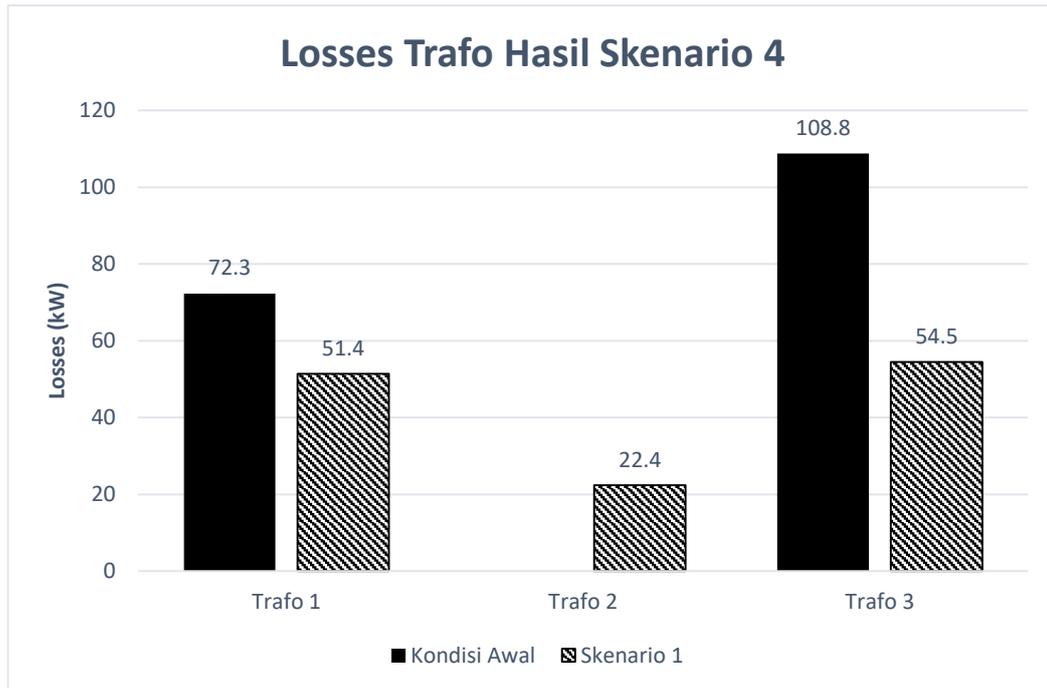
Sama halnya seperti yang terjadi di skenario 1 dan 2, pada skenario 4 terlihat dari tabel 4.39 terdapat penambahan satu bus baru yaitu bus 7 yang merupakan penghubung antara trafo 2 dengan penyulang-penyulangannya. Beban bus 7 mencapai

21,438 MVA dari maksimal 60 MVA atau 635,2 A dari maksimal 1732,1 A. Bus 2 yang pada kondisi awal tidak berbeban pun menjadi memiliki beban yang besarnya sama dengan bus 7 karena ke dua bus ini saling berhubungan dan sama-sama mendapat suplai dari trafo 2. Seksi 1 dan seksi 2 pun masih ada pada sistem di skenario 2 ini. Jika kita bandingkan tabel 4.39 dengan tabel 4.19 yang merupakan penjabaran hasil simulasi ETAP pada kondisi awal, maka dapat terlihat penurunan beban pada bus 3 dan 4.

Sedangkan pada tabel 4.40 terlihat penurunan presentase pembebanan pada trafo 1 dan 3 jika dibandingkan dengan tabel 4.20. Untuk trafo 1 terjadi penurunan sebesar 9,5% karena 2 penyulangannya telah dipindah ke trafo 2, dan untuk trafo 3 terjadi penurunan yang lebih besar yaitu mencapai 40,4% setelah 4 penyulangannya juga menjadi tanggungan trafo 2. Begitupun dengan *losses* pada trafo 1 yang turun sebesar 20,9 kW dan trafo 2 turun sebesar 86,4 kW. Penyajian dalam bentuk grafik dapat dilihat pada gambar 4.41 dan gambar 4.42.



Gambar 4.41 Pembebanan Trafo 1 dan 2 Hasil Skenario 4



Gambar 4.42. Losses Trafo Hasil Skenario 4

Maka persentase total *losses* skenario 2 hasil simulasi ETAP pada tabel 4.40 dapat dihitung dengan persamaan 4.8 dengan terlebih dahulu menghitung daya semunya dengan persamaan 4.7.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$S = \sqrt{137,7^2 + 5789,9^2}$$

$$S = 5791,54 \text{ kVA}$$

Sehingga perhitungan total *losses* menjadi sebagai berikut:

$$\% \text{ Losses} = \frac{\Delta S}{S_{\text{Kirim}}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Losses} = \frac{5791,54 \text{ kVA}}{60000 \text{ kVA}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Losses} = 9,65\%$$

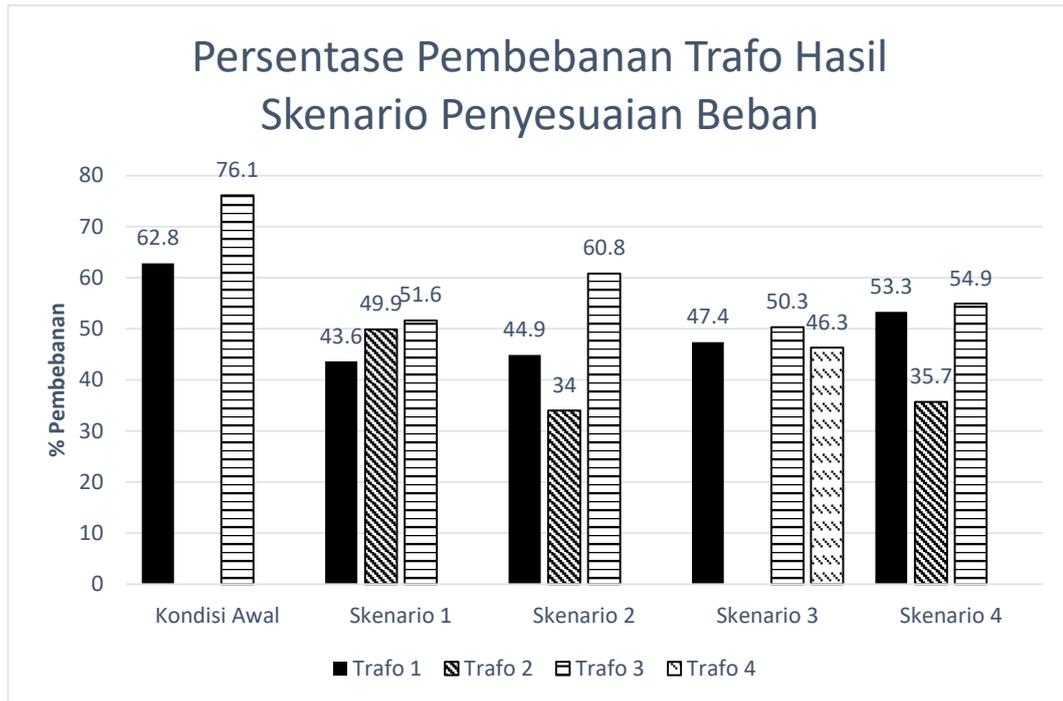
Terdapat penurunan sebesar 3,96% dari kondisi awal sehingga jika mengacu pada SPLN No.72 tahun 1987 dimana rugi daya yang diizinkan dalam jaringan

distribusi 20 Kv adalah 10%, maka % *losses* pada skenario 2 pun sudah sesuai dengan standar yang ditetapkan. Begitu pula dengan presentase pembebanan baik trafo 1, 2, dan 3 tidak ada yang masuk dalam kondisi *overload* atau bahkan mendekati *overload*.

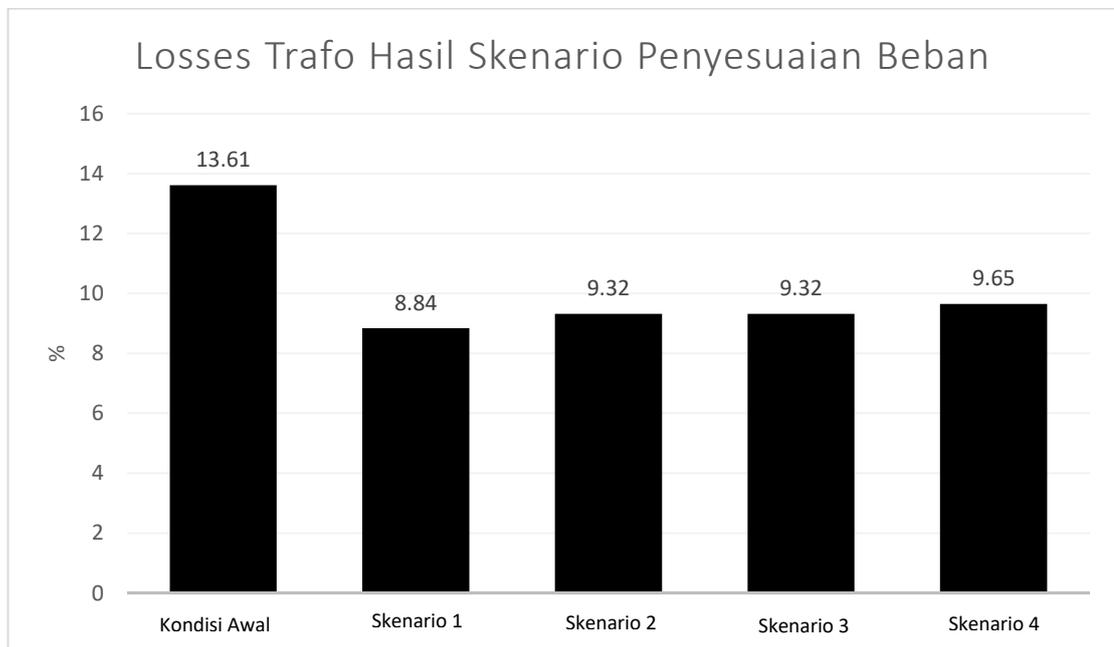
Kelebihan skenario ini yaitu jika trafo 1 atau 3 mengalami masalah sehingga suplai listrik ke beban terhenti, trafo 2 tidak akan mengalami kenaikan beban sebesar skenario 1 atau 2. Sementara kelebihan lainnya yaitu jika trafo 2 mengalami gangguan sehingga tidak dapat beroperasi, maka kerugian yang akan dialami tidak signifikan skenario 1 karena pada skenario 2, penyulang yang dipindah ke trafo 2 tidak semuanya merupakan penyulang dengan *critical load* sehingga tidak akan terlalu mengganggu kegiatan perekonomian.

4.3.5 Rekomendasi Skenario Penyesuaian Beban Transformator

Perencanaan penyesuaian beban trafo dengan memindahkan beberapa penyulang trafo 1 dan 3 ke trafo/sumber lain dilakukan dalam rangka meminimalisir kerugian yang disebabkan oleh trafo *overload*. Dibuat 4 skenario perencanaan yang berdasar pada teori keandalan dan sifat beban listrik untuk kemudian disimulasikan pada *software* ETAP 12.6 agar didapat gambaran kondisi pembebanan dan rugi dayanya. Pada gambar 4.43 berikut ini hasil dari kondisi awal beserta keempat skenario dijabarkan dalam bentuk grafik.



Gambar 4.43 Grafik Persentase Pembebanan Trafo Hasil Skenario Penyesuaian Beban



Gambar 4.44 Grafik *Losses* Total Hasil Skenario Penyesuaian Beban

Dengan mempertimbangkan hasil simulasi di atas ditambah dengan beberapa faktor, maka rekomendasi skenario yang dapat dipilih berdasarkan jangka waktu adalah:

4.3.5.1. Jangka Pendek

Dengan kelebihan dan kekurangan yang sudah dijelaskan pada subbab 4.3.2, maka skenario 2 adalah skenario terbaik untuk jangka pendek. Meskipun penurunan persentase pembebanan dan rugi daya lebih besar pada skenario 1 namun pemilihan penyulang yang hampir semuanya merupakan *critical load* berfluktuasi tinggi berpotensi menimbulkan kerugian yang lebih besar karena beban industri yang akan terganggu kontinuitasnya.

4.3.5.2. Jangka Panjang

Dengan kelebihan dan kekurangan yang sudah dijelaskan pada subbab 4.3.3, maka skenario 3 adalah skenario terbaik untuk jangka panjang karena dengan ditambahkannya satu trafo baru, meskipun biaya yang dikeluarkan akan besar, tapi Gardu Induk Pulomas akan dapat mengantisipasi kenaikan kebutuhan listrik konsumen dalam jangka panjang. Selain itu, kontinuitas pemasokan listrik ke konsumen Gardu Induk Pulomas juga akan lebih terjamin dengan adanya trafo baru yang tidak dibebani, melainkan hanya untuk cadangan jika trafo lain mengalami gangguan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Simulasi aliran daya (*load flow*) ETAP 12.6 sistem distribusi sekunder Gardu Induk Pulomas sisi 20 kV dijalankan sesuai kondisi ril dengan beban rata-rata (*average load*) bulan Oktober 2017 saat kondisi normal (trafo 1 dan 3 bekerja normal). Hasil perhitungan manual menggunakan rumus yang tidak terlampau jauh dengan hasil simulasi ETAP yaitu rata-rata selisihnya hanya 2% menunjukkan bahwa hasil simulasi ETAP valid.
2. Pada kondisi normal dengan beban rata-rata, beban trafo 3 mencapai 76,1% dengan *losses* sebesar 108,8 kW yang berarti lebih besar dari beban trafo 1 yang mencapai 62,8% dengan *losses* sebesar 72,3 kW. Hal tersebut sesuai dengan pendapat Linsley (2004: 162) bahwa rugi-rugi tembaga berbanding lurus dengan besarnya beban sehingga meningkatnya arus beban akan meningkatkan rugi-rugi tembaga dan mengantisipasi naiknya kebutuhan listrik konsumen.
3. Setelah dilakukan simulasi terhadap 4 skenario yang sudah dibuat, maka untuk jangka pendek, skenario yang direkomendasikan adalah skenario 2 yang pembebanan trafo 1 sebesar 44,9%, trafo 2 49,9%, dan trafo 3 60,8% serta rugi daya total sebesar 8,84 %. Sementara untuk jangka panjang, skenario yang direkomendasikan adalah skenario 3 yang pembebanan trafo 1 sebesar 47,4%, trafo 3 50,3, dan trafo 4 46,3% serta rugi daya total sebesar 9,32 %. Pada skenario 3 juga dilakukan penambahan trafo untuk mengantisipasi pertumbuhan kebutuhan listrik konsumen di masa yang akan datang.

5.2. Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada sistem distribusi sekunder Gardu Induk Pulomas disarankan:

1. Untuk lebih terasip lagi data-data beban harian trafo maupun penyulang tahun-tahun sebelumnya agar dapat dilakukan penelitian lebih lanjut dengan meramalkan beban puncak beberapa tahun ke depan sehingga dapat dijadikan pertimbangan dalam perencanaan penyesuaian beban trafo. Misalnya pengarsipan data dengan sistem *online* berbasis *website*.
2. Untuk lebih segera dilakukannya pembaharuan diagram-diagram maupun data-data lain yang berubah agar kondisi sistem lebih terpantau dengan baik.
3. Untuk mengadakan penelitian lebih lanjut dengan waktu penelitian yang lebih panjang, agar mendapatkan data yang lengkap dan representatif.

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, Salwin. (2008). Variabel Tegangan Terhadap *Electroplating* Pada Alat Penyepuh Logam. *Poli Rekayasa*, 4(1): 44.
- Berahim, Hamzah. (1996). *Teknik Tenaga Listrik: Teori Ringkas dan Penyelesaian Soal*. Andi Offset: Yogyakarta.
- Daryanto. (2008). *Pengetahuan Teknik Listrik*. Jakarta: Bumi Aksara
- Daryanto. (2010). *Keterampilan Kejuruan Teknik Listrik*. PT Sarana Tutorial Nurani Sejahtera: Bandung.
- Edminister, J., Nahvi, & Mahmood. (2003) *Schaum's Outlines: Rangkaian Listrik Edisi Keempat*. Erlangga: Jakarta.
- [FT] Fakultas Teknik. 2009. *Pedoman Penulisan Skripsi*. Jakarta: Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta.
- <http://mtrpagi.blogspot.co.id/2012/09/pengetahuan-dasar-gardu-induk-20-kv.html>
diakses pada Juni 2017
- <http://artikel-teknologi.com/pengertian-beban-resistif-induktif-dan-kapasitif-pada-jaringan-listrik-ac/> diakses pada Juni 2017
- <http://artikel-teknologi.com/pengertian-beban-resistif-induktif-dan-kapasitif-pada-jaringan-listrik-ac/> diakses pada Juni 2017
- Kawihing, A. A., Tuegeh, M., Patras, L. S., Pakiding, M. (2013). Pemerataan Beban Transformator pada Saluran Distribusi Sekunder. *E-journal Teknik Elektro & Komputer*: 1
- Kongah, D., Sarjan, M., Mukhlis, B. (2014). Analisis Pembebanan Transformator Gardu Selatan Kampus Universitas Tadukalo. *Jurnal MEKTRIK*, 1(1): 2.
- Lilikwatil, Yakob. (2014). *Mesin-Mesin Listrik untuk Program D3*. Yogyakarta: Deepublish.
- Materi Diklat Pemeliharaan Trafo Tenaga: PT PLN (Persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan.
- Rijono, Yon, Drs. (1997). *Dasar Teknik Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Andi Offset.

- Sarli, W., *et al.* (2007). *SPLN D3.002-1: 2007*. PT. PLN (Persero): Jakarta.
- Soleh, Muhammad. (2014). Desain Sistem SCADA Untuk Peningkatan Pelayanan Dan Efisiensi Operasional Sistem Tenaga Listrik di APJ Cirebon. *Jurnal TIK*, 5(1): 27.
- Sudirham, Sudaryatno. (2011). *Transformator*. Institut Teknologi Bandung: Bandung.
- Sugiyono. (2005). *Memahami Penelitian Kualitatif*. Bandung: Alfabeta.
- Sumanto, Drs. (1996). *Teori Transformator*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Suswanto, Daman. (2009). Sistem Distribusi Tenaga Listrik. *Jurnal Universitas Negeri Padang*.
- Suyitno. (2011). *Pembangkit Energi Listrik*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Theraja, B. L., & Theraja, A. K. (2005). *A Textbook of Electrical Technology Volume II: AC & DC Machines*. New Delhi: S. Chand & Company Ltd.
- UU Nomor 20 Tahun 2002, Tentang Ketenaga Listrikan.
- Veny, Wulandari. (2009). *Perencanaan Pembebanan Daya pada Trafo Distribusi 20 kV*. Universitas Negeri Malang.
- Zuhal. (1988). *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Gramedia Pustaka Utama: Jakarta.
- Zuhal & Zhanggischan. (2004). *Prinsip Dasar Elektronik*. Gramedia Pustaka Utama: Jakarta.

LAMPIRAN-LAMPIRAN

LAMPIRAN 1. SPESIFIKASI PERALATAN GARDU INDUK PULOMAS

1. TRANSFORMATOR TENAGA

MERK	PAUWELS	FASA	3
SERIAL NUMBER	96P00	SIMBOL KONEKSI	YnynD+d
TAHUN	1997	HIGH VOLTAGE	150 kV
STANDAR	IEC 76	LOW VOLTAGE	20 kV
KAPASITAS DAYA	60 MVA	ARUS NOMINAL	1732.1 A
COOLING	ONAN/ONAF/70/100%	JENIS MINYAK	IEC 296

2. TRANSFORMATOR TENAGA PEMAKAIAN SENDIRI

MERK	UNINDO	FASA	3
SERIAL NUMBER	70784	SIMBOL KONEKSI	Dyn5
TAHUN	1998	HIGH VOLTAGE	20 kV
STANDAR	IEC 76	LOW VOLTAGE	400 V
KAPASITAS DAYA	300 KVA	ARUS NOMINAL	433,53 A
COOLING	ONAN/ONAF/70/100%	JENIS MINYAK	IEC 53

3. CIRCUIT BREAKER KUBIKEL 20 kV

MERK	MERLIN GERIN	ARUS PENGENAL	630 A
TYPE SERI	FLUARC FG3	FREKUENSI	50 HZ
ARUS HUBUNG SINGKAT	25 kA	SEQ	0-0.3SEC-CO-3MIN-CO
TEGANGAN PENGENAL	24 Kv	TINGKAT PENGAMAN	IP 30
TEGANGAN KONTROL	110 VDC	JENIS	PASANG DALAM
DURASI HUBUNG SINGKAT	3 SEC	BERAT	250 KG

4. CURRENT TRANSFORMER

MERK	SADTEM
TYPE SERI	TCF3/ D
NO. SERI	97-894368
RASIO	400/5; 600/5; 800/5
CLASS CT	0.5 5P20
BURDEN	15 VA 15 VA
FREKUENSI	50 Hz

5. RELAY

MERK RELAY	THYTRONIC
TYPE SERI	NA.21 213010
JENIS	OVER CURRENT RELAY



Transformator Tenaga 1 Gardu Induk Pulomas

TRIP / MICRO SWITCH BREADDOWN | SPV COIL 1

PAUWELS
TRAFO ASIA

POWER TRANSFORMER

SERIAL NUMBER: 96900 / 37 CONTRACT NUMBER: 004. PT. PJP/922/1994/M

YEAR OF MANUFACTURE: 1997

STANDARD: IEC 76 TEMP. RISE BELOW 1000m ALTITUDE: 53 K

RATED POWER: 60 MVA AVERAGE WIND: 58 K

COOLING: ONAN/ONAF 70/100 % VACUUM: 100 %

FREQUENCY: 50 Hz WITHSTAND: 100 %

PHASES: 3 CAPABILITY: 100 %

INSULATION: LI 650 AC 275, LI - AC 38/50, LI - AC 50

LEVELS: LI - AC 38

CONNECTION SYMBOL: Yny0d

MAX. ALTITUDE: 1000 m

TAP CHANGER: MR - MS 111 300 - 72.5 + MA9

TAP	HV	VOLT	LV	MVA	SHORT CIRCUIT IMPEDANCE (%)
1	165750	20000	60	13.785	
8	150000	20000	60	12.935	
1B	127500	20000	60	11.812	

TAP	VOLT	AMPERE	MVA	CONNECTION TAP CHANGER
1	165750	209.0	60	2 - 13
2	163500	211.9	60	2 - 12
3	161250	214.8	60	2 - 11
4	159000	217.9	60	2 - 10
5	156750	221.0	60	2 - 9
6	154500	224.2	60	2 - 8
7	152250	227.5	60	2 - 7
8	150000	230.9	60	2 - 6
9a	147750	234.5	60	2 - 5
9b	147750	234.5	60	2 - 4
10	145500	238.1	60	2 - 13
11	143250	241.8	60	2 - 12
12	141000	245.7	60	2 - 11
13	138750	249.7	60	2 - 10
14	136500	253.8	60	2 - 9
15	134250	258.0	60	2 - 8
16	132000	262.4	60	2 - 7
17	129750	267.0	60	2 - 6
18	127500	271.7	60	2 - 5

HIGH VOLTAGE - TERMINALS : 1U - 1V - 1W - 1N

LOW VOLTAGE - TERMINALS : 2U - 2V - 2W - 2N

TERTIARY - TERMINALS : 3U2 - 3W1

TERMINALS : 3U2 - 3W1

VOLT AMPERE MVA

20000 1732.1 60

16013 416.3 x V3 20

Name Plate Transformator Tenaga 1



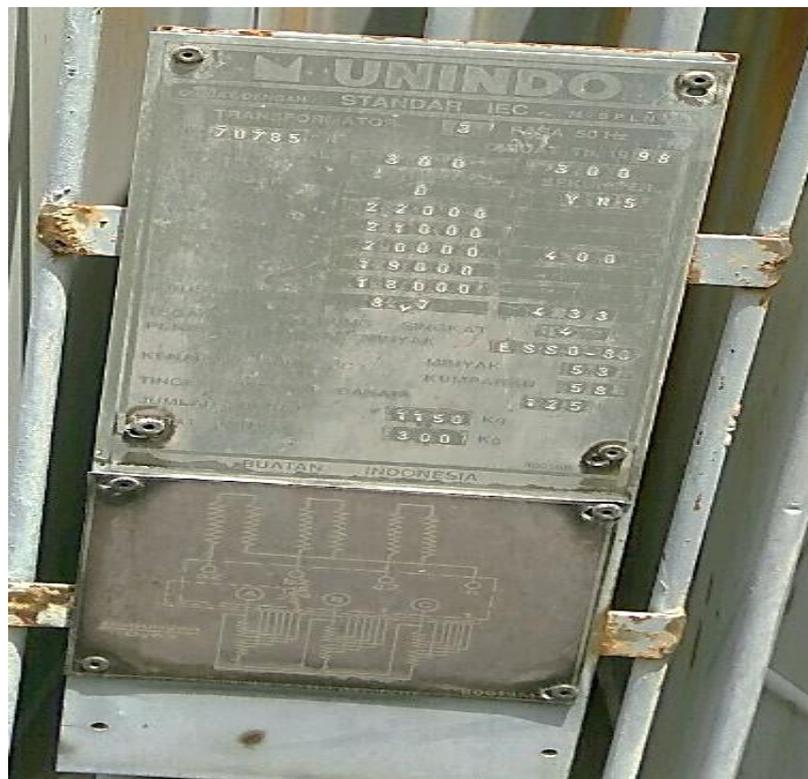
Transformator Tenaga 2 Gardu Induk Pulomas



Transformator Tenaga 3 Gardu Induk Pulomas



Transformator Tenaga Pemakaian Sendiri 1 Gardu Induk Pulomas



Name Plate Transformator Tenaga Pemakaian Sendiri 1 Gardu Induk Pulomas



Transformator Tenaga Pemakaian Sendiri 2 Gardu Induk Pulomas



Kubikel Tegangan Menengah 20 kV



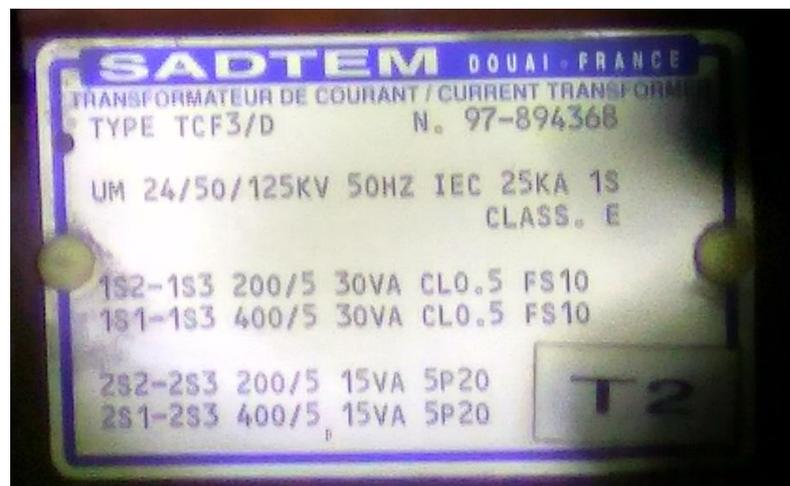
Kubikel *Outgoing* Penyulang Taksaka



Ampere Meter Kubikel *Outgoing* Penyulang



Name Plate Circuit Breaker



Name Plate Transformator Arus



Name Plate Kubikel Outgoing

**LAMPIRAN 2. BEBAN PUNCAK HARIAN
PENYULANG PADA TRANSFORMATOR 1
PADA BULAN OKTOBER 2017**



PT. PLN (PERSERO)

GARDU INDUK PULOMAS

Jln. Rawamangun Muka Selatan No.1, Pulogadung, Jakarta Timur

Beban Puncak Harian Penyulang Kumbara Bulan Oktober 2017

Tanggal	Beban (Ampere)	Tanggal	Beban (Ampere)
1	115	17	130
2	190	18	135
3	185	19	125
4	195	20	125
5	195	21	70
6	205	22	45
7	125	23	140
8	105	24	140
9	200	25	140
10	190	26	135
11	190	27	200
12	200	28	145
13	135	29	60
14	70	30	140
15	50	31	140
16	145	RATA-RATA	140.81

Beban Puncak Harian Penyulang Parkit Bulan Oktober 2017

Tanggal	Beban (Ampere)	Tanggal	Beban (Ampere)
1	105	17	165
2	160	18	160
3	155	19	155
4	155	20	160
5	160	21	105
6	165	22	105
7	110	23	170
8	100	24	100
9	160	25	95
10	155	26	90
11	160	27	90
12	155	28	90
13	160	29	90
14	105	30	60
15	105	31	65
16	165	RATA-RATA	128.23

Beban Puncak Harian Penyulang Kutilang Bulan Oktober 2017

Tanggal	Beban (Ampere)	Tanggal	Beban (Ampere)
1	85	17	120
2	140	18	125
3	140	19	125
4	145	20	125
5	140	21	80
6	145	22	70
7	100	23	135
8	90	24	130
9	145	25	125
10	135	26	150
11	125	27	145
12	125	28	85
13	120	29	85
14	75	30	145
15	75	31	150
16	135	RATA-RATA	119.84

Beban Puncak Harian Penyulang PAM 2 Bulan Oktober 2017

Tanggal	Beban (Ampere)	Tanggal	Beban (Ampere)
1	110	17	115
2	115	18	115
3	120	19	110
4	110	20	110
5	125	21	115
6	125	22	115
7	110	23	110
8	110	24	120
9	130	25	120
10	115	26	115
11	115	27	115
12	115	28	105
13	110	29	110
14	115	30	110
15	115	31	120
16	115	RATA-RATA	114.84

Beban Puncak Harian Penyulang Jatayu Bulan Oktober 2017

Tanggal	Beban (Ampere)	Tanggal	Beban (Ampere)
1	105	17	115
2	110	18	105
3	105	19	100
4	115	20	105
5	115	21	110
6	115	22	115
7	115	23	105
8	110	24	110
9	110	25	120
10	110	26	110
11	120	27	110
12	105	28	105
13	115	29	110
14	110	30	115
15	115	31	125
16	105	RATA-RATA	110.97

Beban Puncak Harian Penyulang Taksaka Bulan Oktober 2017

Tanggal	Beban (Ampere)	Tanggal	Beban (Ampere)
1	90	17	100
2	95	18	95
3	90	19	85
4	100	20	95
5	105	21	90
6	100	22	95
7	90	23	95
8	95	24	100
9	95	25	100
10	95	26	95
11	100	27	95
12	95	28	85
13	95	29	95
14	90	30	105
15	95	31	100
16	95	RATA-RATA	95.32

Beban Puncak Harian Penyulang Tornado Bulan Oktober 2017

Tanggal	Beban (Ampere)	Tanggal	Beban (Ampere)
1	95	17	95
2	95	18	95
3	90	19	80
4	100	20	90
5	100	21	95
6	100	22	100
7	95	23	90
8	100	24	95
9	95	25	100
10	100	26	95
11	100	27	95
12	90	28	90
13	95	29	95
14	95	30	100
15	100	31	100
16	90	RATA-RATA	95.32

Beban Puncak Harian Penyulang Sugriwa Bulan Oktober 2017

Tanggal	Beban (Ampere)	Tanggal	Beban (Ampere)
1	65	17	85
2	95	18	20
3	85	19	85
4	95	20	85
5	105	21	70
6	90	22	65
7	70	23	95
8	65	24	90
9	90	25	90
10	85	26	90
11	90	27	85
12	85	28	70
13	90	29	65
14	75	30	95
15	65	31	90
16	90	RATA-RATA	81.29

Beban Puncak Harian Penyulang Puntadewa Bulan Oktober 2017

Tanggal	Beban (Ampere)	Tanggal	Beban (Ampere)
1	35	17	20
2	60	18	180
3	15	19	65
4	45	20	20
5	85	21	15
6	40	22	40
7	85	23	75
8	30	24	70
9	95	25	105
10	90	26	80
11	90	27	85
12	85	28	135
13	85	29	115
14	135	30	60
15	50	31	80
16	25	RATA-RATA	70.81

Beban Puncak Harian Penyulang Nandi Bulan Oktober 2017

Tanggal	Beban (Ampere)	Tanggal	Beban (Ampere)
1	105	17	55
2	150	18	40
3	110	19	45
4	150	20	60
5	130	21	50
6	135	22	50
7	120	23	50
8	50	24	50
9	60	25	50
10	50	26	50
11	55	27	50
12	45	28	45
13	50	29	50
14	50	30	55
15	55	31	50
16	60	RATA-RATA	68.55

Beban Puncak Harian Penyulang Merpati Bulan Oktober 2017

Tanggal	Beban (Ampere)	Tanggal	Beban (Ampere)
1	85	17	35
2	85	18	35
3	85	19	30
4	90	20	35
5	125	21	35
6	115	22	35
7	0	23	35
8	0	24	35
9	0	25	40
10	0	26	35
11	40	27	35
12	35	28	35
13	35	29	30
14	35	30	30
15	40	31	15
16	35	RATA-RATA	41.94

Mengetahui,
Pembimbing Lapangan/Instruktur

Asrul Hardiyatno
Spv. GI Pulomas

**LAMPIRAN 3. BEBAN PUNCAK HARIAN
PENYULANG PADA TRANSFORMATOR 3
PADA BULAN OKTOBER 2017**



PT. PLN (PERSERO)

GARDU INDUK PULOMAS

Jln. Rawamangun Muka Selatan No.1, Pulogadung, Jakarta Timur

Beban Puncak Harian Penyulang Mahesa Bulan Oktober 2017

Tanggal	Beban (Ampere)	Tanggal	Beban (Ampere)
1	25	17	25
2	25	18	25
3	25	19	25
4	30	20	30
5	25	21	25
6	70	22	30
7	65	23	25
8	65	24	30
9	45	25	30
10	50	26	30
11	30	27	25
12	25	28	25
13	25	29	25
14	30	30	30
15	30	31	30
16	25	RATA-RATA	32.26

Beban Puncak Harian Penyulang Bango Bulan Oktober 2017

Tanggal	Beban (Ampere)	Tanggal	Beban (Ampere)
1	135	17	165
2	175	18	90
3	190	19	185
4	190	20	85
5	190	21	175
6	185	22	70
7	170	23	65
8	150	24	140
9	205	25	145
10	190	26	140
11	205	27	140
12	190	28	135
13	200	29	105
14	175	30	140
15	135	31	145
16	180	RATA-RATA	154,52

Beban Puncak Harian Penyulang Tekukur Bulan Oktober 2017

Tanggal	Beban (Ampere)	Tanggal	Beban (Ampere)
1	165	17	180
2	165	18	170
3	165	19	125
4	170	20	105
5	180	21	110
6	175	22	150
7	170	23	140
8	180	24	140
9	90	25	150
10	90	26	140
11	185	27	145
12	165	28	130
13	174	29	145
14	170	30	145
15	175	31	155
16	165	RATA-RATA	152.06

Beban Puncak Harian Penyulang Shinta Bulan Oktober 2017

Tanggal	Beban (Ampere)	Tanggal	Beban (Ampere)
1	135	17	150
2	155	18	145
3	140	19	135
4	155	20	150
5	155	21	145
6	150	22	145
7	150	23	145
8	150	24	155
9	75	25	150
10	80	26	150
11	80	27	140
12	75	28	135
13	85	29	145
14	75	30	135
15	145	31	150
16	145	RATA-RATA	133.06

Beban Puncak Harian Penyulang Lesmana Bulan Oktober 2017

Tanggal	Beban (Ampere)	Tanggal	Beban (Ampere)
1	105	17	130
2	135	18	125
3	130	19	125
4	130	20	130
5	135	21	120
6	115	22	110
7	115	23	140
8	110	24	135
9	140	25	135
10	130	26	135
11	135	27	135
12	130	28	115
13	130	29	105
14	105	30	135
15	110	31	135
16	135	RATA-RATA	125.81

Beban Puncak Harian Penyulang Kaswari Bulan Oktober 2017

Tanggal	Beban (Ampere)	Tanggal	Beban (Ampere)
1	105	17	120
2	100	18	100
3	110	19	100
4	120	20	115
5	125	21	115
6	105	22	100
7	110	23	115
8	115	24	120
9	120	25	120
10	105	26	100
11	120	27	110
12	110	28	100
13	115	29	110
14	95	30	110
15	115	31	120
16	115	RATA-RATA	110.97

Beban Puncak Harian Penyulang Anggada Bulan Oktober 2017

Tanggal	Beban (Ampere)	Tanggal	Beban (Ampere)
1	100	17	110
2	100	18	100
3	100	19	95
4	105	20	100
5	110	21	105
6	105	22	105
7	105	23	100
8	110	24	105
9	100	25	110
10	105	26	105
11	115	27	105
12	100	28	95
13	105	29	105
14	105	30	110
15	110	31	115
16	95	RATA-RATA	104.35

Beban Puncak Harian Penyulang Badai Bulan Oktober 2017

Tanggal	Beban (Ampere)	Tanggal	Beban (Ampere)
1	25	17	110
2	110	18	105
3	105	19	105
4	105	20	105
5	110	21	75
6	115	22	35
7	70	23	110
8	30	24	105
9	115	25	105
10	110	26	105
11	120	27	105
12	115	28	65
13	110	29	30
14	60	30	105
15	30	31	110
16	115	RATA-RATA	90.97

Beban Puncak Harian Penyulang Mamiri Bulan Oktober 2017

Tanggal	Beban (Ampere)	Tanggal	Beban (Ampere)
1	130	17	55
2	140	18	55
3	135	19	45
4	145	20	50
5	145	21	55
6	140	22	55
7	140	23	50
8	145	24	55
9	145	25	55
10	145	26	140
11	145	27	50
12	140	28	45
13	55	29	55
14	55	30	55
15	50	31	55
16	55	RATA-RATA	89.84

Beban Puncak Harian Penyulang Baruna Bulan Oktober 2017

Tanggal	Beban (Ampere)	Tanggal	Beban (Ampere)
1	55	17	85
2	85	18	55
3	90	19	80
4	90	20	85
5	90	21	60
6	90	22	55
7	65	23	95
8	55	24	90
9	90	25	90
10	85	26	85
11	90	27	85
12	90	28	60
13	90	29	55
14	60	30	90
15	60	31	90
16	90	RATA-RATA	78.55

Beban Puncak Harian Penyulang PAM 1 Bulan Oktober 2017

Tanggal	Beban (Ampere)	Tanggal	Beban (Ampere)
1	0	17	105
2	0	18	90
3	0	19	95
4	0	20	65
5	0	21	65
6	0	22	80
7	0	23	70
8	95	24	100
9	65	25	80
10	70	26	100
11	80	27	65
12	55	28	80
13	105	29	75
14	75	30	60
15	75	31	70
16	80	RATA-RATA	61.29

Beban Puncak Harian Penyulang Rahwana Bulan Oktober 2017

Tanggal	Beban (Ampere)	Tanggal	Beban (Ampere)
1	30	17	35
2	45	18	45
3	50	19	65
4	45	20	65
5	50	21	50
6	50	22	45
7	30	23	70
8	25	24	120
9	165	25	75
10	50	26	70
11	140	27	50
12	50	28	35
13	70	29	30
14	35	30	50
15	50	31	50
16	70	RATA-RATA	58.39

Beban Puncak Harian Penyulang Ramayana Bulan Oktober 2017

Tanggal	Beban (Ampere)	Tanggal	Beban (Ampere)
1	35	17	35
2	35	18	75
3	30	19	80
4	35	20	90
5	35	21	80
6	35	22	85
7	35	23	85
8	35	24	85
9	35	25	90
10	35	26	85
11	35	27	80
12	35	28	75
13	35	29	85
14	35	30	85
15	35	31	85
16	35	RATA-RATA	56.61

Beban Puncak Harian Penyulang Angin Bulan Oktober 2017

Tanggal	Beban (Ampere)	Tanggal	Beban (Ampere)
1	60	17	65
2	55	18	60
3	60	19	55
4	60	20	60
5	65	21	65
6	65	22	60
7	60	23	60
8	60	24	60
9	25	25	65
10	30	26	60
11	30	27	60
12	60	28	55
13	65	29	60
14	60	30	60
15	65	31	65
16	55	RATA-RATA	57.58

Beban Puncak Harian Penyulang Durna Bulan Oktober 2017

Tanggal	Beban (Ampere)	Tanggal	Beban (Ampere)
1	30	17	55
2	60	18	55
3	60	19	55
4	60	20	55
5	60	21	45
6	60	22	35
7	50	23	65
8	30	24	65
9	65	25	65
10	65	26	65
11	60	27	60
12	65	28	45
13	65	29	30
14	45	30	65
15	30	31	20
16	65	RATA-RATA	53.23

Beban Puncak Harian Penyulang Subali Bulan Oktober 2017

Tanggal	Beban (Ampere)	Tanggal	Beban (Ampere)
1	45	17	60
2	60	18	110
3	50	19	20
4	55	20	5
5	65	21	5
6	55	22	0
7	50	23	0
8	50	24	0
9	60	25	0
10	55	26	0
11	55	27	0
12	55	28	0
13	65	29	0
14	55	30	0
15	55	31	0
16	55	RATA-RATA	35.00

Pembimbing Lapangan/Instruktur

Asrul Hardiyatno
Spv. GI Pulomas

**LAMPIRAN 4. *SINGLE LINE* DIAGRAM
GARDU INDUK PULOMAS SISI 20 KV PADA
ETAP 12.6**

SINGLE LINE

**LAMPIRAN 5. *LOAD FLOW* GARDU INDUK
PULOMAS SISI 20 KV PADA ETAP 12.6**

LOAD FLOW

**LAMPIRAN 6. HASIL SIMULASI *LOAD FLOW*
GARDU INDUK PULOMAS SISI 20 KV PADA
ETAP 12.6**

HASIL Simulasi

**LAMPIRAN 7. *SINGLE LINE* DIAGRAM
SKENARIO 1 PADA ETAP 12.6**

SINGLE LINE

**LAMPIRAN 8. *LOAD FLOW* SKENARIO 1 PADA
ETAP 12.6**

LOAD FLOW

**LAMPIRAN 9. HASIL SIMULASI *LOAD FLOW*
SKENARIO 1 PADA ETAP 12.6**

HASIL Simulasi

**LAMPIRAN 10. *SINGLE LINE* DIAGRAM
SKENARIO 2 PADA ETAP 12.6**

SINGLE LINE

**LAMPIRAN 11. *LOAD FLOW* SKENARIO 2
PADA ETAP 12.6**

LOAD FLOW

**LAMPIRAN 12. HASIL SIMULASI *LOAD FLOW*
SKENARIO 2 PADA ETAP 12.6**

HASIL Simulasi

**LAMPIRAN 13. *SINGLE LINE* DIAGRAM
SKENARIO 3 PADA ETAP 12.6**

SINGLE LINE

**LAMPIRAN 14. *LOAD FLOW* SKENARIO 3
PADA ETAP 12.6**

LOAD FLOW

**LAMPIRAN 15. HASIL SIMULASI *LOAD FLOW*
SKENARIO 3 PADA ETAP 12.6**

HASIL Simulasi

**LAMPIRAN 16. *SINGLE LINE* DIAGRAM
SKENARIO 4 PADA ETAP 12.6**

SINGLE LINE

**LAMPIRAN 17. *LOAD FLOW* SKENARIO 4
PADA ETAP 12.6**

LOAD FLOW

**LAMPIRAN 18. HASIL SIMULASI *LOAD FLOW*
SKENARIO 4 PADA ETAP 12.6**

HASIL Simulasi

LAMPIRAN 19. SURAT-SURAT



"YAYASAN ARDHYA GARINI"
PENGURUS CABANG LANUD HALIM PERDANAKUSUMA

SMK ANGKASA 1
KELOMPOK TEKNOLOGI DAN REKAYASA
TERAKREDITASI : "A"

Jl. Rajawali Raya Halim Perdanakusuma Jakarta Timur, Telp. 021 8019249, 70779249
 Fax : 021 80871231, E-mail : www.smkangkasa1@yahoo.co.id, Web : www.smkangkasa1jkt.com
 NPSN : 20103274 ; NSS : 322016404008 ; NIS : 40056

Nomor : 1503 / SMK ANGK. I / III / 2017 Jakarta, 16 Maret 2017
 Lamp. : -
 Perihal : Surat Keterangan

Kepada Yth,
 Universitas Negeri Jakarta

Dengan hormat,

Sehubungan dengan telah dilaksanakan Praktek Kegiatan Mengajar (PKM) di SMK Angkasa 1 Jakarta dalam rangka persiapan penulisan karya ilmiah/skripsi/tugas akhir yang merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi akhir pada Universitas Negeri Jakarta, maka dengan ini kami Kepala SMK Angkasa 1 Jakarta menerangkan bahwa :

Nama : Luthfiah Mamluatul Inayah
 Tempat, Tgl Lahir : Jakarta, 31 Maret 1995
 Noreg : 5115136230
 Jurusan : Pend. Teknik Elektro

Telah melaksanakan Praktek Kegiatan Mengajar (PKM) pada bulan September sampai dengan Desember 2016 .

Demikian surat keterangan ini kami sampaikan, untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Hormat kami,

SMK Angkasa 1 Jakarta



Huda, S.T

NIP: ---



SERTIFIKAT

No. 067/LCU/HRD/VIII/2016

Diberikan Kepada

LUTHFIAH MAMLUATUL INAYAH

Atas keikutsertaannya dalam kegiatan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT. Laskar CiptaUTama pada tanggal 18 Juli 2016 sampai dengan 18 Agustus 2016.

Manager Teknik

M. TAMIN
NIK : 201404137

Human Resources Development (HRD)

ANGSORI RAHARDJO
NIK : 201404124

PT. LASKAR CIPATAUTAMA



**PT PLN (PERSERO)
TRANSMISI JAWA BAGIAN BARAT
AREA PELAKSANA PEMELIHARAAN CAWANG**

Jl. Cililitan Besar No. 1 Cawang Cililitan, Jakarta Timur 13640
Telepon : (021) 8092208

Facsimile : (021) 8091264

SURAT KETERANGAN

No : 0005.SKt/SDM.04.09/APP CWNG/2018

PT PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Barat Area Pemeliharaan Cawang,
menerangkan bahwa yang tersebut dibawah ini :

No.	N a m a	No.Registrasi	Program Studi
1.	Luthfiah Mamluatul Inayah	5115136230	Teknik Elektro

Mahasiswa Universitas Negeri Jakarta, telah menyelesaikan Penelitian di PT PLN (Persero) Transmisi Jawa Bagian Barat Area Pelaksana Pemeliharaan Cawang, Bidang Haset Basecamp Cawang.

Demikian Surat Keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Jakarta, 09 Januari 2018

MANAJER,

u.b

PLN ASMAK ADMINISTRASI DAN UMUM



RIWAYAT HIDUP



Luthfiah Mamluatul Inayah, lahir di Jakarta, 31 Maret 1995. Anak keempat dari Bapak Rachmat dan Ibu Asiah. Bertempat tinggal di Jalan Gorda No.22 RT 02 RW 01, Kelurahan Lubang Buaya, Kecamatan Cipayung, Jakarta Timur, 13810. Selama melaksanakan perkuliahan di Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta, Peneliti memiliki pengalaman Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT. Laskar Cipta Utama yang merupakan perusahaan Mekanikal Elektrikal salah satu mitra kerja PT. PLN (Persero) pada bulan Juli-Agustus 2016 dan Praktik Keterampilan Mengajar (PKM) di Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) Angkasa 1 Jakarta pada bulan Agustus-Desember 2016.

Riwayat Pendidikan: SDN Lubang Buaya 01 Pagi (2001-2007), SMPN 81 Jakarta pada tahun (2007-2010), SMAN 113 Jakarta (2010-2013) dan melanjutkan pendidikan di Universitas Negeri Jakarta, Fakultas Teknik, Program Studi Pendidikan Teknik Elektro pada tahun 2013.

Riwayat Organisasi: Awal masuk kuliah, peneliti telah mengikuti kegiatan organisasi maupun acara di kampus diantaranya Divisi Acara KPU Jurusan Teknik Elektro (2013-2014). Sekretaris II Badan Eksekutif Mahasiswa Fakultas Teknik UNJ (2016-2017), panitia acara *Blue Festival* Fakultas Teknik sebagai Sekretaris I (2016). Staff Divisi Jurnalistik Departemen Komunikasi & Informasi Badan Eksekutif Mahasiswa Universitas Negeri Jakarta (2017).

Di akhir masa perkuliahan, peneliti telah menyelesaikan penelitian berjudul “Analisis Penyesuaian Beban pada Transformator Gardu Induk (Studi pada Gardu Induk Pulomas PT. PLN (Persero))”. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan pengetahuan serta kontribusi positif terhadap penelitian pada bidang Distribusi Listrik.

