



**ANALISIS SUSUT ENERGI AKIBAT PEMBEBANAN TIDAK
SEIMBANG DENGAN MENGGUNAKAN INOVASI MPR
(MENGURANGI SUSUT TEKNIS DARI PENYAMBUNGAN
RUMAH) GUNA MENURUNKAN ARUS NETRAL TRAFU
DISTRIBUSI 20 KV DI PT PLN (PERSERO)
ULP BLANGPIDIE UIW ACEH**

Disusun dan diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menempuh Ujian Akhir
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada Fakultas Sains Dan Teknologi
Universitas Pembangunan Panca Budi

SKRIPSI

OLEH :

NAMA : AHMAD SUTOPO
NPM 1724210402
PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO
PEMINATAN : TEKNIK ENERGI LISTRIK

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN PANCA BUDI
MEDAN
2020

ANALISIS SUSUT ENERGI AKIBAT PEMBEBANAN TIDAK SEIMBANG DENGAN MENGGUNAKAN INOVASI MPR (MENGURANGI SUSUT TEKNIS DARI PENYAMBUNGAN RUMAH) GUNA MENURUNKAN ARUS NETRALTRAFO DISTRIBUSI 20 KV DI PT PLN (PERSERO) ULP BLANGPIDIE UIW ACEH

Disusun dan diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menempuh Ujian Akhir
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada Fakultas Sains Dan Teknologi
Universitas Pembangunan Panca Budi


SKRIPSI

OLEH

NAMA : AHMAD SUTOPO
NPM 1724210402
PROGRAM STUDI : TEKNIK ELEKTRO
PEMINATAN : TEKNIK ENERGI LISTRIK

Diketahui dan Disetujui Oleh :

Dosen Pembimbing I


Adi Sastra P Tarigan, S.T., M.T

Dosen Pembimbing II


Amani Darma Tarigan, S.T., M.T

Diketahui Dan Disahkan Oleh :

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi



Hamdani, S.T., M.T

Ketua Program Studi


Siti Anisah, S.T., M.T

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa , atas segala nikmat, karunia dan kesempatan yang telah diberikan sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini dengan judul Analisis susut energi akibat pembebanan tidak seimbang dengan menggunakan inovasi MPR (mengurangi susut teknis dari penyambungan rumah) guna menurunkan arus netral trafo distribusi 20 kV di PT PLN (Persero) ULP Blangpidie UIW Aceh

Selesainya laporan ini tidak terlepas dari bantuan serta dukungan dari berbagai pihak, untuk itu penulis menyampaikan ungkapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr.H.M.Isa Indrawan, S.E,M.M selaku Rektor Universitas Pembangunan Panca Budi.
2. Bapak Hamdani, S.T,M.T selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi.
3. Ibu Siti Anisa, S.T,M.T selaku Ketua Prodi Studi Teknik Elektro Universitas Pembangunan Panca Budi.
4. Bapak Adi Sastra Pengalaman Tarigan, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing I Skripsi.
5. Bapak Amani Darma Tarigan, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing II Skripsi.
6. Seluruh Dosen Teknik Elektro yang telah menjadi inspirasi dan membantu penulis dalam pembuatan laporan.
7. Seluruh Pegawai di Departemen Teknik Elektro Universitas Pancabudi.
8. Orang tua tercinta, yang telah memberikan segalanya hingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan.

9. Terima kasih Istriku Karina Kristianti dan Anakku Aldelio Krisuta Althaf serta Keluarga yang telah memotivasi penulis menyelesaikan Tugas Akhir.
10. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung selama menjalani masa perkuliahan di Universitas Pembangunan Panca Budi .

Akhirnya, dengan segala kerendahan hati penulis menyadari masih banyak terdapat kekurangan pada laporan Tugas Akhir ini sehingga penulis mengharapkan adanya saran dan kritik yang bersifat membangun demi kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

Medan, November 2020

**Ahmad Sutopo
1724210402**

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

ABSTRAK

ASTRACT

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vii

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Metode Penelitian	4
1.7 Sistematika Penulisan	5

BAB 2 LANDASAN TEORI

7	2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik.....	7
	2.2 Komponen Jaringan Distribusi.....	8
	2.2.1 Gardu Induk.....	8
	2.2.2 Jaringan Tegangan Menengah (JTM)	9
	2.2.3 Gadu Distribusi (GD).....	14
	2.3 Trafo Distribusi	18
	2.3.1 Sistem 3 Fase Trafo Distribusi 20 kV	19
	2.3.2 Kapasitas Trafo Distribusi 20 kV	19
	2.4 Susut Energi	21
	2.4.1 Susut Energi Trafo Distribusi.....	22
	2.4.2 Susut Akibat Ketidakseimbangan Trafo Distribusi.....	24
	2.5 Keseimbangan dan Ketidakseimbangan Trafo Distribusi 20 kV	21
	2.5.1 Keseimbangan Trafo Distribusi 20 kV.....	22
	2.5.2 Ketidakseimbangan Trafo Distribusi 20 kV.....	25
	2.5.3 Menghitung Arus Netral yang mengalir pada Trafo Distribusi 20 kV Beban Tidak Seimbang.....	25
	2.5.4 Perhitungan Arus Beban Penuh pada Trafo Distribusi 20 kV	30

2.5.5 Rugi-rugi pada Penghantar Netral yang disebabkan munculnya Arus Netral	30
2.5.6 Faktor-faktor penyebab Ketidakseimbangan Trafo Distribusi 20 kV	31
2.6 Prosedur Pelayanan Pasang Baru dan Perubahan Daya	32
2.7 Penyeimbangan Beban	33
2.8 Metode Penyeimbangan	35
2.8.1 Perancangan Metode Mengurangi Susut Teknis dari Penyambungan Rumah (MPR).....	36
2.8.2 Cara Kerja Metode Mengurangi Susut Teknis dari Penyambungan Rumah (MPR).....	36
2.8.3 Teknik Pengukuran USD 07 (Data Timbang Beban Gardu Distribusi)	37
2.8.3 Teknik Penyeimbangan	38
2.8 Profil Beban Pelanggan PLN	39

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Data Pengukuran dan Pembebanan Gardu Distribusi 20 kV.....	40
3.2 Pelaksanaan Metode MPR	42
3.3 Ketidak seimbangan Beban	54
3.4 Simulasi Penyeimbangan Beban Metode MPR	55
3.5 Standard Operating Procedure (SOP).....	56
3.6 Eksekusi Penyeimbangan di Lapangan	58
3.7 Mengukur Tahanan Pembumian Netral Trafo	59

BAB 4 HASIL DAN ANALISA

4.1 Analisa Penyeimbangan Berdasarkan Simulasi VS Pemasagan di Lapangan	61
4.2 Hasil Penyeimbangan MPR	62
4.3 Kondisi Unbalanced Trafo Distribusi 20 kV Sebelum dan Sesudah.....	63
4.4 Analisa Susut Energi	66
4.5 Faktor Penyebab Ketidakseimbangan Trafo Distribusi 20 kV.....	68

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	70
5.2 Saran	71

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Insalasi Sistem Tenaga Listrik	7
Gambar 2.2	Pola Jaringan Radial	10
Gambar 2.3	Pola Jaringan Loop	11
Gambar 2.4	Pola Jaringan Spindle	12
Gambar 2.5	Pola Jaringan Grid	13
Gambar 2.6	Gardu Beton	15
Gambar 2.7	Gardu Kios	15
Gambar 2.8	Gadu Mobil	16
Gambar 2.9	Gadu Portal	17
Gambar 2.10	Gardu Cantol	18
Gambar 2.11	Bentuk Gelombang sistem 3 fasa normal dengan urutan RST	19
Gambar 2.12	Diagram satu garis gardu distribusi 20 kV	20
Gambar 2.13	Vektor diagram arus	26
Gambar 2.14	Resultan arus netral	28
Gambar 2.15	Bagan Alir Proses Sambungan TR memerlukan Perluasan Jaringan	33
Gambar 2.16	Persentasi jumlah Pelanggan ULP Blangpidie	39
Gambar 3.1	Alur Proses Eksekusi Metode MPR	58
Gambar 3.2	Pengukuran Gardu	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Data kapasitas trafo distribusi 20 kV.....	20
Tabel 2.2	Data impedansi JTR.....	21
Tabel 2.3	Perhitungan Sudut Phasa RST	29
Tabel 3.1	Data Pengukuran Beban Trafo Distribusi Penyulang Kantor ULP Blangpidie	40
Tabel 3.2	Data Pelanggan Pasang Baru pada 10 Trafo Penyulang Kantor.	39
Tabel 3.3	Rincian Pelanggan Pasang Baru pada 10 Trafo Penyulang Kantor	40
Tabel 3.4	Data Trafo dan Ketidak Seimbangan beban Trafo Penyulang Kantor	40
Tabel 3.5	Data Simulasi Penyeimbangan beban Metode MPR.....	56
Tabel 3.6	Data hasil pengukuran tahanan pembumian	56
Tabel 4.1	Data hasil penyeimbangan Metode MPR	62
Tabel 4.2	Data Pengukuran Beban Puncak sebelum dan sesudah penyeimbangan Trafo BP 01	63
Tabel 4.3	Data Unbalanced Sebelum dan Sesudah Penyeimbangan Metode MPR	66
Tabel 4.4	Data sebelum dan sesudah penyeimbangan Trafo BP 01	67
Tabel 4.5	Data Saving rugi-rugi trafo yang diseimbangkan	68

**ANALISIS SUSUT ENERGI AKIBAT PEMBEBANAN TIDAK
SEIMBANG DENGAN MENGGUNAKAN INOVASI MPR
(MENGURANGI SUSUT TEKNIS DARI PENYAMBUNGAN
RUMAH) GUNA MENURUNKAN ARUS NETRAL TRAF0
DISTRIBUSI 20 KV DI PT PLN (PERSERO)
ULP BLANGPIDIE UIW ACEH**

Ahmad Sutopo *

Adisastra P Tarigan **

Amani Darma Tarigan**

Universitas Pembangunan Panca Budi

PT PLN (Persero) ULP Blangpidie merupakan unit yang berada di Wilayah Aceh dengan memiliki Susut sebesar 4-7 %. Faktor-faktor yang menimbulkan susut diantaranya hilangnya energi listrik akibat ketidakseimbangan beban penggunaan beban listrik yang tidak seimbang di setiap fasenya. Program penurunan susut untuk menanggulangi permasalahan tersebut salah satunya menggunakan Penyeimbangan beban metode MPR (Menurunkan Susut Teknis dari Penyambungan Rumah) pada Pasang Baru, dengan semakin banyak pelanggan dan meningkatnya pertumbuhan penjualan kWh, Sangat penting dalam pengendalian susut dari penyeimbangan beban trafo tersebut. Hasil Analisa dari 10 sampel Trafo Distribusi 20 kV di Penyulang Kantor ULP Blangpidie didapatkan adanya penurunan pada ketidakseimbangan beban Trafo >30% yang sebelumnya berjumlah 3 Trafo menjadi 1 Trafo serta Penurunan atau *Saving* 18,612 kWh saat beban puncak.

Kata kunci : Trafo Distribusi 20 kV, Susut, MPR, *Saving* kWh, Penyeimbangan Beban

* Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro: ahmad.sutopo@pln.co.id

** Dosen Program Studi Teknik Elektro

***THE UNBALANCED LOAD ANALYSIS ON POWER LOSS WITH
INOVATION MPR (REDUCING ON POWER LOSS FROM
CUSTOMER CONNECTION) FOR REDUCE CURRENT
NEUTRAL DISTRIBUTION TRANSFORMER 20 KV ON
PT PLN (PERSERO) ULP BLANGPIDIE UIW ACEH***

Ahmad Sutopo *

Adisastra P Tarigan **

Amani Darma Tarigan**

Univerity Of Pembangunan Panca Budi

ABSTRACT

PT PLN (Persero) ULP Blangpidie is a unit in the Aceh Region with aon Power Loss of 4-7%. Factors that cause Losses include loss of electrical energy due to imbalance of the use of unbalanced electricity loads in each phase. One of the decreasing programs to overcome this problem is to use MPR (Reducing on Power Loss From Customer Connection) on New Customer conection, with more customers and increasing kWh sales growth. It is very important in controlling the Losses from balancing the transformer load. Analysis results from 10 samples of distribution transformers 20 kV in ULP Blangpidie Kantor feeders found a decrease in transformer load imbalance >30% which previously amounted to 3 transformers to 1 transformer and a reduction or saving of 18,612 kWh during peak load.

Key Words: *Distribution transformer 20 kV, Losses, MPR, Saving kWh, Load Balancing*

* Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro: ahmad.sutopo@pln.co.id

** Dosen Program Studi Teknik Elektro

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT PLN (Persero) merupakan perusahaan yang bergerak di bidang penyaluran tenaga listrik di Indonesia. Fokus PT PLN (Persero) saat ini yaitu menurunkan biaya produksi dan mengurangi kerugian/susut (Losses), kerugian/susut ini sangat diperhatikan karena produksi listrik yang dihasilkan seharusnya dapat 100 % tersalur kepada pelanggan. Pada sistem distribusi di ULP Blangpidie saat ini susut teknis berkisar 4-7%. Hal tersebut dirasa sangat merugikan perusahaan. Penyebabnya karena produksi listrik masih menggunakan bahan bakar minyak. Biaya produksi dari sistem Gardu Induk sebesar Rp.1.632/kWh sedangkan sistem dari PLTD mencapai Rp.2.369,96/kWh (Neraca Laba Rugi Tahun 2019 UP3 Subulussalam).

Pemanfaatan energi listrik oleh konsumen hanya dapat diketahui dengan melihat jumlah pemakaian daya rata-rata yang tertera pada KWH meter, padahal selain daya rata-rata, nilai tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif, faktor daya, dan frekuensi juga dapat menggambarkan total dan kualitas daya yang dikonsumsi oleh konsumen.

Terdapat dua jenis susut yaitu susut teknis dan susut non teknis. susut teknis di PT PLN (Persero) merupakan rugi daya yang terjadi salah satunya pada Gardu/Trafo (Harmonisa, *Overload* Trafo, beban tidak seimbang). Trafo distribusi 20 KV menggunakan sistem belitan 3 fasa (delta-wye), untuk delta di sisi tegangan menengah dan wye di sisi tegangan rendah. Pendistribusian tegangan rendah kepada konsumen terdiri dari 3 fasa, yaitu fasa R, fasa S, fasa T ditambah netral.

Konsumen PLN tegangan rendah dibagi menjadi 2 kelompok berdasarkan penggunaan phasanya, yaitu pelanggan 3 phasa dan 1 phasa. Serta dalam penggunaan energi di tiap pelanggan PT PLN (Persero) bervariasi. Dari permasalahan tersebut timbul permasalahan lain, yaitu ketidakseimbangan penggunaan beban yang berdampak langsung terhadap nilai arus di tiap phasa (R,S,T) yang berbeda-beda.

Kondisi aktual yang terjadi di ULP Blangpidie hingga bulan Januari 2019 belum terdapat metode “Menurunkan Rugi Daya (Susut Teknis) dari Pemasangan Sambungan Rumah (SR) atau bernama metode MPR”. Metode MPR berfungsi untuk menyeimbangkan beban Trafo secara tepadu dengan cara manajemen pasang baru. Kondisi yang terjadi saat ini, bertambahnya pelanggan baru di ULP Blangpidie sebanyak 1.285 pelanggan di Tahun 2019 dan 733 pelanggan selama Bulan Januari-Juli Tahun 2020 . Oleh karena itu dibutuhkan pengawasan terhadap instalatur pemasangan sambungan rumah (SR) ke jaringan tegangan rendah. Adanya metode MPR ini dapat membantu dalam menurunkan susut teknis. Hal tersebut karena Trafo yang beroperasi harus dimonitor agar dapat seimbang sehingga arus netral pada Trafo menjadi kecil dan menurunkan susut teknis, dari permasalahan-permasalahan tersebut maka penulis mengambil judul skripsi yaitu **“Analisis Susut Energi Akibat Pembebanan Tidak Seimbang Dengan Menggunakan metode Mengurangi Susut Teknis dari Penyambungan Rumah atau metode MPR Guna Menurunkan Arus Netral Trafo Distribusi 20 KV di PT PLN (Persero) ULP Blangpidie UIW Aceh.”**

1.2 Rumusan Masalah

Beberapa hal yang menjadi perumusan dalam penyusunan laporan ini antara lain sebagai berikut :

1. Bagaimana analisa pembebanan Trafo-Trafo distribusi 20 kV di PT PLN (Persero) ULP Blangpidie.
2. Bagaimana metode MPR terhadap Trafo distribusi yang memiliki pembebanan tidak seimbang.
3. Berapa besar nilai saving kWh yang di dapat setelah dilakukan Inovasi MPR terhadap Trafo distribusi 20 kV di PT PLN (Persero) ULP Blangpidie.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Permasalahan yang akan dibahas pada skripsi ini adalah permasalahan yang terjadi di lokasi penelitian.
2. Trafo distribusi 20 KV di PT PLN (Persero) ULP Blangpidie
3. Metode penyeimbangan metode MPR berdasarkan adanya proses pasang baru di PT PLN (Persero) ULP Blangpidie
4. Pembahasan fokus terhadap nilai saving kWh yang berhasil diperoleh dari hasil analisa sebelum dan sesudah metode MPR.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun yang menjadi tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Melakukan analisa sebelum dan sesudah dilakukan metode MPR
2. Memilih metode yang efektif dan efisien sehingga metode tersebut dapat rutin digunakan di lingkungan kerja PT PLN (Persero).

3. Dari hasil analisa, proses dan evaluasi terhadap Trafo-Trafo distribusi 20 KV di ULP Blangpidie, diharapkan didapat nilai saving kWh yang besar, sehingga dapat menjadi patokan penurunan susut teknik sebagai indikator keberhasilan dari penelitian yang dilakukan.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Bagi Penulis

Penerapan ilmu yang telah didapat selama perkuliahan yang berhubungan dengan kehidupan pekerjaan sehari-hari dan sangat efektif dalam implementasi di Pekerjaan

2. Bagi Institusi Pendidikan

Diharapkan hasil penelitian ini bisa digunakan sebagai referensi untuk melakukan penelitian berikutnya.

3. Bagi Perusahaan

Diharapkan hasil penelitian ini dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja perusahaan dan dapat dilakukan di lingkungan kerja PT PLN (Persero) dikarenakan metode ini sangat efektif dan efisien.

1.6 Metode Penelitian

Metode penelitian yang penulis pergunakan dalam laporan skripsi adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Yaitu dengan mempelajari buku-buku, referensi-referensi ilmiah, dan sumber lainnya yang mendukung dan berhubungan dengan bahasan penulis.

2. Studi Lapangan

Yaitu melakukan pemeriksaan dan Pengukuran di lapangan serta berkonsultasi dengan nara sumber dan pembimbing mengenai permasalahan yang berhubungan dengan skripsi ini baik itu dari unit kerja PT PLN (Persero) ULP Blangpidie maupun dosen pembimbing di Universitas Pembangunan Panca Budi.

1.7 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah dalam penulisan laporan ini, penulis membuat susunan bab-bab yang membentuk laporan ini dalam sistematika penulisan laporan dengan urutan sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Dalam bab ini berisikan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, serta sistematika penulisan.

BAB 2 LANDASAN TEORI

Dalam bab ini dijelaskan tentang teori-teori dasar yang mendukung dalam analisis pendukung yang digunakan untuk pembahasan Analisis Susut Energi Pada Beban Tidak Seimbang.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan tentang metode pengumpulan data, metode analisis data guna mencari solusi dari penelitian

BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini menjelaskan tentang analisis data dan hasil penelitian serta alternatif solusi dari hasil penelitian yang sudah dilakukan.

BAB 5 PENUTUP

Bab ini merupakan penutup yang meliputi tentang kesimpulan dan saran yang dilakukan di skripsi ini.

DAFTAR PUSTAKA

Sebagai referensi kutipan dalam penulisan skripsi ini

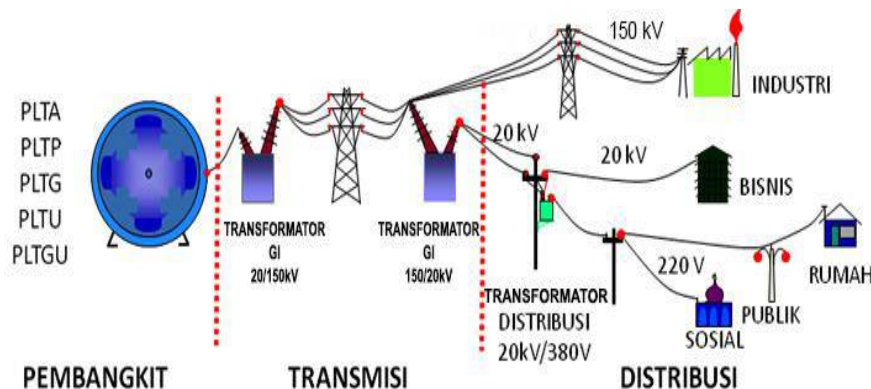
BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik ialah sebesar 11 kV sampai 24 kV, selanjutnya tegangan dinaikkan oleh transformator *step-up* menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 500 kV dan kemudian disalurkan melalui saluran transmisi ke gardu induk (GI). Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi. Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula (Suhadi,dkk, 2008).

Di GI, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator *step-down*, kemudian disalurkan melalui jaringan tegangan menengah (JTM) ke transformator distribusi. Kemudian transformator distribusi mengubah tegangan 20 kV menjadi 220/380 Volt dan disalurkan ke rumah pelanggan melalui jaringan tegangan Rendah (JTR). Seperti yang dapat kita lihat pada Gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1 Instalasi Sistem Tenaga Listrik

Sumber : (Suhadi,dkk, 2008)

Sistem Distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah sebagai pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan) dan merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi (*Suhadi,dkk, 2008*).

2.2 Komponen Jaringan Distribusi

2.2.1 Gardu Induk

Gardu Induk merupakan suatu instalasi yang terdiri dari sekumpulan peralatan listrik yang disusun menurut pola tertentu dengan pertimbangan teknis, ekonomis serta keindahan. Fungsi dari Gardu Induk adalah sebagai berikut (Ir. Wahyudi S. N., 2014):

1. Mentransformasikan tenaga listrik tegangan tinggi yang satu ketegangan yang lainnya atau tegangan menengah.
2. Pengukuran pengawasan operasi serta pengaturan pengamanan dari sistem tenaga listrik.
3. Pengaturan daya ke gardu-gardu lainnya melalui tegangan tinggi dan gardu distribusi melalui feeder tegangan menengah. Pada dasarnya gardu induk terdiri dari saluran masuk dan dilengkapi dengan transformator daya, peralatan ukur, peralatan penghubung dan lainnya yang saling menunjang.

2.2.2 Jaringan Tegangan Menengah (JTM)

Jaringan Tegangan Menengah (JTM) yaitu berupa Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) atau Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) adalah jaringan yang menyalurkan tegangan sebesar 20 kV ke sisi primer transformator distribusi (Suhadi,dkk, 2008).

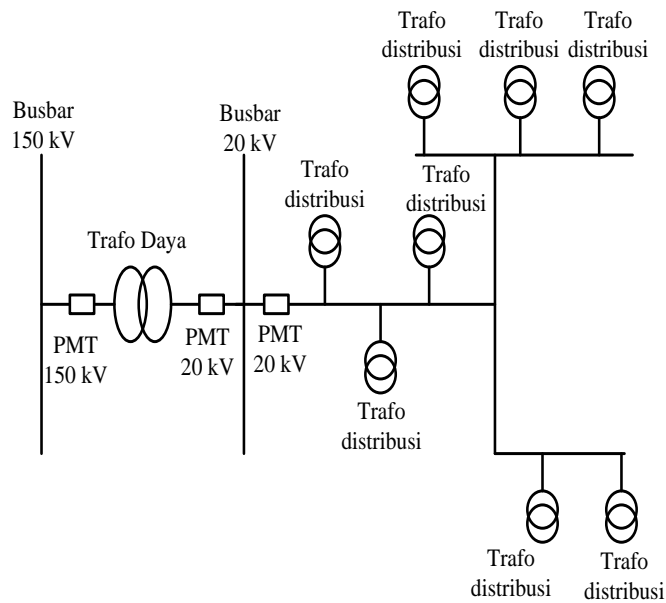
Pada JTM terdapat beberapa klasifikasi yang mana dalam menyalurkan tenaga listrik ke pusat beban, suatu sistem distribusi harus disesuaikan dengan kondisi setempat dengan memperhatikan faktor beban, lokasi beban, perkembangan dimasa mendatang, keandalan serta nilai ekonomisnya. Klasifikasinya antara lain (Suhadi,dkk, 2008) :

1. Pola Konfigurasi

Pada JTM terdapat pola konfigurasi jaringan dimana pola – pola tersebut sangat menentukan mutu pelayanan dan kontinuitas pelayanan ke pelanggan. Adapun polanya sebagai berikut (Suhadi,dkk, 2008) :

a. Pola Radial

Pola radial adalah jaringan yang setiap saluran primernya hanya mampu menyalurkan daya dalam satu arah aliran daya. Jaringan ini biasa dipakai untuk melayani daerah dengan tingkat kerapatan beban yang rendah. Keuntungannya ada pada kesederhanaan dari segi teknis dan biaya investasi yang rendah. Adapun kerugiannya apabila terjadi gangguan dekat dengan sumber, maka semua beban saluran tersebut akan ikut padam sampai gangguan tersebut dapat diatasi. Adapun gambarnya dapat dilihat pada Gambar 2.2 (Suhadi,dkk, 2008).

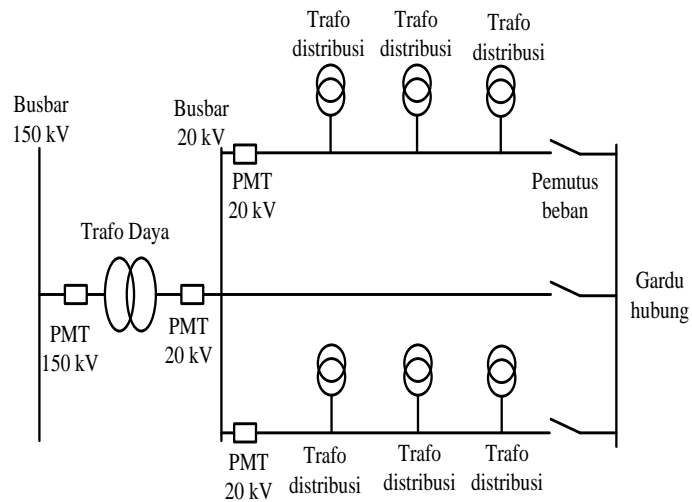


Gambar 2.2 Pola Jaringan Radial

Sumber : (Suhadi,dkk, 2008)

b. Pola Loop

Jaringan pola loop adalah jaringan yang dimulai dari suatu titik pada rel daya yang berkeliling di daerah beban kemudian kembali ke titik rel daya semula. Pola ini ditandai pula dengan adanya dua sumber pengisian yaitu sumber utama dan sebuah sumber cadangan. Jika salah satu sumber pengisian (saluran utama) mengalami gangguan, akan dapat digantikan oleh sumber pengisian yang lain (saluran cadangan). Jaringan dengan pola ini biasa dipakai pada sistem distribusi yang melayani beban dengan kebutuhan kontinuitas pelayanan yang baik (lebih baik dari pola radial) (Suhadi,dkk, 2008).



Gambar 2.4 Pola Jaringan *Spindle*

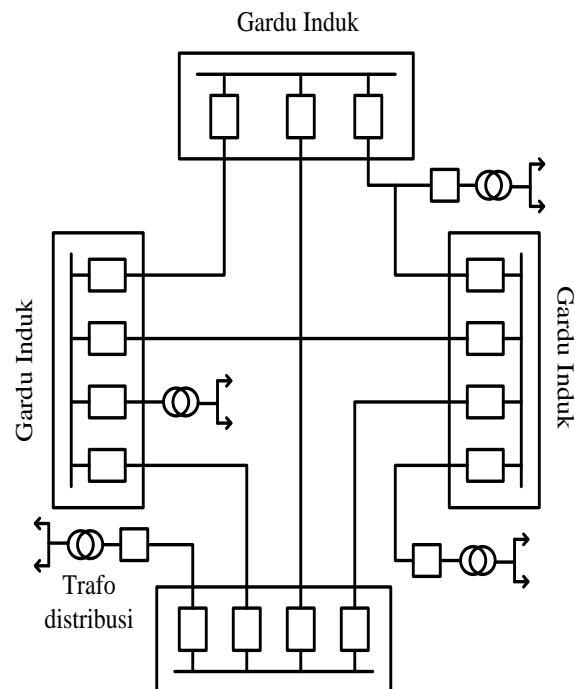
Sumber : (Suhadi,dkk, 2008)

Keuntungan pola jaringan ini adalah :

- 1) Sederhana dalam hal teknis pengoperasiannya seperti pola radial.
- 2) Kontinuitas pelayanan lebih baik dari pada pola radial maupun loop.
- 3) Pengecekan beban masing-masing saluran lebih mudah dibandingkan dengan pola grid.
- 4) Penentuan bagian jaringan yang terganggu akan lebih mudah dibandingkan dengan pola grid. Dengan demikian pola proteksinya akan lebih mudah.
- 5) Baik untuk dipakai di daerah perkotaan dengan kerapatan beban yang tinggi.

d. Pola *Grid*

Pola jaringan ini mempunyai beberapa rel daya dan antara rel-rel tersebut dihubungkan oleh saluran penghubung yang disebut tie feeder. Dengan demikian setiap gardu distribusi dapat menerima atau mengirim daya dari atau ke rel lain (Suhadi,dkk, 2008).



Gambar 2.5 Pola Jaringan Grid

Sumber : (Suhadi,dkk, 2008)

Keuntungan dari jenis jaringan ini adalah:

- 1) Kontinuitas pelayanan lebih baik dari pola radial atau loop.
- 2) Fleksibel dalam menghadapi perkembangan beban.

- 3) Sesuai untuk daerah dengan kerapatan beban yang tinggi. Adapun kerugiannya terletak pada sistem proteksi yang rumit, mahal dan biaya investasi yang juga mahal.

2.2.3 Gardu Distribusi (GD)

Gardu Distribusi adalah suatu bangunan gardu listrik yang terdiri dari instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Transformator Distribusi (TD) dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik bagi para pelanggan baik dengan Tegangan Menengah (TM 20 kV) maupun Tegangan Rendah (TR 220/380V) (Buku 4 PLN, 2010).

1. Jenis Gardu Distribusi

Ada lima macam gardu distribusi yang umum digunakan oleh PLN, yaitu (Buku 4 PLN, 2010) :

a. Gardu Beton

Seluruh komponen utama instalasi yaitu transformator dan peralatan *switching*/proteksi, terangkai di dalam bangunan sipil yang dirancang, dibangun dan difungsikan dengan konstruksi pasangan batu dan beton. Konstruksi ini dimaksudkan untuk pemenuhan persyaratan terbaik bagi keselamatan ketenagalistrikan (Buku 4 PLN, 2010).



Gambar 2.6 Gardu Beton

Sumber : (Penulis, 2020)

b. Gardu Kios

Gardu tipe ini adalah bangunan *prefabricated* terbuat dari konstruksi baja, *fiberglass* atau kombinasinya, yang dapat dirangkai dilokasi rencana pembangunan gardu distribusi. Terdapat beberapa jenis konstruksi, yaitu: Kios Kompak, Kios Modular dan Kios Bertingkat (Buku 4 PLN, 2010).



Gambar 2.7 Gardu Kios

Sumber : (Penulis, 2020)

c. Gardu Mobil

Gardu mobil adalah gardu distribusi yang bangunan pelindungnya berupa mobil/ditakkan diatas mobil, sehingga gardu bisa dipindah-pindah sesuai dengan tempat yang membutuhkan. Oleh karena itu gardu mobil ini pada umumnya digunakan untuk sementara/darurat (Buku 4 PLN, 2010).



Gambar 2.8 Gardu Mobil

Sumber : (Penulis, 2020)

d. Gardu Portal

Gardu potral adalah gardu dengan konstruksi dua tiang dimana transformator distribusi berada diatas sedangkan lemari rel/PHBTR berada di bawah.



Gambar 2.9 Gardu Portal

Sumber : (Penulis,2020)

e. Gardu Cantol

Gardu cantol adalah gardu dengan konstruksi transformator dicantolkan pada tiang tunggal. Transformator yang terpasang adalah transformator fasa 1 dan fasa 3 dengan daya ≤ 100 kVA. Transformator terpasang adalah jenis CSP (*Completely Self Protected Transformer*) yaitu peralatan *switching* dan proteksinya sudah terpasang lengkap dalam tangki transformator (Buku 4 PLN, 2010).



Gambar 2.10 Gardu Cantol

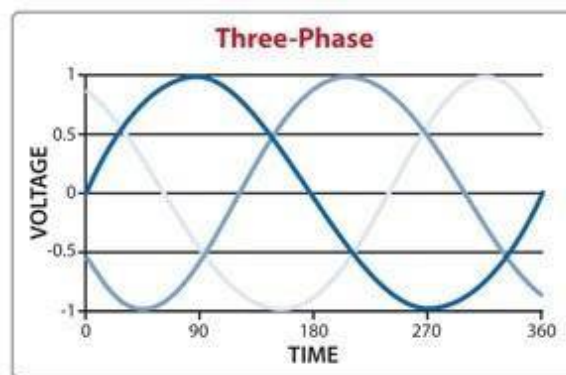
Sumber : (Penulis, 2020)

2.3 Trafo Distribusi

Trafo merupakan seperangkat peralatan statis yang berdasarkan prinsip elektromagnetik, mentransformasikan tegangan dan arus bolak balik diantara kedua belitan atau lebih pada frekwensi yang sama dan pada nilai arus dan tegangan yang berbeda. Konstruksi utama dari trafo terdiri dari kumparan primer, kumparan sekunder dan inti. Kumparan primer diberi tegangan dan ini akan menimbulkan arus sinusiode. Arus tersebut menyebabkan terjadi medan magnet pada inti magnet yang disebut flux yang juga berbentuk sinusiode. Pada kumparan sekunder yang mendapat perubahan flux dari inti yang disebut induksi akan timbulgerak gaya listrik (ggl) yang bentuknya *sinusiode*.

2.3.1 Sistem 3 Fase Trafo Distribusi 20 kV

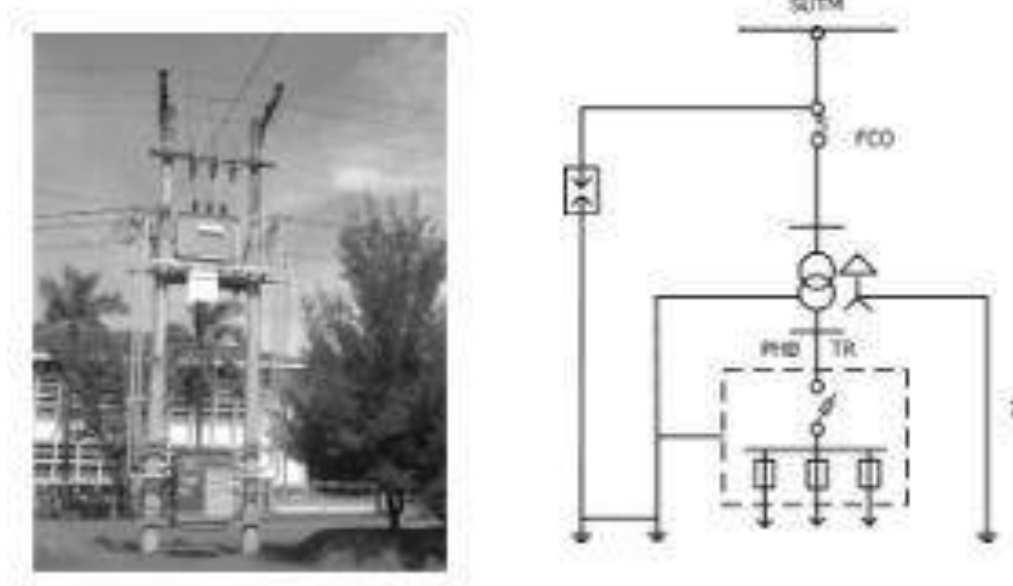
Sistem 3 fase adalah metode umum yang dipakai untuk menyalurkan tenaga listrik. Pada sistem 3 fase bisa menggunakan kawat netral maupun tanpa kawat netral atau lebih dikenal dengan istilah 3 fase 4 kawat yang menggunakan kawat netral dan 3 fase 3 kawat yang tanpa kawat netral. Pada jaringan distribusi tegangan rendah di Indonesia umumnya menggunakan sistem jaringan 3 fase 4 kawat.



Gambar 2.11 Bentuk Gelombang sistem 3 fasa normal dengan urutan RST
(Sumber : Prasetya Ulah Sakti, 2018, Jurnal evaluasi pemecah beban)

2.3.2 Kapasitas Trafo Distribusi 20 kV

Trafo distribusi 20 kV yang terdiri dari kumpara primer – sekunder memiliki rasio tegangan – arus masuk dan tegangan – arus keluar yang berbeda – beda berdasarkan kapasitas pada masing – masing trafo. Perbedaan kapasitas trafo akan memengaruhi nilai arus primer (masuk) dan arus sekunder (keluar).



Gambar 2.12 Diagram satu garis gardu distribusi 20 kV
(Sumber : Keputusan Direksi PT PLN (Persero) No.605.K/DIR/2010)

Penggunaan kapasitas trafo tersebut berdasarkan kebutuhan konsumsi pelanggan sesuai perintah kontrak day masing – masing konsumen.

Tabel 2.1 Data kapasitas trafo distribusi 20 kV

TEGANGAN	KAPASITAS	ARUS (AMPERE)	
		PRIMER	SEKUNDER
kV	kVA		
20/0.4	25	0.72	36.08
20/0.4	50	1.44	72.17
20/0.4	100	2.89	144.33
20/0.4	160	4.62	230.93
20/0.4	200	5.77	288.67
20/0.4	250	7.22	360.83

20/0.4	315	9.09	454.65
20/0.4	400	11.55	577.33
20/0.4	500	14.43	721.67
20/0.4	630	18.19	909.3
20/0.4	800	23.09	1,154.67
20/0.4	1000	28.87	1,443.33

(Sumber : Wahyudi Sarimun, 2011, buku saku pelayanan teknik, Jakarta)

2.4 Susut Energi

Pada sistem tenaga listrik, susut energi merupakan salah satu ukuran efisien atau tidaknya suatu pengoperasian sistem distribusi tenaga listrik. Susut merupakan kerugian energi akibat masalah teknis dan non teknis pada penyaluran energi listrik. Selama ini perhitungan susut pada penyulang dilakukan dengan cara menghitung selisih kWh beli dan kWh jual pada penyulang.

Tabel 2.2 Data impedansi JTR

DATA IMPEDANSI JTR (Ohm/kM)					KHA
Jenis	Z	CosQ	R	jX	(Ampere)
LVTC 3x25/50	1.52	0.998	1.52	0.10	105
LVTC 3x35/50	1.10	0.992	1.10	0.10	135
LVTC 3x50/50	0.82	0.983	0.81	0.10	145
LVTC 3x70/50	0.55	1.00	0.54	0.10	185
A3C 4 x 70	0.46	1.00	0.46	0	255
A3C 4 x 50	0.65	1.00	0.65	0	210

A3C 4 x 35	0.92	1.00	0.92	0	170
BC 4 x 50	0.39	1.00	0.39	0	250
BC 4 x 35	0.53	1.00	0.53	0	200
BC 4 x 25	0.73	1.00	0.73	0	160

(SuKmber : Wahyudi Sarimun, 2011, buku saku pelayanan teknik, Jakarta)

Energi listrik yang hilang dalam perjalanan baik di saluran transmisi maupun di saluran distribusi disebut dengan rugi – rugi atau losses teknis. Sedangkan losses non teknis lebih banyak disebabkan oleh masalah – masalah yang berkaitan dengan pengukuran pemakaian energi listrik di sisi pelanggan.

2.4.1 Susut Energi Trafo Distribusi 20 kV

Pada saluran distribusi tenaga listrik sebagai akibat beban tidak seimbang yang dalam hal ini arus masing – masing fasa tidak seimbang, maka akan terjadi susut teknis pada saluran tersebut menjadi lebih besar jika dibandingkan dengan beban yang seimbang

Susut saluran tiga fasa besarnya adalah :

$$\Delta p = I_r^2 . r . L + I_s^2 . r . L + I_t^2 . r . L \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

r : Resistan / tahanan penghantar dalam satuan Ohm / km

L : panjang penghantar yang dilalui arus I dalam satuan km

Jika diasumsikan r dan L nilainya sama dengan I, maka perbedaan besarnya losses pada beban seimbang dan tidak seimbang dapat dilihat pada contoh dibawah ini:

Beban seimbang : $I_r = I_s = I_t = 100\text{A}$, arus total 3 fasa sama dengan 300 A.

Losses yang terjadi adalah :

$$\begin{aligned}\Delta p &= 100^2 \cdot 1 \cdot 1 + 100^2 \cdot 1 \cdot 1 + 100^2 \cdot 1 \cdot 1 \\ &= 10.000 + 10.000 + 10.000 = 30.000 \text{ Watt}\end{aligned}$$

Sedangkan pada beban tidak seimbang : $I_r = 50 \text{ A}$, $I_s = 100 \text{ A}$, $I_t = 150 \text{ A}$, arus total 3 fasa sama dengan 300 A. Losses yang terjadi adalah :

$$\begin{aligned}\Delta p &= 50^2 \cdot 1 \cdot 1 + 100^2 \cdot 1 \cdot 1 + 150^2 \cdot 1 \cdot 1 \\ &= 2.500 + 10.000 + 12.500 = 35.000 \text{ Watt}\end{aligned}$$

Perbedaan losses antara beban seimbang dan tidak seimbang akan menjadi lebih besar lagi jika selisih arus antara beban terendah dan tertinggi lebih signifikan. Selain itu akibat lain yang bisa ditimbulkan oleh beban seimbang adalah adanya arus pada penghantar netral untuk sistem tiga fasa – empat kawat. Jika arus penghantar netral besar terlebih timbulnya mulai dari ujung jaringan sampai ke pangkal jaringan, maka arus tersebut berubah menjadi energi panas yang diserap dari trafo atau generator dan ini merupakan losses non teknis yaitu losses yang dapat dihilangkan dengan cara membuat agar penghantar netral tidak dilalui arus sama sekali.

Akibat lain jika penghantar netral dilalui arus yang cukup besar adalah terjadinya ketidak seimbangan tegangan pada ke tiga fasanya, terlebih lagi jika sambungan penghantar netral kurang baik atau bahkan putus sama sekali, maka fasa dengan beban terbesar tegangannya akan turun menjadi lebih rendah dari tegangan nominalnya bahkan jauh lebih rendah dari fasa dengan beban yang terendah. Sedangkan fasa dengan beban yang terendah, tegangannya akan naik.

2.4.2 Susut Akibat Ketidakseimbangan Trafo Distribusi

Adanya arus netral yang mengalir pada penghantar netral merupakan indikasi bahwa telah terjadi ketidakseimbangan di fasa RST, dan telah terjadi susut berupa rugi – rugi (losses). Losses yang diakibatkan karena arus netral yang mengalir ke tanah (ground) dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut :

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

P_G : losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah (watt)

I_G^2 : arusnetral yang mengalir ke tanah (A)

R_G : tahanan pembumian netral trafo (Ω)

2.5 Keseimbangan dan Ketidakseimbangan Trafo Distribusi 20 kV

2.5.1 Keseimbangan Trafo Distribusi 20 kV

Umumnya pada sistem energi listrik beban itu diusahakan agar dapat didistribusikan secara merata (seimbang) pada masing – masing fase. Pada keadaan beban seimbang, nilai arus pada tiap tiap fasa sama dan beda sudut antara tiap fasenya sebesar 120^0 . Dapat juga dinyatakan sebagai berikut :

$$\vec{I}_R = I_R < 0^0$$

$$\vec{I}_S = I_S < 120^0$$

$$\vec{I}_T = I_T < 240^0$$

\rightarrow

$$I_R = I_S = I_T = 1$$

Pada keadaan beban seimbang, dengan memasukkan persamaan (6), (7), (8) dan persamaan (9) kedalam persamaan (5) maka akan diperoleh arus netral pada keadaan seimbang yaitu :

$$\vec{I}_N = (I \cos 0^\circ + I \cos 120^\circ + I \cos 240^\circ) + j(I \sin 0^\circ + I \sin 120^\circ + I \sin 240^\circ)$$

$$\vec{I}_N = \left(I - \frac{1}{2}I - \frac{1}{2}I \right) + j \left(-\frac{\sqrt{3}}{2}I + \frac{\sqrt{3}}{2}I \right)$$

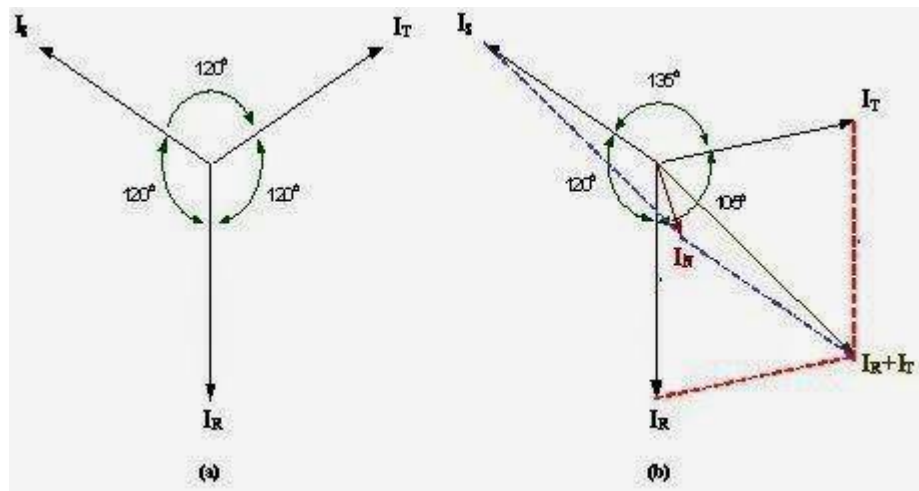
$$I_N = 0$$

Dari perhitungan diatas diketahui bahwa pada saat seimbang, arus yang mengalir pada hantaran netral (I_N) sama dengan nol.

2.5.2 Ketidakseimbangan Trafo Distribusi 20 kV

Beban tidak seimbang adalah masalah umum yang dihadapi pada sistem tiga fase, hal ini diakibatkan karena yang mendominasi adalah pelanggan satu fase dari pada pelanggan tiga fase. Distribusi beban satu fase yang tidak merata pada tiap fase memperburuk tingkat ketidakseimbangan. Pada kondisi beban yang tidak seimbang, arus beban pada tiap fase tidak sama dan beda fase antar fase tidak selalu 120° , ada tiga kemungkinan keadaan beban tidak seimbang, yaitu:

1. Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
2. Ketiga Vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.
3. Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.



Gambar 2.13 Vektor diagram arus

(Sumber: Moelyono.1991. Sistem Distribusi Tenaga Listrik)

Pada Gambar 2.2 (a) menunjukkan bahwa penjumlahan ketiga vektor arus (I_R, I_S, I_T) adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral (I_N). Sedangkan pada gambar 2.2 (b) menunjukkan bahwa penjumlahan ketiga vektor arus (I_R, I_S, I_T) tidak sama dengan nol sehingga muncul sebuah besaran yaitu arus netral (I_N) yang besarnya bergantung pada besar faktor ketidakseimbangannya. Perhitungan arus netral (I_N) untuk sistem tiga fase tidak seimbang adalah sebagai berikut:

$$I_N = I_R + I_S + I_T, \text{ dimana}$$

$$I_N = I_N < \delta$$

$$I_N = \sqrt{(I_R \cos \theta_1 + I_S \cos \theta_2 + I_T \cos \theta_3)^2 + (I_R \sin \theta_1 + I_S \sin \theta_2 + I_T \sin \theta_3)^2}$$

$$\delta = \arctan \left(\frac{I_R \sin \theta_1 + I_S \sin \theta_2 + I_T \sin \theta_3}{I_R \cos \theta_1 + I_S \cos \theta_2 + I_T \cos \theta_3} \right)$$

Tampak pada sistem tiga fase yang tidak seimbang, nilai arus netral (I_N) tidak sama dengan nol. Munculnya arus pada hantaran netral ini memberikan kontribusi losses pada jaringan distribusi.

2.5.3 Menghitung Arus Netral yang mengalir pada Trafo Distribusi 20 KV Beban Tidak Seimbang

Perhitungan Arus Netral dengan menggunakan metode vektor, pada dasarnya perbedaan antara sudut fasa adalah 120° . Sehingga Arus Netral adalah resultan dari ketiga vektor tersebut, untuk bisa memperoleh Resultan total, maka diperlukan Resultan pada sumbu X dan Resultan Sumbu Y untuk masing – masing fasa. Untuk memperoleh kedua resultan tersebut, maka dapat digunakan persamaan :

Resultan Sumbu X,

$$I_x = I \cos \theta \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

I_x = Resultan Sumbu X,

θ = Sudut Phase

I = Besarnya arus pada masing – masing phase (A) Resultan Sumbu Y,

$$I_y = I \sin \theta \dots\dots\dots (2.4)$$

I_y = Resultan Sumbu Y,

θ = Sudut Phase

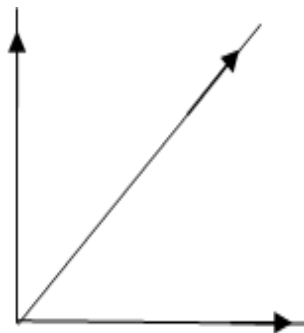
I = Besarnya arus pada masing – masing phase (A)

Setelah diketahui, Resultan masing – masing masa, maka jumlahkan resultan tersebut menggunakan persamaan :

$$Ix_{total} = Ixr + Ixs + Ixt$$

$$Iy_{total} = Iyr + Iys + Iyt$$

Sehingga dapat diperoleh 2 buah resultan yang dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.14 Resultan arus netral

(Sumber : Suhadi, Teknik Distribusi Listrik 2008, Jakarta)

Sehingga besarnya arus netral dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan :

$$I_{netral} = \sqrt{(I_y)^2 + (I_x)^2 - 2 I_x I_y \cos \theta}$$

Dimana :

I_y = Resultan arus Y total

I_x = Resultan arus X total

θ = Besar sudut antara kedua resultan X dan Y

Untuk memudahkan akan sata buat contoh perhitungan :

Jika diketahui :

Arus phasa R = 100 A, Phasa S = 150 A, Phasa T = 120 A, hitung arus netral

Tabel 2.3 Perhitungan sudut phasa RST

PHASA	ARUS	SUDUT	I _x	I _y
	INDUK		I _x = I cos θ	I _y = I sin θ
R	100	0	100	0
S	150	120	-75	129,903
T	120	240	-60	-103,923
TOTAL			-35	25,98

(Sumber : Wahyudi Sarimun,2011, buku saku pelayanan teknik, Jakarta)

$$\begin{aligned}
 I_{\text{netral}} &= \sqrt{(I_y)^2 + (I_x)^2 - 2 I_x I_y \cos \theta} \\
 &= \sqrt{(25,98)^2 + (-35)^2 - 2 (-35)(25,98) \cdot \cos 90} \\
 &= \sqrt{674,9604 + 1225} \\
 &= \sqrt{1899,9604}
 \end{aligned}$$

$$I_{\text{netral}} = 43,588 \text{ A}$$

2.5.4 Perhitungan Arus Beban Penuh pada Trafo Distribusi 20 KV

Perhitungan Arus Beban Penuh dapat ditinjau pada daya Transformator bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

S = Daya Transformator (kVA)

V = Tegangan sisi primer Transformator (kV)

I = Arus jala-jala (A). (*Chapman, Stephen J. 2005. Electric Machinery Fundamental*).

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

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

I_{FL} = Arus beban penuh (A)

S = Daya transformator (kVA)

V = Tegangan sisi sekunder transformator (kV)

2.5.5 Rugi-rugi pada Penghantar Netral yang disebabkan munculnya Arus Netral

Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, fasa S, fasa T) mengalir arus di netral Trafo. Arus yang mengalir pada penghantar netral Trafo ini menyebabkan losses (rugi-rugi). Losses pada penghantar netral Trafo ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_N = I_{N^2} \times R_N \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana:

PN = Losses pada penghantar netral Trafo (watt)

IN = Arus yang mengalir pada netral Trafo (A)

RN = Tahanan penghantar netral Trafo (Ω). (*Chapman, Stephen J. 2005.*

Electric Machinery Fundamental). Sedangkan losses yang diakibatkan karena arus netral yang mengalir ke tanah (ground) dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut :

$$P_G = I_G \times R_G \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana:

PG = Losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah (watt)

IG = Arus netral yang mengalir ke tanah (A)

RG = Tahanan pembumian netral Trafo (Ω). (*Chapman, Stephen J. 2005.*

Electric Machinery Fundamental).

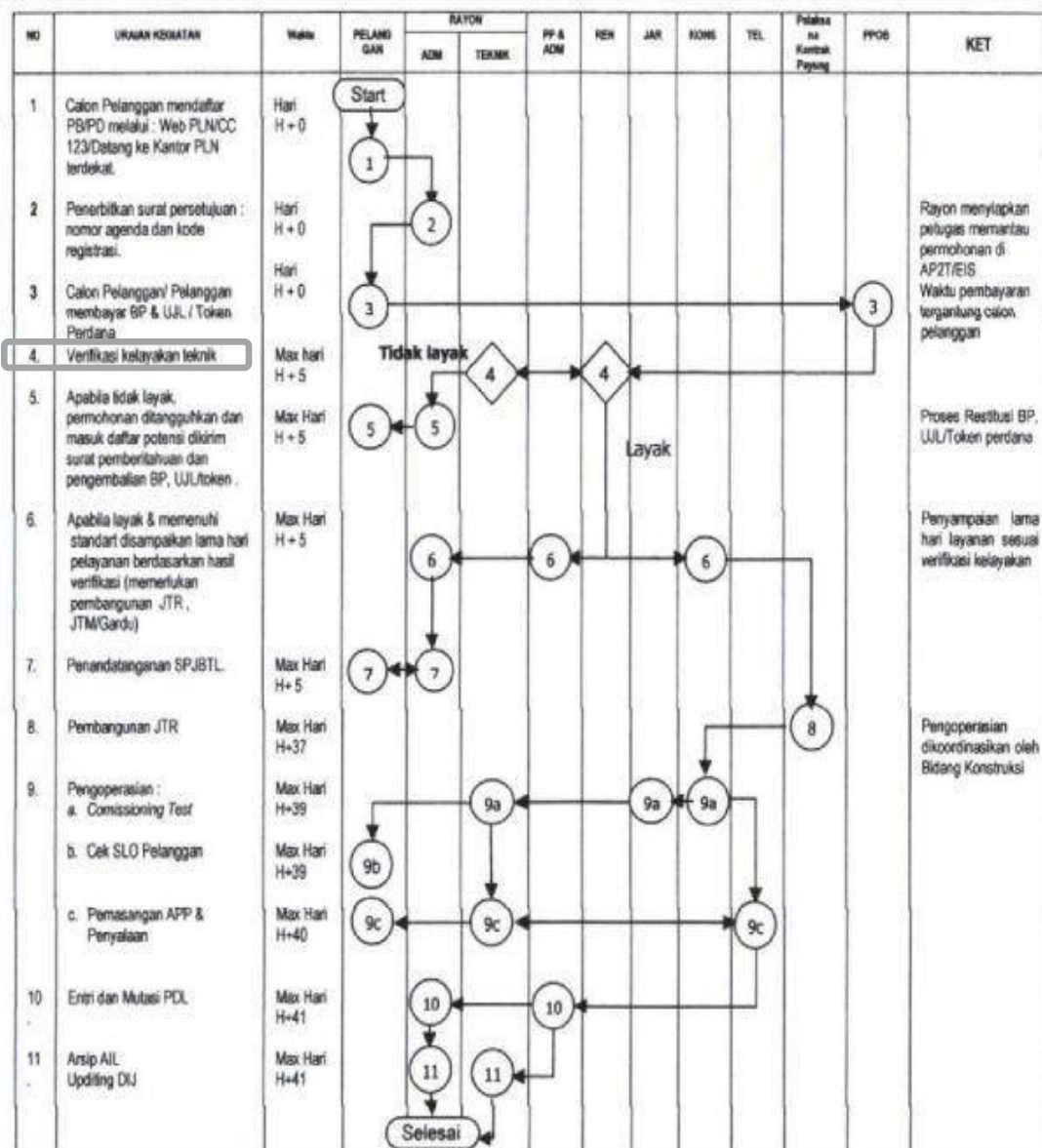
2.5.6 Faktor – faktor Penyebab Ketidakseimbangan Trafo Distribusi 20 kV

Diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Penggunaan beban yang tidak merata atau seimbang di tiap fasanya pada trafo distribusi 20 KV salah satunya tidak disiplinnya petugas saat penyambungan pelanggan baru
2. Kondisi penghantar , dalam hal ini kabel twisted 3 phasa yang memiliki banyak sambungan kurang baik, Isolasi kabel yang terbakar, Isolasi kabel terkelupas

2.6 Prosedur Pelayanan Pasang Baru dan Perubahan Daya

Proses pasang baru merupakan alur calon pelanggan memohon pemakaian listrik yang dimulai dari permohonan dokumen sampai proses pengarsipan AIL (Arsip induk Langganan) calon pelanggan, salah satu proses didalamnya adalah verifikasi kelayakan teknik yang berfungsi untuk memastikan kelayakan perangkat PLN (Trafo Distribusi, Jaringan SUTR dan Fasa) yang akan di sambung ke calon pelanggan sesuai edaran Direksi PT PLN Persero Nomor : 0007.E/DIR/2013, Tanggal 28 Oktober 2013, tentang “Petunjuk Pelaksanaan Penyambungan Baru dan Perubahan Daya dengan Perluasan untuk pelanggan Tegangan Rendah” adalah sebagai berikut:



Gambar 2.15 Bagan Alir Proses PB/PD Sambungan TR memerlukan Perluasan Jaringan

(Sumber : Edaran Direksi PT PLN Persero Nomor : 0007.E/DIR/2013)

2.7 Penyeimbangan Beban

Seperti diketahui jika penyeimbangan beban dikaitkan dengan arus penghantar netral sama dengan nol, maka faktor penyebab ketidak-seimbangan beban selain

besarnya arus pada masing – masing fasa , faktor daya ($\cos \theta$) juga menjadi faktor penyebab lainnya.

$$I_n = \Sigma I . \cos \theta$$

$$= I_r \cos \theta_r + I_s . \cos(\theta_s + 120^\circ) + I_t . \cos(\theta_t + 240^\circ)$$

Secara teoritis untuk mendapatkan nilai $I_n = 0$, maka arus setiap fasa harus sama ; $I_r = I_s = I_t$ dan faktor daya beban setiap fasa harus sama juga; $\cos \theta_r = \cos \theta_s = \cos \theta_t$. Tetapi dengan beban menyebar sepanjang jaringan dan karakteristik beban yang bermacam – macam, maka untuk mendapatkan nilai I dan $\cos \theta$ dengan pengukuran langsung di jaringan maupun di setiap titik beban tidak dapat dijadikan acuan untuk menganalisa beban yang selanjutnya digunakan untuk melaksanakan penyeimbangan beban.

Sebabnya adalah pengukuran arus dan faktor daya tersebut hanyalah pengukuran yang sifatnya sesaat, jadi bila dijadikan acuan untuk penyeimbangan, aka hasilnya juga merupakan hasil sesaat. Padajhala penyeimbangan beban yang dimaksud adalah seimbang yang berlaku untuk waktu yang lama. Cara yang lebih efektif untuk mendapatkan nilai I dan $\cos \theta$ setiap beban adalah hasil dari pengukuran energi dalam waktu tertentu yang terukur pada Kwh-meter. Seperti diketahui rumus energi merupakan hasil pengalian tegangan, arus, $\cos \theta$ dan waktu.

$$W_p = V . I . \cos \theta . t \dots \dots \dots kWh$$

Jika energi setiap beban diketahui dari pada setiap satu titik sambungan tiga fasa yang terdiri dari beberapa beban satu fasa. Dengan mengasumsikan bahwa tegangan setiap beban sama dan waktu pencatatan energi setiap beban sama juga, maka

arus dan faktor daya merupakan bagian tidak sama. Dengan membagi semua beban yang ada pada titik sambungan besarnya $I \cos \theta$ sama pada setiap fasanya, maka hasilnya beban pada titik tersebut menjadi seimbang.

Energi aktif pada fasa R; $W_{pr} = V.I_r.Cos \theta_r.t$

Energi aktif pada fasa S; $W_{ps} = V.I_s.Cos \theta_s.t$

Energi aktif pada fasa T; $W_{pt} = V.I_t.Cos \theta_t.t$

Jika V dan t sama, maka nilai yang berbeda adalah I dan $\cos \theta$.

Jadi dengan menggunakan data nilai energi aktif setiap beban, maka penyeimbangan beban lebih udah dilakukan dan hasilnya lebih efektif dan dapat berlangsung cukup lama jika nilai energi aktif yang diambil memerlukan waktu yang lama juga. Karena dengan pengamatan beban yang lama tersebut, karakteristik beban yang sesungguhnya dapat dikatakan lebih nyata.

2.8 Metode Penyeimbangan

Metode penyeimbangan beban berdasarkan adanya pasang baru dan perubahan daya, Metode MPR sangat efektif bila diterapkan pada penyeimbangan beban gardu-gardu yang melayani daya untuk banyak jenis pelanggan (heterogen). PT PLN (Persero) ULP Blangpidie pada Tahun 2019 melayani pasang baru sebanyak 1.285 Pelanggan dengan Persentase 76% Pelanggan Rumah Tangga. Dari permasalahan tersebut untuk menyeimbangkan beban gardu distribusi yang bebannya dominan jenis Pelanggan Rumah Tangga penulis memberikan menggunakan metode MPR. Pada metode ini diperlukan Laporan USD 07 (Laporan Timbang Beban Gardu Distribusi) sebagai syarat pemilihan Fasa Pasang baru yang akan dipasang.

2.8.1 Perancangan Metode Mengurangi Susut Teknis dari Penyambungan Rumah (MPR)

1. Surat pemasangan baru berisi kewajiban untuk mentaati peraturan yang telah diterapkan oleh PT PLN terkait pasang baru sambungan rumah (SR). Pemasangan baru harus dilakukan sesuai dengan fasa di Gardu Trafo yang telah disetujui oleh Spv. Teknik, sehingga dapat terkontrol penggunaannya dan dapat menyeimbangkan beban pada Trafo tersebut.
2. Melakukan *input* data berbasis Google Docs secara rutin setelah surat pemasangan baru disetujui. Sambungan rumah pasang baru harus sesuai fasa yang telah diizinkan dan Trafo yang dibebani.
3. *Log Sheet* berbasis Google Sheet dapat dilihat dan dimonitor secara online. Sehingga memudahkan dalam pengecekan ke lokasi oleh Petugas Pengawas MPR.

2.8.2 Cara Kerja Metode Mengurangi Susut Teknis dari Penyambungan Rumah (MPR)

1. Setiap ada pasang baru Spv Teknik sebelum menandatangani wajib memperhatikan USD 07 (Data Timbangan Beban Trafo). Hal tersebut untuk mengetahui fasa yang diizinkan untuk sambungan rumah (SR), lalu pihak instalatur mengisi surat pernyataan pasang baru untuk penyeimbangan beban Trafo dan ditandatangani.
2. Lalu Arsip disimpan di arsip *Cabinet* dan langsung di input kedalam Google Docs. Sehingga data terekap dengan baik. Data yang tercantum berupa :

Tanggal, Pelanggan Pasang Baru, Fasa yang di pakai, Trafo yang dibebabani dan Instalatur/Gerai Daya yang melakukan pemasangan.

3. Setiap 1 kali dalam seminggu Spv.Teknik atau Pengawas MPR wajib memeriksa ke lapangan untuk memeriksa sambungan rumah pasang baru. Hal ini bertujuan agar dapat di monitor apakah instalatur atau gerai daya mentaati Surat Pernyataan tersebut.
4. Setiap 1 Bulan sekali Pihak Instalatur/Gerai Daya dan Spv.Teknik melakukan evaluasi bersama terkait pekerjaan pasang baru. Sehingga semua pekerjaan pasang baru menjadi termonitor, dan semua pihak dapat bekerja dengan baik sesuai aturan yang telah ditetapkan.

2.8.3 Teknik Pengukuran USD 07 (Data Timbang Beban Gardu Distribusi)

Cara Pengukuran yang digunakan ada beberapa macam, yaitu:

1. Meter transportabel, yaitu alat ukur bukan pasangan tetap penggunaannya dapat dilakukan dimana saja sesuai kebutuhan. Contoh meter semacam ini antara lain: Clamp-on Amper Volt meter atau sering disebut Tang-amper yang dapat digunakan untuk mengukur besaran-besaran arus, tegangan dan terkadang tahanan, Clamp-on Power meter atau sering disebut dengan Tang-kW meter yang dapat mengukur besraan-besaran : tegangan, arus, faktor daya, daya dan urutan fasa.
2. Meter Portabel, yaitu alat ukur yang selalu terpasang secara tetap untuk mengukur besaran listrik intalasi yang diukur. Contoh meter pasangan tetap antara lain : kWh-meter yang terpasang di konsumen, Amper-meter, Volt-meter dan kWh meter yang terpasang di Gardu Distribusi.

Toleransi kesalahan alat ukur atau sering disebut dengan kelas : untuk meter yang terpasang tetap di pelanggan adalah maksimal kelas 2, sedangkan meter yang terpasang di gardu distribusi dan meter yang digunakan untuk pengumpulan data penyeimbangan beban kelasnya 1 atau lebih rendah. Teknis penggunaan alat ukur untuk penyeimbangan beban harus melalui tahapan-tahapan sebagai berikut:

1. Pengukuran beban : arus, $\cos \theta$ dan tegangan masing-masing fasa dan netral di gardu distribusi
2. Pengukuran arus pada percabangan, titik sambungan beban
3. Harus diyakinkan bahwa kWh-Meter yang dipasang di pelanggan mempunyai ketepatan pengukuran atau disebut dengan kalibrasi, yaitu mempunyai kelas 2, untuk itu perlu pengujian / kalibrasi kWh-meter.
4. Pengukuran pemakaian energi setiap pelanggan pada titik sambungan yang tidak seimbang.

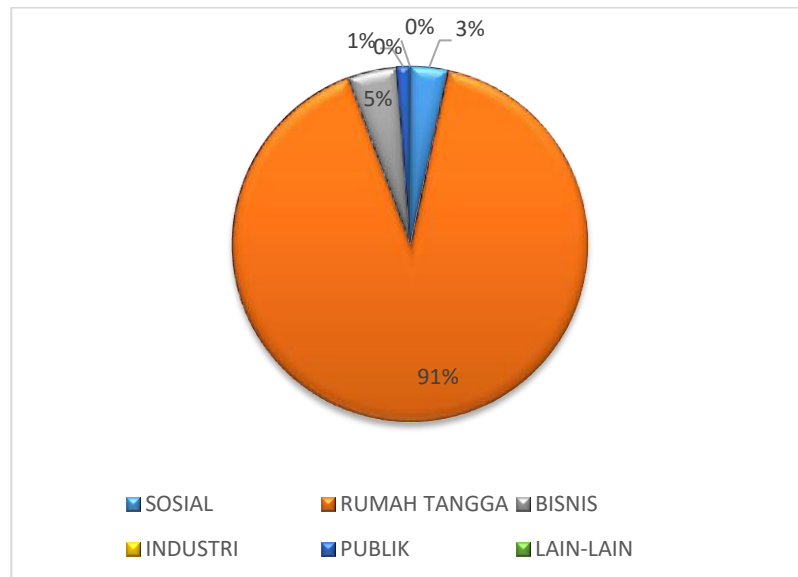
2.8.4 Teknik Penyeimbangan

Ada beberapa alternatif hasil penyeimbangan yang terjadi, yaitu :

1. Arus ketiga penghantar fasanya seimbang, penghantar netral arusnya nol, ini merupakan penyeimbangan beban yang sempurna apabila terjadi pada kabel trafo dan semua kabel jurusan. Tetapi kondisi seperti ini jarang terjadi karena besarnya pemakaian daya / energi oleh pelanggan selalu berubah besar dan karakteristiknya.
2. Arus ketiga fasanya seimbang, tetapi arus penghantar netralnya masih ada arus. Besarnya arus netral menurut SPLN toleransinya maksimal hanya 10 Amper.

2.9 Profil Beban Pelanggan PLN

Khusus pada Gardu-gardu di ULP Blangpidie sebesar 91% atau 33.689 Pelanggan adalah pelanggan Rumah Tangga perti yang ditampilkan pada gambar 2.7. pada Gambar 2.8 tampak profil beban dari beberapa jenis pelanggan hasil survey/penelitian PLN Litbang. Profil-profil beban tersebut akan dijadikan acuan dalam proses perhitungan Saving kWh, sehingga dapat di kelompokkan pelanggan – pelanggan yang dilakukan eksekusi metode MPR berdasarkan waktu puncak pemakaiannya dari jam 00.00 sampai dengan 23.59.



Gambar 2.16 Persentasi jumlah Pelanggan ULP Blangpidie
(Sumber : Penulis, 2020)

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam menyusun skripsi ini diperlukan beberapa kegiatan dengan urutan yang tepat dan terperinci. Hal ini dimaksudkan agar skripsi ini dapat tercapai tujuannya sesuai dengan waktu yang telah ditentukan. Oleh karena itu langkah-langkah pengerjannya disusun secara sistematis.

3.1 Data Pengukuran dan Pembebanan Gardu Distribusi 20 KV

Pengukuran yang biasa dilakukan adalah per-triwulan dalam satu tahun. Untuk itu, penulis mengambil data pembebanan sebelum dilaksanakan Metode MPR (Bulan Januari 2019), pengukuran beban trafo distribusi 20 KV Wilayah kerja PT.PLN (Persero) ULP Blangpidie. Dari Total 225 Trafo Distribusi 20 kV. Penulis mengambil sampel perhitungan untuk Penyulang Kantor ULP Blangpidie dengan Jumlah 10 buah trafo Distribusi 20 kV dalam waktu 19 Bulan Tahun Pelaksanaan untuk Penyeimbangan beban dengan metode MPR. Berikut data pengukurannya.

Tabel 3.1 Data Pengukuran Beban Trafo Distribusi Penyulang Kantor ULP Blangpidie

GARDU	DAYA (kVA)	ARAH PER JURUSAN	BEBAN INDUK (SEBELUM)			
			MALAM			
			R	S	T	N
BP 01	250	Jl.Pendidikan	93	39	72	60
		Jl.Sentral	76,4	59,3	89,1	52,4
		Jl.Selamat	85	88	64	64
		INDUK	254	186	224	160

BP 02	250	Jl.Kesehatan	0,2	2,3	0,3	0,1
		Jl.Irian	113	100	89,9	75,1
		Ds.Kuta Tinggi	111	50	120	72,2
		INDUK	226	171	211	156
BP 17	160	Ds.Glp Payong	130	122,5	92,9	57,1
		INDOSAT	12,9	2,4	2,4	11,5
		Ds.Kepala				
		Bandar	31,2	26,6	94,8	63,7
		INDUK	174,1	151,5	190,1	132,3
BP 31	200	Ds. Kuta Tinggi	33,6	28,9	20,5	32
		Ds. Medang Ara	20,5	29,3	7,9	20
		Ds. Medang Ara	18,2	53,5	109	68
		INDUK	72,3	111,7	137,4	120
BP 05	100	Ds. Baharu	76	102	37	95
		Ds. Babahlok	13	20	13	17
		INDUK	89	122	50	112
BP 06	50	Ds. Alue				
		Mangota	48,2	11,5	17,5	51
		Ds. Babahlhok	11,3	21,3	12,8	21,9
		INDUK	59,5	32,8	30,3	72,9
BP 07	100	Jl. At_Taqwa	52,9	36,9	64,5	52,3
		Jl. H. Ilyas	87,1	45,8	75,5	56,5

		INDUK	140	82,7	140	108,8
BP 40	50	Ds. Babah Lhok	21,2	16,8	23	13,4
		Ds. Kedai Paya	27,5	37,3	22,3	34,2
		INDUK	48,7	54,1	45,3	47,6
BP 09	160	Ds. Kuta Tinggi	92,7	47,5	88,4	63
		TELKOMSEL	7,8	5,5	7,1	3
		Ds. Babah Lhung	72,4	26,1	55,8	52,2
		INDUK	172,9	79,1	151,3	118,2
		Jl. Pendidikan	16,5	8,6	8,2	26,3
BP 18	160	Ie Quality	0	0	0	0
		Jl. Irian	80	77,9	68,4	51,6
		INDUK	96,5	86,5	76,6	77,9

Sumber : Data USD 07 Bulan Agustus Tahun 2019 ULP Blangpidie

3.2 Pelaksanaan Metode MPR

Berdasarkan data Pelaksanaan Metode MPR dari sampel 10 Trafo Distribusi penyulang Kantor ULP Blangpidie dari Bulan Januari 2019 - Bulan Juli 2020, terdapat 118 pelanggan Pasang Baru yang sudah tereksekusi, Berikut data Pelanggan yang terpasang sesuai Fasa pada Trafo Penyulang Kantor.

Tabel 3.2 Data Pelanggan Pasang Baru pada 10 Trafo Penyulang Kantor

NO GARDU	JUMLAH PASANG BARU (PELANGGAN)	FASA			3 FASA
		R	S	T	
BP 01	22	2	13	6	1
BP 02	15	0	15	0	0
BP 17	14	6	6	2	0
BP 31	12	12	0	0	0
BP 05	13	5	0	8	0
BP 06	12	0	8	4	0
BP 07	4	0	4	0	0
BP 40	5	2	0	3	0
BP 09	15	0	10	4	1
BP 18	6	0	0	6	0

Sumber : Penulis 2020

Tabel 3.3 Rincian Pelanggan Pasang Baru pada 10 Trafo Penyulang Kantor

WAKTU INPUT	NK	PEMILIK NK	DAYA	TRAFO	FASA
9/3/2019 10:22:33	86022584758	YELDI MISWAR	1.300	BP 01	R
9/7/2019 14:17:52	-	NETTY ULIDARMA	900	BP 01	S

9/16/2019					
10:25:45	86031287039	MUSLIM SYARIF	900	BP 01	S
9/23/2019					
11:45:26	12530	NOVIZAR	1.300	BP 01	S
10/26/2019					
10:49:09	7529	USMAN. WH	900	BP 01	S
10/26/2019					
11:20:03	5136	M. YUNUS	900	BP 01	T
10/26/2019					
12:15:40	2238	ERNALISA	900	BP 01	R
10/26/2019					
12:28:39	4262	ZIKRI	900	BP 01	T
11/5/2019					
11:02:09	4641	RAKIBAH	900	BP 01	S
12/7/2019					
15:22:59	15146	MUSDIN	900	BP 01	S
1/21/2020					
15:36:21	781	RULKIAH	900	BP 01	T
1/22/2020					
10:07:07	2737	BUKARI ALI	900	BP 01	S
1/25/2020					
16:11:00	7350	RASUDIN	900	BP 01	S

2/6/2020					R-S-T
10:56:12	86036788528	KTR BPPD	16.500	BP 01	(3 FASA)
4/22/2020					
9:30:53	12509	JUMARYANTO	1.300	BP 01	T
4/29/2020					
14:12:34	12509	JUMARYANTO	1.300	BP 01	T
6/9/2020					
8:42:20	-	LARWAN	900	BP 01	S
7/20/2020					
8:35:39	410	SAFRIJAL	900	BP 01	S
7/26/2020					
10:40:01	-	ASRIAL	900	BP 01	S
7/26/2020					
10:42:18	-	FIRNANDA	900	BP 01	S
7/26/2020					
10:44:11	-	IHSAN	900	BP 01	S
5/10/2020					
8:49:50	11069	HALIM	900	BP 01	T
9/3/2019					
10:00:12	5132	SANIATI	450	BP 02	S

10/29/2019					
8:26:19	994	AMIN ARIFIN	2.200	BP 02	S
10/29/2019					
12:39:07	5576	MAHYAR	900	BP 02	S
11/13/2019					
8:45:03	86033141085	SALMIAH	900	BP 02	S
12/7/2019					
15:57:49	498	SAHARA NINGSIH	1.300	BP 02	S
1/22/2020					
8:27:43	-	YULRAINA	900	BP 02	S
2/28/2020					
8:59:36	56129254406	LISMI	1.300	BP 02	S
3/24/2020					
10:13:30	4492	SYAMSIDAR III	1.300	BP 02	S
3/24/2020					
10:15:34	4492	SYAMSIDAR II	1.300	BP 02	S
4/14/2020					
9:59:46	438	RASIMAH	900	BP 02	S
5/17/2020					
9:37:13	9192	MULYANI	900	BP 02	S
7/21/2020					
12:21:50	34009933705	ANIES MAHADI	1.300	BP 02	S

12/10/2020					
15:23:39	-	TAJRI	1.300	BP 02	S
12/15/2020					
8:20:52	811	MUSRIADI	2.200	BP 02	S
7/8/2020					
10:05:37	4492	SYAMSIDAR I	1.300	BP 02	S
9/16/2019					
10:20:47	34037568986	ABD KHADIR	900	BP 05	T
9/23/2019					
12:23:51	8776	MUNAWIR	900	BP 05	T
11/13/2019					
9:14:34	11867	MARZIAH	900	BP 05	T
12/4/2019					
10:10:55	11265	SA'AYAN	900	BP 05	T
12/6/2019					
14:49:04	2413	ELYZAR	900	BP 05	T
12/17/2019					
11:16:11	86011699476	NUZIRMAN	900	BP 05	T
12/17/2019					
12:50:40	3791	ROSLIZAR	900	BP 05	T
1/10/2020					
12:02:53	7002	MASYITHAH	900	BP 05	T

3/16/2020					
8:16:16	13659	NURDIN	900	BP 05	R
3/24/2020					
10:17:12	4331	ALIMAT	900	BP 05	R
7/15/2020					
14:44:03	86011313722	HAKIMIN	1.300	BP 05	R
7/26/2020					
10:44:58	-	HAMDAN	900	BP 05	R
9/22/2019					
10:55:40	13658	NYAK PACUT	900	BP 05	R
8/27/2019					
11:38:33	22118462478	ARMI	900	BP 06	S
9/16/2019					
9:19:58	34037266021	IKBAR	900	BP 06	S
9/23/2019					
11:23:47	34037266821	IKBAR	900	BP 06	S
9/23/2019					
12:26:24	7236	SURYA DARMA	1.300	BP 06	S
9/29/2019					
15:44:27	13139	MUZAKIR	900	BP 06	T
10/29/2019					
12:33:03	5122	RACIDIN	900	BP 06	T

12/17/2019					
13:06:45	13163	ABDUL JALIL	900	BP 06	T
2/7/2010					
9:50:02	-	AMINAH	900	BP 06	T
3/24/2020					
10:19:03	3036	TPU ALUE DAMA	900	BP 06	S
4/2/2020					
8:22:23	6286	HALIMAH	900	BP 06	S
5/19/2020					
11:32:55	-	RAFASAH	900	BP 06	S
2/14/2020					
8:20:35	8456	SAID MUHAZAR	900	BP 06	S
10/29/2019					
12:16:06	596	RASIMAH	900	BP 07	S
2/7/2020					
9:13:08	-	IDRIS	900	BP 07	S
4/14/2020					
9:57:07	3645	HJ. RAMISAH	1.300	BP 07	S
5/17/2020					
9:59:17	-	Hj. RAMISAH	1.300	BP 07	S
9/29/2019					
15:40:02	3121	MARDIANA	1.300	BP 09	S

12/6/2019					
14:54:25	13312	A. YANI ARSYAD	900	BP 09	S
12/6/2019					
14:55:55	14459	SALMAN	900	BP 09	S
2/6/2020					
10:02:17	14859	SANIMAH	900	BP 09	S
2/14/2020					
8:59:27	14459	RISWAN	900	BP 09	S
4/2/2020	VIA				
11:52:42	YULIANDA	VIA YULIANDA	900	BP 09	S
5/3/2020					
8:00:07	4459	JASMI	900	BP 09	S
5/19/2020					
8:03:32	-	ALI IMRAN	900	BP 09	T
6/9/2020					
11:07:52	10425	ARMINA	900	BP 09	S
7/21/2020					
12:40:46	-	HAMDAN. HS	900	BP 09	S
8/4/2020					
8:52:28	-	ZHULIARDI	1.300	BP 09	S

12/10/2020					R-S-T
15:21:21	6543	MUALLEM	23.000	BP 09	(3 FASA)
1/24/2020					
9:55:01	-	SURYANI	900	BP 09	T
3/26/2020					
13:44:34	1873	CUT NYAK SABI	900	BP 09	T
5/24/2020					
12:17:47	15187	SABARUDDIN	900	BP 09	T
8/27/2019					
15:55:57	86022547631	ZAINAL ERFIN	900	BP 17	S
9/23/2019					
12:36:54	-	INDAH FARIDH I	1.300	BP 17	S
9/23/2019		INDAH FARIDHA			
12:37:39	-	II	1.300	BP 17	S
10/26/2019					
10:49:43	7828	RONY IRAWAN	1.300	BP 17	S
10/29/2019					
12:25:26	-	ERMIADI	900	BP 17	S
11/13/2019					
8:48:27	86033339614	ALI USMAN SARIF	900	BP 17	S

2/7/2020					
9:29:15	-	BUMG I	900	BP 17	R
2/7/2020					
9:30:28	2,21158E+11	BUMG II	900	BP 17	R
2/7/2020					
9:31:30	2,21158E+11	BUMG III	900	BP 17	R
4/2/2020					
15:06:07	2087	TERMINAL BIS II	1.300	BP 17	R
4/2/2020					
16:06:31	2807	TERMINAL BUS III	1.300	BP 17	R
4/2/2020					
16:07:06	2087	TERMINAL I	1.300	BP 17	R
6/12/2020					
11:10:58	-	MAYYAR	1.300	BP 17	T
6/28/2020					
8:48:26	-	A. RAHMAN	1.300	BP 17	T
9/29/2019					
15:50:12	3139	DAHYAR	900	BP 18	T
10/29/2019					
12:03:07	8784	DRS RUSLI	900	BP 18	T
10/29/2019					
12:08:22	8784	DRS RUSLI	900	BP 18	T

11/5/2019					
10:44:25	1526	ELFIZA	1.300	BP 18	T
4/22/2020					
10:17:48	7495	YUNISA	900	BP 18	T
5/2/2019		TOKO			
8:08:33	-	MUHAMMADIYAH	900	BP 18	T
9/3/2019					
10:28:53	32126196321	HASRUL	900	BP 31	R
9/3/2019					
10:30:11	32126196321	HASRUL	900	BP 31	R
9/29/2019					
15:41:29	10663	AGUS RIADI	3.500	BP 31	R
9/29/2019					
15:49:39	14125	FITRIANI	900	BP 31	R
10/26/2019					
12:08:41	7859	HJ. HASLINAR	1.300	BP 31	R
3/24/2020					
15:17:34	22121457406	MARZUKI	900	BP 31	R
6/15/2020					
9:50:21	13908	POSYANDU	900	BP 31	R
8/10/2019					
9:57:15	-	MERI SANTI	1.300	BP 31	R

9/17/2019					
9:24:38	11198	MARNIATI	900	BP 31	R
11/2/2019					
8:59:45	10952	ARIF TAKDIR	900	BP 31	R
3/1/2019					
17:13:31	1169	SAHARA NINGSIH	900	BP 31	R
5/24/2019		ILYAS			
12:11:14	7332	ABDUALLAH	1.300	BP 31	R
1/10/2020		POSKO MPTT			
10:28:55	13642	ABDYA	1.300	BP 40	T
6/12/2020					
11:15:16	86011307310	PEBRIZUL, SH	900	BP 40	R
8/10/2019					
9:56:41	-	AMRIZAL	900	BP 40	T
9/9/2019					
10:17:11	-	SUHAIMI	3.500	BP 40	T
12/10/2019					
15:20:14	56400859056	M. SANI	900	BP 40	R

Sumber : Penulis 2020

3.3 Ketidak seimbangan Beban

Berdasarkan *Unbalanced Load* yaitu tidak boleh $> 30\%$ dari kapasitas trafo, maka terdapat 3 Trafo Distribusi dari 10 sampel Trafo di Penyulang Kantor yang melebihi ketidakseimbangan beban, dengan metode MPR diharapkan dapat lebih baik dalam hal ketidakseimbang beban tersebut.

Tabel 3.4 Data Trafo dan Ketidak Seimbangan beban Trafo Penyulang Kantor

GARDU	DAYA (kVA)	WBP				UNBALANCED TRAFO	
		ARUS BEBAN INDUK				%	KRITERIA
		R	S	T	N		
BP 01	250	254	186	224	160	11	< 30 %
BP 02	250	226	171	211	156	11	< 30 %
BP 17	160	174,1	151,5	190,1	132,2	8	< 30 %
BP 31	200	72,3	111,7	137,4	120	25	< 30 %
BP 05	100	89	122	50	112	35	> 30 %
BP 06	50	59,5	32,8	30,3	72,9	30,3	> 30 %
BP 07	100	140	82,7	140	108,8	24	< 30 %
BP 40	50	48,7	54,1	45,3	47,6	6	< 30 %
BP 09	160	172,9	79,1	151,3	118,2	34,4	> 30 %
BP 18	160	96,5	86,5	76,6	77,9	7,7	< 30 %

Sumber : Penulis 2020

3.4 Simulasi Penyeimbangan Beban Metode MPR

Berdasarkan dari data pengukuran beban Waktu Beban Puncak, terlebih dahulu dilakukan simulasi pembagian beban di tiap fasa, untuk mengetahui seberapa besar beban yang dipindahkan di masing – masing fasa. Berikut simulasi untuk 10 Trafo di Penyulang Kantor :

Tabel 3.5 Data Simulasi Penyeimbangan beban Metode MPR

GARDU	BEBAN INDUK (SEBELUM)							
	MALAM			RATA	SIMULASI MPR			RATA
	R	S	T	RATA	R	S	T	RATA
BP 01	254	186	224	221	262	238	248	249
BP 02	226	171	211	203	226	231	211	223
BP 17	174,1	151,5	190,1	172	198,1	175,5	198,1	191
BP 31	72,3	111,7	137,4	107	120,3	111,7	137,4	123
BP 05	89	122	50	87	109	122	82	104
BP 06	59,5	32,8	30,3	41	59,5	64,8	46,3	57
BP 07	140	82,7	140	121	140	98,7	140	126
BP 40	48,7	54,1	45,3	49	56,7	54,1	57,3	56
BP 09	172,9	79,1	151,3	134	172,9	119,1	171,3	154
BP 18	96,5	86,5	76,6	87	96,5	86,5	100,6	95

Sumber : Penulis 2020

3.5 Standard Operating Procedure (SOP)

Untuk keberhasilan pekerjaan penyeimbangan beban metode MPR perlu diatur urutan kerja, sehingga hasilnya bisa maksimal. Urutan kerja atau Standar Operasi dari penyeimbangan beban metode MPR ini, adalah disusun sebagai berikut:

1. Pelaksana :
Gerai Daya, Petugas Pemasangan APP dan Spv teknik
2. Alat Kerja dan Bahan
 - a. Helmet
 - b. Sepatu Safety
 - c. Pakaian Kerja
 - d. Tali Panjat / Sepatu Safety
 - e. Kabel NFA2X 2x10 mm²; 0,6/1 kV
 - f. Conector SR
 - g. Peralatan Kunci dan Tang
3. Langkah Kerja
 - a. Gerai Daya membuat Surat Pernyataan MPR
 - b. Spv Teknik memeriksa dan mengisi lembar Pernyataan MPR untuk memperbolehkan Pasang Baru, Apabila di lokasi pemasangan sudah standar, seperti beban Trafo Distribusi tidak overload, Adanya Jaringan SUTR dan Fasa beban Trafo yang disyaratkan
 - c. Petugas Kantor atau Spv Teknik menginput Data Surat Pernyataan MPR di Google Docs

- d. Petugas Pemasangan APP melaporkan kepada Spv. Teknik sebelum dan sesudah pemasangan Sambungan Rumah (SR) dan APP
- e. Setiap Minggu Spv Teknik memeriksa ke lapangan bersama Petugas pemasangan APP
- f. Setiap 1 Bulan Sekali pihak Gerai Daya, Petugas Pemasangan APP dan SPV Teknik melakukan evaluasi
- g. Setiap Triwulan Spv Teknik mengevaluasi beban Gardu Trafo Distribusi dengan MPR agar Proses Pasang Baru dapat menyeimbangkan beban Trafo

3.6 Eksekusi Penyeimbangan di Lapangan

Berdasarkan Surat Pernyataan MPR yang disahkan Spv. Teknik dengan data simulasi perhitungan sederhana yang telah dilakukan, eksekutor melaksanakan penyambungan Pasang Baru Pelanggan di Lapangan. Untuk perintah-perintah penyambungan, eksekutor melihat daftar fasa yang dipasang dan sesuai arahan Spv.Teknik.



Gambar 3.1 Alur Proses Eksekusi Metode MPR

Sumber : Penulis 2020

Berdasarkan data hasil perhitungan sederhana yang telah dilakukan, akan lebih mudah menentukan perpindahan nilai arus yang harus dilakukan, tetapi tidak menutup kemungkinan perpindahan nilai arus dilakukan berdasarkan kondisi di lapangan. Bukan hanya faktor profil pelanggan, tetapi ada faktor teknis yang lain menjadi pertimbangan, seperti kondisi SUTR 2 fasa, SR Deret/Seri dan Adanya PJU (Penerangan Jalan Umum).

3.7 Mengukur Tahanan Pembumian Netral Trafo

Mengukur tahanan pembumian netral trafo bertujuan untuk mengetahui seberapa besar nilai hambatan dari fasa netral trafo sehingga dapat digunakan sebagai perhitungan nilai losses akibat ketidakseimbangan dari fasa R-S-T pada sebuah trafo distribusi 20 kV. Dengan menggunakan Digital Erath Tester dapat diketahui nilai tahanan grounding masing – masing gardu.



Gambar 3.2 Pengukuran Gardu

Sumber : Penulis 2020

Tabel 3.6 Data hasil pengukuran tahanan pembumian

NO	NO GARDU	DAYA (kVA)	DAYA AKTIF (kW)	TAHANAN GROUNDING (Ohm)
1	BP 01	250	212,5	2,32
2	BP 02	250	212,5	3,72
3	BP 17	160	136	2,5
4	BP 31	200	170	2,5
5	BP 05	100	85	3,3
6	BP 06	50	43	3,24
7	BP 07	100	85	3,25
8	BP 40	50	43	5,6
9	BP 09	160	136	3,06
10	BP 18	160	136	5,07

Sumber : Penulis 2020

BAB 4

HASIL DAN ANALISA

Bab ini menjelaskan Hasil Penelitian Sebelum dan Sesudah Pelaksanaan penyeimbangan Metode MPR.

4.1 Analisa Penyeimbangan Berdasarkan Simulasi VS Pemasangan di Lapangan

Ada beberapa perbedaan point perbedaan antara penyeimbangan berdasarkan simulasi beban hasil penyeimbangan dengan Pelaksanaan eksekusi Penyeimbangan di lapangan, diantaranya:

1. Penyeimbangan berdasarkan data hasil pengukuran beban saat waktu beban puncak selama kurun waktu 19 Bulan, dilihat dari data update USD 07 (data pengukuran beban) Triwulan dikarenakan eksekusi Metode MPR berdasarkan data USD 07 Terbaru.
2. Faktor Beban Pelanggan dan Lampu Penerangan Jalan Umum sangat mempengaruhi Pembebanan di tiap Fasa, dikarenakan untuk pemakaian Lampu penerangan tersebut hanya menggunakan 1 Fasa di jaringan Saluran Tegangan Rendah sehingga ada 1 fasa yang lebih besar di pembebanan Trafo.
3. Saat Eksekusi Metode MPR, Pihak instalatur membantu pemindahan fasa di Tiang SKTR saat ada Pasang Baru sehingga tidak hanya 1 pelanggan yang berubah fasa tetapi di tiang tersebut, sebagai percepatan Penyeimbangan Metode MPR.

4.2 Hasil Penyeimbangan MPR

Berdasarkan data Pengukuran USD 07 Bulan Juli tahun 2020 yang telah dilaksanakan Metode MPR dalam kurun waktu 19 Bulan, di dapat selisih penurunan nilai arus fasa netral pada kondisi Waktu Beban Puncak pada 9 Trafo Distribusi dan hanya 1 Trafo yang mengalami kenaikan arus fasa netral. Sehingga dapat diartikan bahwa proses keseimbangan beban trafo distribusi 20 kV mengalami perbaikan (penurunan fasa netral) meskipun nilai arus fasa netral tersebut masih jauh mendekati nol. Berikut data perbaikan nilai arus fasa netral sebelum dan sesudah Metode MPR dilaksanakan.

Tabel 4.1 Data Hasil Penyeimbangan Metode MPR

GARDU	PENGUKURAN BEBAN GARDU							
	BEBAN INDUK (SEBELUM)				BEBAN INDUK (SESUDAH)			
	R	S	T	N	R	S	T	N
BP 01	254	186	224	160	284	279	264	140
BP 02	226	171	211	156	197,6	172,9	208	160
BP 17	174,1	151,5	190,1	132	176,6	149,2	156,5	105
BP 31	72,3	111,7	137,4	120	90,4	139	109	85
BP 05	89	122	50	112	80,6	123,9	98,9	108
BP 06	59,5	32,8	30,3	73	67,8	19,1	48,7	53
BP 07	140	82,7	140	109	46,8	43,9	63,6	53
BP 40	48,7	54,1	45,3	48	49,2	52,6	49,1	34
BP 09	172,9	79,1	151,3	118	134,1	115,1	125	109
BP 18	96,5	86,5	76,6	78	86,9	87,6	76,7	71

Sumber : Penulis 2020

4.3 Kondisi Unbalanced Trafo Distribusi 20 KV Sebelum dan Sesudah

Berdasarkan data Pengukuran yang telah dilakukan setelah proses penyeimbangan, di dapat perubahan yang cukup baik dari aspek Unbalanced Trafo Distribusi 20 KV, Sehingga dapat dikatakan Penyeimbangan metode MPR dapat menyeimbangkan Unbalanced Trafo Distribusi 20 kV, meskipun ada beberapa trafo yang masih belum mencapai <30%.

1. No Gardu Distribusi BP. 01

Data dari trafo distribusi sebagai berikut:

- a. Daya : 250 KVa
- b. Tegangan Kerja : 21/20.5/20/19.5/19/18.5/18 kV // 400 V
- c. Trafo : 1 x 3 Phasa

Tabel 4.2 Data pengukuran beban puncak sebelum dan sesudah penyeimbangan Trafo BP 01

BP 01	PENGUKURAN BEBAN PUNCAK		
	R	S	T
SEBELUM	254	186	224
SESUDAH	284	279	264

Sumber : Penulis 2020

Sehingga dari data diatas dapat dihitung:

$$S = 250 \text{ kVA}$$

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

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3}xV} = \frac{25000}{\sqrt{3}x400} = 361 \text{ A}$$

Persentase Pembebanan Sebelum metode MPR

$$I_{rata} = \frac{IR+IS+IT}{3} = \frac{254+186+224}{3} = 221 \text{ Ampere}$$

$$\text{Persentase pembebanan trafo adalah : } \frac{I_{rata}}{I_{FL}} = \frac{221}{361} = 61 \%$$

Dari perhitungan di atas terlihat bahwa Waktu Beban Puncak, Persentase pembebanan yaitu 61 %.

Persentase Pembebanan Sesudah metode MPR

$$I_{rata} = \frac{IR+IS+IT}{3} = \frac{284+279+264}{3} = 275 \text{ Ampere}$$

$$\text{Persentase pembebanan trafo adalah : } \frac{I_{rata}}{I_{FL}} = \frac{275}{361} = 76 \%$$

Dari perhitungan di atas terlihat bahwa Waktu Beban Puncak, Persentase pembebanan yaitu 76 %.

2. Analisa ketidakseimbangan beban pada trafo

Dengan demikian, rata-rata ketidakseimbangan beban waktu beban puncak sebelum penyeimbangan metode MPR adalah :

$$IR = a \times I, \text{ maka } a = \frac{IR}{I} = \frac{254}{221} = 1,14$$

$$IS = b \times I, \text{ maka } b = \frac{IS}{I} = \frac{186}{221} = 0,84$$

$$IT = c \times I, \text{ maka } c = \frac{IT}{I} = \frac{224}{221} = 1,03$$

Berdasarkan perhitungan diatas, persentase rata-rata ketidakseimbangan beban pada trafo dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$= \frac{\{|a - 1| + |b - 1| + |c - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$= \frac{\{|1,14 - 1| + |0,84 - 1| + |1,03 - 1|\}}{3} \times 100\% = 11\%$$

Untuk menghitung rata-rata ketidakseimbangan beban waktu beban puncak sesudah penyeimbangan metode MPR adalah :

$$IR = a \times I, \text{ maka } a = \frac{IR}{I} = \frac{284}{275} = 1,03$$

$$IS = b \times I, \text{ maka } b = \frac{IS}{I} = \frac{279}{275} = 1,01$$

$$IT = c \times I, \text{ maka } c = \frac{IT}{I} = \frac{264}{275} = 0,96$$

Berdasarkan perhitungan diatas, persentase rata-rata ketidakseimbangan beban pada trafo dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$= \frac{\{|a - 1| + |b - 1| + |c - 1|\}}{3} \times 100\%$$

$$= \frac{\{|1,03 - 1| + |1,01 - 1| + |0,96 - 1|\}}{3} \times 100\% = 2,85\%$$

Berdasarkan metode perhitungan diatas, Pada trafo BP 01, dapat diketahui hasil perbandingan sebelum dan sesudah penyeimbang metode MPR untuk Sampel 10 Trafo di Penyulang Kantor.

Tabel 4.3 Data Unbalanced Sebelum dan Sesudah Penyeimbangan Metode MPR

GARDU	DAYA (kVA)	UNBALANCED TRAF0 (%)		KRITERIA
		SEBELUM	SESUDAH	
BP 01	250	11	2,85	< 30 %
BP 02	250	11	12,81	< 30 %
BP 17	160	8	6,48	< 30 %
BP 31	200	25	6,07	< 30 %
BP 05	100	35	11,9	< 30 %
BP 06	50	30,3	61,06	> 30 %
BP 07	100	24	12,10	< 30 %
BP 40	50	6	10,45	< 30 %
BP 09	160	34,4	6,92	< 30 %
BP 18	160	7,7	14,76	< 30 %

Sumber : Penulis 2020

4.4 Analisa Susut Energi

Berdasarkan data hasil selisih nilai arus yang telah di dapatkan sebelum dan sesudah proses penyeimbangan beban trafo distribusi 20 KV, aka dapat dihitung pula bilai rugi- rugi berdasarkan hasil pengukuran (Laporan USD 07) dan berdasarkan hasil perhitungan. Dari hasil penyeimbangan metode MPR pada sampel 10 buah yang telah di dapat Pengukuran trafo distribusi di penyulang Kantor PT PLN (Persero) ULP

Blangpidie yang telah dilakukan selama kurang 2 tahun, di dapatlah nilai rugi-rugi penyebab susut yang berhasil diselamatkan, berikut datanya:

1. No Gardu Distribusi BP. 01
 - a. Daya : 250 kVA
 - b. Tegangan Kerja : 21/20.5/20/19.5/19/18.5/18 kV // 400 V
 - c. I_G dan R_G : 140 A dan 2,32 Ohm

Tabel 4.4 Data sebelum dan sesudah penyeimbangan Trafo BP 01

BP 01	PENGUKURAN BEBAN PUNCAK (A)				SELISIH ARUS	TAHANAN GROUNDIN G (Ω)
	R	S	T	N		
SEBELUM	254	186	224	160	20	2,32
SESUDAH	284	279	264	140		

Sumber : Penulis 2020

Untuk daya aktif Trafo (P):

$$P = S \cdot \cos \phi = 250 \cdot 0,85 = 212,5 \text{ kW}$$

Losses akibat arus netral yang mengalir ke tanah dapat dihitung,

Sebagai berikut :

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G = (20)^2 \cdot 2,32 = 928 \text{ watt} = 0,928 \text{ Kw}$$

Berdasarkan metode perhitungan diatas, pada trafo BP 01, dapat diketahui hasil perbandingan sebelum dan sesudah Penyeimbangan dengan metode MPR untuk sampe 10 trafo di Penyulang Kantor.

Tabel 4.5 Data Saving rugi-rugi trafo yang di seimbangkan

Gardu	Daya (KVa)	Daya Aktif (Kw)	Arus Netral N (A)		Ground (Ohm)	Selisih Netral (A)	Rugi Rugi (Kw)
			Sebelum	Sesudah			
BP 01	250	250	160	140	2,32	20	0,928
BP 02	250	250	156	160,4	3,72	-4	-0,072
BP 17	160	160	132	104,8	2,5	28	1,891
BP 31	200	200	120	85	2,5	35	3,063
BP 05	100	50	112	107,9	3,3	4	0,055
BP 06	50	100	72,9	53,3	3,24	20	1,245
BP 07	100	100	109	53,4	3,25	55	9,975
BP 40	50	50	48	34,4	5,6	13	0,976
BP 09	160	160	118,2	108,6	3,06	10	0,282
BP 18	160	160	77,9	70,6	5,07	7	0,270

Sumber: Penulis,2020

4.5 Faktor Penyebab Ketidakseimbangan Trafo Distribusi 20 KV

1. Penggunaan beban yang tidak merata atau seimbang di tiap fasanya pada trafo distribusi 20 KV salah satunya tidak disiplinnya petugas saat penyambungan pelanggan baru sehingga menyebabkan ketimpangan beban sehingga diperlukan Metode MPR sebagai solusi Penyeimbangan dari Proses Penyambungan Pelanggan Baru.
2. Kondisi penghantar, dalam hal ini kabel twisted 3 phasa yang memiliki banyak sambungan kurang baik, Isolasi kabel yang terbakar, Isolasi kabel terkelupas

sehingga menyebabkan adanya Drop Tegangan dikarenakan sesuai Peraturan Direksi PT PLN (Persero) Nomor : 0299.P/DIR/2016 Tentang Perubahan Peraturan Direksi PT PLN (Persero) Nomor 0040.P/DIR/2016 perihal Perubahan Masa Manfaat Aset Tetap dan Perhitungan Biaya Penyusutan Aset Tetap PT PLN (Persero) Dimana Umur Masa Manfaat Aset Kabel Twisted 3 Phasa Memiliki Umur Maksimal 40 Tahun, sehingga apabila Umur Masa manfaat ini terlewat mengakibatkan kerusakan dan perlu diganti.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari total 118 Pelanggan yang dilakukan Pemasangan Metode MPR pada 10 trafo Penyulang Kantor, terdapat 107 Pelanggan dengan Tarif Rumah Tangga, 2 Pelanggan dengan Tarif Sosial, 8 Pelanggan dengan Tarif Publik dan 1 Pelanggan dengan Tarif Bisnis
2. Pemerataan beban dilakukan dengan metode MPR guna menyeimbangkan dari proses pasang baru dari data USD 07 dengan phase yang berbengan ringan
3. Dengan sampel 10 buah trafo distribusi di penyulang kantor pada PT PLN (Persero) ULP Blangpidie, didapat hasil penekanan losses di hantaran netral sebesar 18,61 kW di beban puncak dan perbaikan ketidakseimbangan beban pada Trafo tersebut yang semula ada 3 Trafo >30% menjadi 1 trafo
4. Dengan adanya metode MPR ini sangat berguna untuk proses manajemen pasang baru yang selama ini belum maksimal dalam pelaksanaan proses pasang baru

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan lebih lanjut karena dari hasil penelitian ini masih terdapat beberapa kekurangan, dan oleh karena itu penulis perlu untuk memberikan saran sebagai berikut :

1. Pada Jaringan Tegangan Rendah, sebaiknya dilengkapi dengan tanda identifikasi kabel. Identifikasi terdiri dari arah jurusan, arah phase dan phase suatu kabel JTR
2. Untuk Pelaksanaan metode MPR petugas dan Pegawai harus selalu konsisten dalam pelaksanaannya sehingga metode ini dapat lebih maksimal
3. Perlu ada Penambahan Alat Panel pada Tiang JTR yang berfungsi untuk penambahan Port Schoon pada Sambungan Rumah sehingga Pemasangan Fasa lebih baik dan losses dari Penyambungan Rumah dapat diminimalisir.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar, A & S. Kuwahara, 1975, Teknik Tenaga Listrik. Jilid 2. Saluran Transmisi, Praditya Paramita, Jakarta
- Chapman, Stephen J. 2005. Electric Machinery Fundamental, Mc Graw Hill Cornanies, New york.
- Gamma Ayu K.S, 2018 Analisa Pengaruh ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi Studi Kasus pada PT PLN (Persero) Rayon Blora, Universitas Muhammadiyah Surakarta: Skripsi
- Kadir, A. 1989, Transformator, PT.Elex Media Komputindo, Jakarta.
- PT PLN (Persero). 2010. Buku 1 Kriteria Disain Enjinereng Konstruksi jaringan Distribusi Tenaga Listrik. Jakarta : PT PLN (Persero)
- PT PLN (Persero). 2010. Buku 3 Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Rendah Tenaga Listrik. Jakarta : PT PLN (Persero)
- PT PLN (Persero). 2010. Buku 4 Standar Konstruksi Gardu Distribusi Dan Gardu Hubung Tenaga Listrik. Jakarta : PT PLN (Persero)
- Rahmadsyah Pulungan, 2017, Analisis Susut Energi yang terjadi akibat Pembebanan tidak seimbang pada Trafo Distribusi 20 kV. Universitas Pancabudi Medan: Skripsi
- Sarimun N, Wahyudi. 2014. Buku Saku Pelayanan Teknik. Edisi Ketiga. Jakarta : Garamond Lintas
- Standar Nasional Indonesia (SNI), 2000, Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL 2000) di Indonesia, Jakarta
- Standar PT PLN (Persero), 2007, Spesifikasi Transformator Transformator Distribusi Bag.1, PT PLN (Persero), Jakarta
- Sudarminto, 1992, Teknik Perencanaan dan Pemasangan Instalasi Listrik, Penerbit Suryatmo, Bandung
- Suhadi, 2008, Teknik Distribusi Tenaga Listrik. Jilid I. Cetakan I. Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta

JURNAL :

- Aryza, S., Irwanto, M., Lubis, Z., Siahaan, A. P. U., Rahim, R., & Furqan, M. (2018). A Novelty Design Of Minimization Of Electrical Losses In A Vector Controlled Induction Machine Drive. In IOP Conference Series: Materials Science And Engineering (Vol. 300, No. 1, P. 012067). IOP Publishing.
- .

- Fitriani, W., Rahim, R., Oktaviana, B., & Siahaan, A. P. U. (2017). Vernam Encrypted Text in End of File Hiding Steganography Technique. *Int. J. Recent Trends Eng. Res*, 3(7), 214-219.
- Hamdani, H., Tharo, Z., & Anisah, S. (2019, May). Perbandingan Performansi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Antara Daerah Pegunungan Dengan Daerah Pesisir. In *Seminar Nasional Teknik (Semnastek) Uisu* (Vol. 2, No. 1, Pp. 190-195).
- Hariyanto, E., Lubis, S. A., & Sitorus, Z. (2017). Perancangan prototipe helm pengukur kualitas udara. *KOMIK (Konferensi Nasional Teknologi Informasi dan Komputer)*, 1(1).
- Iqbal, M., Siahaan, A. P. U., Purba, N. E., & Purwanto, D. (2017). Prim's Algorithm for Optimizing Fiber Optic Trajectory Planning. *Int. J. Sci. Res. Sci. Technol*, 3(6), 504-
- Muttaqin, Muhammad. "Analisa Pemanfaatan Sistem Informasi E-Office Pada Universitas Pembangunan Panca Budi Medan Dengan Menggunakan Metode Utaut." *Jurnal Teknik dan Informatika 5.1* (2018): 40-43.
- Rahim, R., Aryza, S., Wibowo, P., Harahap, A. K. Z., Suleman, A. R., Sihombing, E. E., ... & Agustina, I. (2018). Prototype File Transfer Protocol Application For LAN And Wi-Fi Communication. *Int. J. Eng. Technol.*, 7(2.13), 345-347.
- Rahmaniar, R. (2019). Model flash-nr Pada Analisis Sistem Tenaga Listrik (Doctoral Dissertation, Universitas Negeri Padang).
- Rossanty, Y., Aryza, S., Nasution, M. D. T. P., & Siahaan, A. P. U. (2018). Design Service Of QFC And SPC Methods In The Process Performance Potential Gain And Customers Value In A Company. *Int. J. Civ. Eng. Technol*, 9(6), 820-829.
- Siagian, P., & Fahreza, F. (2020, February). Rekayasa Penanggulangan Fluktuasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Vehicle To Grid (V2G). In *Seminar Nasional Teknologi Komputer & Sains (SAINTEKS)* (Vol. 1, No. 1, Pp. 356-361).
- Siagian, P., Syafruddin, H. S., & Tharo, Z. (2020, September). Pengaruh Tekanan Terhadap Inception Partial Discharge Pada Bahan Dielektrik Komposit Dan Non-Komposit. In *Seminar Nasional Teknik (SEMNASTEK) UISU* (Vol. 3, No. 1, Pp. 134-141).
- Siahaan, A. P. U., Ikhwan, A., & Aryza, S. (2018). A Novelty Of Data Mining For Promoting Education Based On FP-Growth Algorithm
- Tarigan, A. D., & Pulungan, R. (2018). Pengaruh Pemakaian Beban Tidak Seimbang Terhadap Umur Peralatan Listrik. *RELE (Rekayasa Elektrikal Dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 1(1), 10-15.
- Wibowo, P., Lubis, S. A., & Hamdani, Z. T. (2017). Smart Home Security System Design Sensor Based On Pir And Microcontroller. *International Journal Of Global Sustainability*, 1(1), 67-73.