



## **SKRIPSI**

**ANALISIS PENGARUH BEBAN LEBIH TERHADAP PENURUNAN  
KAPASITAS TRANSFORMATOR DISTRIBUSI 3 FASA  
(STUDI KASUS DI PT. PLN (PERSERO) ULP BALAPULANG)**

Oleh :

Nama : Dwita Auliana

NIM : 42516008

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS PERADABAN  
BUMIAYU  
2020**

PERLETIJAN SKRIPSI

**LEMBAR PERNYATAAN KEABSAHAN SKRIPSI**

Judul : Analisis Pengaruh Beban Lebih Terhadap Penurunan Kapasitas Transformator Distribusi 3 Fasa (Studi kasus di PT. PLN (Persero) ULP Balapulang)

Nama : Dwita Auliana

NIM : 42516008

“Saya menyatakan dan bertanggung jawab dengan sebenarnya bahwa Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali cuplikan dan ringkasan yang masing-masing telah saya jelaskan sumbernya. Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya diatas, maka akan saya pertanggung jawabkan sepenuhnya.

Bumiayu, 19 Agustus 2020



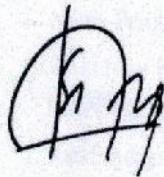
Dwita Auliana  
Penulis

## PERSETUJUAN SKRIPSI

Judul : Analisis Pengaruh Beban Lebih Terhadap Penurunan Kapasitas  
Transformator Distribusi 3 Fasa (Studi kasus di PT. PLN  
(Persero) ULP Balapulang)  
Nama : Dwita Auliana  
NIM : 42516008

Skripsi ini telah diperiksa dan disetujui untuk diajukan dalam  
Sidang Skripsi  
Bumiayu, 19 Agustus 2020

Pembimbing I



Nasrulloh, S.T., M.,Sc  
NIDN. 0614029003

Pembimbing II



Ikbal Tawakal, S.T  
NIPY. 1704134

Mengetahui :

Ketua Jurusan Teknik Elektro



Nasrulloh, S.T., M.,Sc  
NIDN. 0614029003

## PENGESAHAN SKRIPSI

Judul : Analisis Pengaruh Beban Lebih Terhadap Penurunan Kapasitas  
Transformator Distribusi 3 Fasa (Studi kasus di PT. PLN  
(Persero) ULP Balapulang)

Nama : Dwita Auliana

NIM : 42516008

Skripsi ini telah diujikan dan dipertahankan di depan Dewan Penguji pada Sidang Skripsi tanggal 29 Agustus 2020. Menurut pandangan kami, Skripsi ini memadai dari segi kualitas untuk tujuan penganugerahan gelar


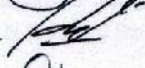


Sarjana Teknik (S. T)

Bumiayu, 8 September 2020

### Nama Penguji


1. Rizki Noor Prasetyono, M.Pd  
NIDN. 0611099101
2. Randi Adzin M, S.Si, M.Sc  
NIDN. 0627088602
3. Ikbal Tawakal, S.T  
NIPY. 1704134
4. Nasrulloh, S.T., M.,Sc  
NIDN. 0614029003

### Tanda Tangan

1. 
2. 
3. 
4. 

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Peradaban

  
Dr. Pudjono, S.U., A.pt  
NUPN. 9990000424

Ketua Jurusan Teknik Elektro

  
Nasrulloh, S.T., M.,Sc  
NIDN. 0614029003

## ABSTRAK

Pendistribusian energi listrik dalam sistem distribusi membutuhkan peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk mentransmisikan dan mengubah energi listrik dari satu nilai tegangan ke nilai tegangan lainnya yang disebut dengan trafo. Seiring dengan bertambahnya jumlah konsumen atau pengguna daya listrik, maka terjadi ketidakseimbangan pada trafo untuk mendistribusikan suatu beban energi listrik, sehingga memicu gejala overload pada trafo. Kelebihan beban terjadi karena beban tenaga listrik yang didistribusikan ke konsumen melebihi 80% dari beban nominal sehingga menimbulkan kerugian. Akibat dari overload ini adalah meningkatnya temperatur pada trafo sehingga menimbulkan panas dan menyebabkan degradasi material trafo. Proses ini dapat mempercepat proses pengurangan kapasitas trafo. Penurunan kapasitas trafo dapat menyebabkan kerusakan tidak hanya pada trafo tetapi juga kinerjanya mungkin tidak dapat diandalkan. Penelitian ini menggunakan metode perhitungan dasar analisis beban lebih pada Trafo dan metode Analisis Regresi Linear Sederhana. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilaksanakan disimpulkan bahwa ketidakseimbangan beban dalam menyalurkan energi listrik kepada pengguna menjadikan transformator distribusi 3 fasa mengalami beban lebih. Efek dari beban lebih adalah terjadi penurunan kapasitas transformator distribusi 3 fasa. Penelitian ini menggunakan 10 unit trafo distribusi 3 fasa di PT. PLN (Persero) Balapulang.

**Kata kunci: trafo distribusi 3 fasa, beban lebih, kapasitas berkurang, distribusi**

## KATA PENGANTAR

*Assalam'ualaikum Wr. Wb*

Puji syukur Alhamdulillah peneliti panjatkan kehadirat Alloh SWT atas berkat dan rahmat- Nya, sehingga skripsi ini dapat terselesaikan tepat pada waktunya. Sholawat dan salam senantiasa tertuju pada Rasulullah Muhammad SAW, yang telah menuntun umatnya menuju jalan Alloh SWT.

Skripsi dengan judul “Analisis Pengaruh Beban lebih Terhadap Penurunan Kapasitas Transformator Distribusi 3 Fasa” diajukan dan dipertahankan untuk memenuhi sebagai syarat gelar Sarjana di jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Peradaban Bumiayu. Skripsi ini tidak lepas dari bimbingan, dukungan dan bantuan dari berbagai pihak dan pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada :

1. Bapak Dr. Pudjono, SU., Apt. Selaku, Dekan Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Peradaban Bumiayu.
2. Bapak Nasrulloh, S.T., M.Sc. Selaku. Ketua Jurusan Program Studi S1 Teknik Elektro, Universitas Peradaban Bumiayu, yang telah memberikan dukungan dan kesempatan kepada penulis untuk mengikuti dan menyelesaikan studinya di Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Rizki Noor Prasetyono, M.Pd selaku, Dosen Pembimbing Akademik Program Studi S1 Teknik Elektro di Universitas Peradaban Bumiayu
4. Bapak Nasrullah, S.T., M.Sc. Selaku Dosen Pembimbing pertama yang dengan segala kesabaran dan keikhlasan nya telah memberi bimbingan, motivasi dan arahan dari awal penulisan sehingga terselesaikan nya skripsi ini.
5. Bapak Iqbal Tawakal S.T. Selaku dosen Pembimbing kedua yang telah banyak memberikan bimbingan, motivasi, ilmu dan wawasan dengan penuh kesabaran dan keikhlasan.
6. Ibu penulis. Ibu Rohimah yang senantiasa mendoakan dan memberikan dukungan serta motivasi sehingga penulis tetap memiliki semangat untuk terus berjuang untuk menyelesaikan gelar Sarjana Teknik Elektro.

7. Kakak penulis mba Leni Sundari, mba Wina Wimaryana, mas Ade Suro, adek Satrio S, Mas Sarwa, Mas Muhammad Makhrus dan Mb Inayati Yuliani, yang selalu membantu, memberi semangat dan dukungan untuk tetap menjadi yang terbaik.
8. Seluruh dan staf dan pegawai PT. PLN (Persero) ULP Balapulang, terkhusus untuk Mas Adrian Eko Saputra dan Mas Dani Dwiki selaku Supervisor Teknik yang telah banyak membantu, membimbing dan memberi banyak saran kepada penulis dalam kegiatan pengumpulan data yang dibutuhkan. Mas Anton komarudin selaku petugas inspeksi, mas Muazi, mas Bambang, mas Bahtiar yang telah memberikan banyak memotivasi serta berbagi pengalamannya.
9. Terima kasih yang sebesar besarnya kepada mas Aenul Panji Setyo Wibowo ibu Early T Damayanti yang sudah banyak membantu dan membimbing peneliti, Prabu Baskara, Mugi Rahayu, Nok Puput Utami, Nelvan Dwi Anggoro, Tia Yulistiana, Broto Seno, Mba Sitri dan Mas Wawan, Mb Lusi S, Vita Pitaloka, Mba Nisa, Khotibal Fikri, Bahtiar Surya Dini, Indah Suci Rahayu, Vita, Gholam Advaizour, Yusuf, Mba Lusi Asrianti, Krismawati, Jefri Arianto, Mb Devi, Ratna dan Adit sebagai sponsor terindah, Nurma Azkia, keluarga pa Warto, mb kembar Yana yang selalu memberi wejangan buat menyelesaikan skripsi ini, mas Fajar Pradana, mas Deriko S, mas Aris Mundandar, , dan temen-temen kelas yang gacor Ina, Uud, Mas Ali, Anggy, Oji, Anwar, Abahnya te. Terima kasih atas bantuan, semangat, perhatian, dan dukungan sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
10. Terima kasih untuk sahabat penulis Widya Astuti, Melisa, Iva Kristanti, mb Mega Puspa Sari, mb Ingrid Safitri, Putri Hisanah, mb Hilwin Nisa, Ema Rahmawati, dan semua adek tingkat Teknik Elektro yang selalu memberi motivasi, saran, serta memberikan kasih dan sayang.

***Wassalmu'alaikumwarahmatullohiwabarakatuh.***

Bumiayu, 19 September 2020

Peneliti

Dwita Auliana

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN COVER SKRIPSI</b> .....	i
<b>LEMBAR PERNYATAAN KEABSAHAN SKRIPSI</b> .....	ii
<b>PERSETUJUAN SKRIPSI</b> .....	iii
<b>PENGESAHAN SKRIPSI</b> .....	iv
<b>ABSTRAK</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiii
<b>DAFTAR ISTILAH</b> .....	xiv
<b>BAB I</b> .....	1
<b>PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar belakang .....	1
1.2 Rumusan masalah .....	2
1.3 Batasan masalah .....	2
1.4 Tujuan penelitian .....	3
1.5 Manfaat penelitian .....	3
1.6 Sistematika penulisan .....	4
<b>BAB II</b> .....	5
<b>TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Penelitian terkait .....	5
2.2 Transformator distribusi 3 fasa.....	6
2.3 Bagian-bagian transformator 3 fasa.....	9
2.4 Beban lebih.....	10
2.5 Penurunan kapasitas transformator distribusi 3 fasa .....	12
2.6 Kerangka pemikiran.....	13



<b>BAB III</b> .....	16
<b>METODE PENELITIAN</b> .....	16
3.1 Jenis dan Rancangan penelitian.....	16
3.1.1 Jenis penelitian .....	16
3.1.2 Rancangan penelitian.....	16
3.1.3 Variabel penelitian.....	16
3.1.4 Waktu dan tempat penelitian.....	16
3.1.5 Populasi dan sampel .....	16
3.2 Instrumen penelitian .....	17
3.3 Teknik Pengumpulan data.....	18
3.3.1 Observasi atau pengamatan.....	18
3.3.2 Wawancara.....	18
3.3.3 Dokumentasi .....	18
3.4 Teknik analisis data .....	19
3.4.1 Regresi linear sederhana.....	19
3.4.2 Tahapan uji analisis regresi linear sederhana dalam penelitian.....	19
<b>BAB IV</b> .....	22
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	22
4.1 Data .....	22
4.1.1 Data spesifikasi transformator distribusi 3 fasa .....	22
4.1.2 Data pembebanan transformator distribusi 3 fasa .....	23
4.2 Perhitungan .....	23
4.2.1 Perhitungan kapasitas yang digunakan transformator distribusi 3 fasa.....	23
4.2.2 Perhitungan ketidakseimbangan beban transformator distribusi 3 fasa.....	25
4.2.3 Perhitungan beban lebih transformator distribusi 3 fasa .....	27
4.2.4 Perhitungan penurunan kapasitas transformator distribusi 3 fasa.....	30
4.3 Analisis pengaruh beban lebih terhadap penurunan kapasitas transformator distribusi 3 fasa.....	31
4.3.1 Tahapan uji analisis regresi linear sederhana.....	31

<b>BAB V</b> .....	36
<b>PENUTUP</b> .....	36
5.1 Kesimpulan.....	36
5.2 Saran .....	37
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	38

## DAFTAR TABEL

Tabel 1	: Parameter kekuatan antara variabel X dan Variabel Y.....	20
Tabel 2	: Data spesifikasi transformator distribusi 3 fasa.....	22
Tabel 3	: Data pembebanan transformator distribusi 3 fasa.....	23
Tabel 4	: Hasil perhitungan arus rata-rata .....	24
Tabel 5	: Hasil perhitungan kapasitas transformator distribusi 3 fasa .....	25
Tabel 6	: Hasil perhitungan ketidakseimbangan beban transformator distribusi 3 fasa.....	26
Tabel 7	: Hasil perhitungan rata-rata persentase ketidakseimbangan beban transformator distribusi 3 fasa.....	27
Tabel 8	: Hasil perhitungan beban nominal transformator distribusi 3 fasa .....	28
Tabel 9	: Perhitungan beban lebih transformator distribusi 3 fasa .....	29
Tabel 10	: Hasil perhitungan penurunan kapasitas transformator distribusi 3 fasa.....	30
Tabel 11	: Data variabel X dan variabel Y.....	32
Tabel 12	: Model summary .....	33
Tabel 13	: Coeffecients .....	33
Tabel 14	: Tabel distribusi.....	35

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 : Transformator distribusi 3 fasa.....	7
Gambar 2.2 : Prinsip kerja transformator.....	8
Gambar 2.3 : Kerangka berfikir.....	15

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 : Surat izin observasi .....	43
Lampiran 2 : Surat balasan observasi .....	44
Lampiran 3 : Lampiran kegiatan wawancara .....	45
Lampiran 4 : Daftar pertanyaan dan jawaban wawancara .....	46
Lampiran 5 : Data spesifikasi transformator distribusi 3 fasa.....	48
Lampiran 6 : Data pembebanan transformator distribusi 3 fasa .....	49
Lampiran 7 : Jadwal penelitian.....	50
Lampiran 8 : Perhitungan arus rata-rata transformator distribusi 3 fasa .....	51
Lampiran 9 : Perhitungan kapasitas transformator distribusi 3 fasa.....	53
Lampiran 10: Perhitungan ketidakseimbangan beban transformator distribusi 3 fasa .....	55
Lampiran 11 : Perhitungan rata-rata persentase ketidakseimbangan beban transformator distribusi 3 fasa .....	58
Lampiran 12 : Perhitungan beban lebih transformator distribusi 3 fasa.....	61
Lampiran 13 : Perhitungan penurunan kapasitas transformator distribusi 3 fasa .....	63

## DAFTAR ISTILAH

1. kVA = Kilo Volt Ampere
2. kV = Kilo Volt
3. VA = Volt Ampere
4. V = Volt
5. A = Ampere
6. AC = Alternating Current
7. SPSS = Statistical Package For Social Science
8. PLN = Perusahaan Listrik Negara
9. ULP = Unit Layanan Pelanggan

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar belakang**

Sistem tenaga listrik dikatakan baik apabila memiliki keandalan tinggi dan bersifat aman. Keandalan yang tinggi dapat ditunjukkan dengan kemampuan dari sistem tenaga listrik tersebut mampu menghasilkan dan menyalurkan energi listrik kepada konsumen secara kontinu [1]. Dalam menyalurkan energi listrik secara kontinu harus didukung oleh pemakaian dan penyediaan energi listrik yang seimbang. Sehingga keamanan dari sistem tenaga listrik perlu diperhatikan, baik dari sisi peralatan tenaga listrik yang digunakan ataupun keamanan dalam penyaluran energi listrik tersebut. Dalam penyaluran energi listrik tidak lepas dari penggunaan beberapa sistem tenaga listrik yang digunakan yaitu sistem pembangkit, sistem transmisi dan sistem distribusi [2]. Adapun sistem tenaga listrik yang digunakan untuk menyalurkan energi listrik sampai ke konsumen yaitu dengan sistem distribusi karena letaknya yang paling dekat dengan konsumen [3].

Penyaluran energi listrik pada sistem distribusi membutuhkan peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan dan mentransformasikan energi listrik dari suatu nilai ke nilai tegangan lainnya yang biasa disebut dengan transformator. Adapun jenis transformator yang digunakan pada sistem distribusi salah satunya yaitu transformator distribusi 3 fasa. Transformator distribusi 3 fasa memiliki nilai investasi besar pada sistem distribusi yang diharapkan mampu menjaga kenyamanan dalam penyaluran energi listrik ke konsumen. Kemampuan transformator dalam menyalurkan energi listrik ke konsumen mampu terpenuhi dengan memperhatikan kondisi dari kemampuan beban nominal yang dimiliki. Mengingat transformator memiliki beban nominal yang sudah ditentukan oleh perusahaan manufaktur dan menjadi peralatan tenaga listrik yang sangat penting pada sistem distribusi. Sistem distribusi dalam menyalurkan energi listrik semakin meningkat baik dari perkembangan jumlah penduduk, jumlah investasi, dan

perkembangan teknologi [4]. Menjadikan transformator bekerja menyalurkan beban energi listrik tidak sama atau tidak seimbang sehingga memicu adanya gejala beban lebih pada transformator [5]. Beban lebih terjadi karena beban energi listrik yang disalurkan kekonsumen melebihi 80% dari beban nominalnya.

Apabila hal ini terjadi maka beban lebih mampu menimbulkan adanya *losses* (rugi-rugi). Sehingga mengakibatkan peningkatan temperatur pada transformator yang mampu menimbulkan panas dan menjadikan terjadinya penguraian dari bahan-bahan transformator yang dapat mempercepat proses penurunan kapasitas transformator [6]. Penurunan kapasitas transformator dapat menyebabkan kerusakan pada transformator dan kinerjanya menjadi tidak andal. Salah satunya penyaluran energi listrik ke konsumen akan mengalami gangguan pemadaman. Gangguan pemadaman merupakan sebuah kerugian yang menyebabkan penurunan energi listrik terjual [7]. Mengingat lamanya waktu perbaikan gangguan yang terjadi pada transformator, maka diperlukan usaha untuk pencegahan terjadinya kerugian besar akibat energi listrik yang tidak dapat disalurkan oleh transformator.

Berdasarkan masalah tersebut, maka akan dianalisis oleh penulis dengan judul “Analisis Pengaruh Beban Lebih Terhadap Penurunan Kapasitas Transformator Distribusi 3 Fasa”, sebagai salah satu karya ilmiah yang semoga memiliki manfaat untuk generasi ke depan.

## **1.2 Rumusan masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dijelaskan diatas maka, perumusan masalahnya sebagai berikut :

- a. Bagaimana perhitungan yang digunakan untuk mengetahui adanya baban lebih sehingga berpengaruh terhadap penurunan kapasitas transformator distribusi 3 fasa ?
- b. Bagaimana menganalisis pengaruh penurunan kapasitas transformator distribusi 3 fasa akibat pengaruh beban lebih?

## **1.3 Batasan masalah**

Agar pembahasan terarah pada judul dan bidang yang telah disebutkan diatas, maka ruang lingkup yang akan dikaji sebagai berikut :



- a. Dilaksanakan terhadap transformator distribusi 3 fasa yang ada di area PT. PLN (Persero) ULP Balapulang.
- b. Menganalisis pengaruh beban lebih terhadap penurunan kapasitas transformator distribusi 3 fasa, di PT. PLN (Persero) ULP Balapulang

#### **1.4 Tujuan penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Untuk mengetahui bagaimana perhitungan adanya baban lebih sehingga menyebabkan penurunan kapasitas transformator distribusi 3 fasa.
- b. Untuk menganalisis bagaimana penurunan kapasitas transformator distribusi 3 fasa akibat pengaruh beban lebih.

#### **1.5 Manfaat penelitian**

##### 1.5.1 Bagi penulis

Bermanfaat untuk menambah dan memperluas wawasan penulis tentang pengaruh beban lebih terhadap penurunan kapasitas transformator distribusi 3 fasa.

##### 1.5.2 Bagi akademisi

Diharapkan mampu memberikan informasi dan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan terutama terkait dengan kapasitas transformator distribusi.

##### 1.5.3 Bagi Universitas Peradaban Bumiayu

Menambah kepustakaan sebagai salah satu bahan pertimbangan dalam pengembangan transformator distribusi di Universitas Peradaban Bumiayu

##### 1.5.4 Bagi perusahaan

Memberi informasi mengenai analisis pengaruh beban lebih terhadap penurunan kapasitas pada transformator distribusi 3 fasa, yang mampu digunakan untuk membuat rencana jangka panjang pemeliharaan transformator.

## **1.6 Sistematika penulisan**

Sistematika penulisan proposal skripsi ini dibagi dalam 5 (lima) bab, yang masing-masing bab terdiri dari sub-sub bab mengenai pokok permasalahan. Adapun uraian lengkapnya adalah sebagai berikut :

- BAB I Menerangkan tentang pendahuluan yang mencakup antara lain latar belakang, rumusan masalah, tujuan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.
- BAB II Menerangkan tentang landasan teori yang mencakup transformator distribusi 3 fasa.
- BAB III Menerangkan tentang metode penelitian mencakup tahapan penelitian, variabel penelitian, waktu dan tempat penelitian, populasi dan sampel, instrumen penelitian, metode pengumpulan data, dan teknik analisis data.
- BAB IV Menerangkan tentang data yang digunakan, perhitungan dan teknik analisis data.
- BAB V Menerangkan terkait kesimpulan dan hasil



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Penelitian terkait**

Penelitian mengenai penurunan kapasitas pada transformator distribusi sudah dilakukan oleh beberapa peneliti. Adapun peneliti yang berkaitan dengan hal tersebut antara lain :

Menurut Sulistiyono dalam penelitiannya menjelaskan bahwa transformator atau trafo yaitu peralatan sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan dan mentransformasikan energi listrik dari suatu nilai tegangan ke nilai tegangan lainnya. Adapun adanya penurunan kapasitas transformator disebabkan karena adanya beban lebih sehingga transformator tidak mampu bekerja secara maksimal serta mampu menimbulkan kerusakan yang fatal. Beban lebih mampu mengakibatkan kenaikan temperatur pada transformator sehingga menimbulkan panas dan menjadikan penguraian dari bahan-bahan transformator dapat mempercepat proses penurunan kapasitasnya. Untuk mengetahui adanya penurunan kapasitas diperlukan sebuah pengukuran beban pada transformator tersebut. Selanjutnya angka hasil pengukuran tersebut dijadikan perhitungan untuk mengetahui berapa persen nilai penurunan kapasitasnya. Penelitian tersebut menggunakan 2 unit transformator 3 fasa dengan memiliki daya yang sama yaitu 400 kVA.

Menurut penelitian Fika Priliyasi [8] menjelaskan bahwa transformator menjadi salah satu komponen yang sangat vital dalam sistem distribusi energi listrik karena memiliki fungsi sebagai alat penurun dan penaik tegangan. Penggunaan beban yang beragam menjadikan beban yang diberikan atau didistribusikan mampu mempengaruhi kinerjanya salah satunya penurunan kapasitas transformator distribusi yang disebabkan oleh adanya harmonisa arus yang mampu menimbulkan pemanasan pada bagian-bagian transformator yang menjadikan terjadinya penurunan kapasitas yang terpasang pada transformator tersebut. Dalam penelitiannya menggunakan transformator 6 unit transformator 3 fasa dengan daya yang sama yaitu 630 kVA.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh A.H. Al-Badi [9] bahwa beban lebih mampu menimbulkan adanya rugi-rugi pada suatu transformator atau disebut juga dengan *losses*. *Losses* yang terjadi ini bisa menjadi masalah serius dalam penyaluran energi listrik sebab berhubungan langsung dengan peralatan utama sistem distribusi energi listrik yaitu transformator, pembebanan berlebih akan menghasilkan energi panas sehingga akan mengalir pada transformator dan menjadikan timbulnya penurunan kapasitasnya. Transformator yang dimuat dengan beban lebih akan menimbulkan suhu panas yang tinggi pada belitan atau kumparan yang ada didalam transformator tersebut. Masalah seperti ini secara serius mampu mengurangi kapasitas transformator itu sendiri serta menimbulkan adanya kerusakan salah satunya gangguan pemadaman. Adapun dalam penelitiannya menggunakan 1 unit transformator 3 fasa dengan daya 200 kVA.

Menurut penelitian Iskandar Zulkarnain [10] menerangkan bahwa gangguan yang sering terjadi pada sistem distribusi penyaluran energi listrik kepengguna energi listrik disebabkan oleh adanya gangguan beban lebih pada transformator. Hal ini dapat menimbulkan *losses* (rugi-rugi) sehingga, meningkatkan temperatur panas yang berpengaruh pada penurunan kapasitas transformatornya. Apabila hal ini dibiarkan begitu saja maka kinerja transformator dalam menyalurkan energi listrik menjadi tidak andal. Transformator yang digunakan dalam analisis ini menggunakan transformator distribusi 3 fasa sejumlah 4 unit. Daya yang digunakan pada setiap unit yaitu 2 unit dengan daya 400 kVA, 630 kVA, dan 1000 kVA.

## **2.2 Transformator distribusi 3 fasa**

Sebelum energi listrik dapat di gunakan oleh konsumennya, maka di butuhkan beberapa peralatan sistem tenaga listrik dalam penyalurannya. Yaitu yang biasa disebut trafo atau transformator berfungsi untuk menyalurkan dan mentransformasikan energi listrik dari suatu nilai tegangan ke nilai tegangan lainnya. Salah satunya transformator distribusi 3 fasa yang digunakan untuk mentransformasikan energi listrik dari tegangan 20 kV menjadi 380 V hingga sampai ke konsumen energi listrik [11]. Dasarnya transformator tiga fasa terdiri dari tiga buah transformator, satu fasa dengan tiga buah besi yang dipasangan

pada satu kerangka [12]. Tiga besi ini ditempatkan masing-masing sepasang kumparan primer dan kumparan sekunder, dengan demikian seluruhnya akan menjadi tiga buah kumparan primer dan kumparan sekunder.



Gambar 2.1 Transformator distribusi 3 fasa

Transformator dalam menyalurkan energi listrik ke konsumennya tidak lepas dari arus fasa yang dimilikinya. Arus fasa yang dimiliki transformator ada tiga yaitu arus fasa R, arus fasa S dan fasa T. Sehingga untuk mengetahui arus rata-rata yang disalurkan oleh transformator sampai kekonsumennya menggunakan perhitungan arus rata-rata sebagai berikut [13] :

$$I_{r \text{ --}r} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

$I_{r \text{ --}r}$  = Rata-rata arus beban (A)

$I_R$  = Arus fasa R (A)

$I_S$  = Arus fasa S (A)

$I_T$  = Arus fasa T (A)

Setiap transformator distribusi 3 fasa memiliki tegangan (V), arus (I) dan faktor fasa sebesar  $\sqrt{3}$  serta kapasitas yang sudah ditentukan oleh perusahaan manufaktur [14]. Sehingga untuk mengetahui kapasitas transformator yang digunakan, dilihat dari perhitungan kapasitas transformatornya yang ditentukan menggunakan persamaan seperti dibawah ini [15]:

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \dots\dots\dots (2.2)$$

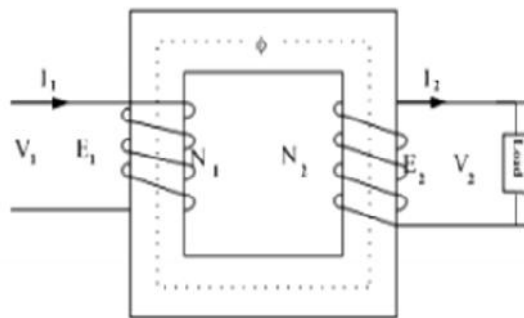
Dimana :

S = Daya transformator ( kVA)

V = Tegangan sisi sekunder transformator (V)

I = Arus (A)

Prinsip kerja Transformator pada umumnya sama yaitu berdasarkan hukum induksi faraday dan hukum Lorentz yang mana arus bolak balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi akan berubah menjadi magnet [16]. Jika magnet tersebut dikelilingi oleh suatu kumparan maka kedua ujung tersebut akan terjadi beda potensial. Beda potensial yang berubah diperkuat oleh keberadaan inti besi. Inti besi berperan sebagai jalannya *flux* yang ditimbulkan oleh arus listrik. Terdapat dua kumparan pada transformator yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder yang dibungkus oleh inti besi feromagnetik. Kumparan- kumparan tersebut tidak dihubungkan secara langsung melainkan ada penghubungnya. Kumparan primer dihubungkan langsung dengan sumber listrik atau arus AC (*Alternating current*), sedangkan kumparan sekunder digunakan untuk menyuplai energi listrik ke beban. Adapun penjelasan terkait prinsip kerja transformator dapat dijelaskan melalui gambar dibawah ini.



(Sumber <http://repository.usu.ac.id/bitstream/handle>)

Gambar 2.2 Prinsip kerja transformator

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_1}{I_2} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana:

$N_1$  = Jumlah lilitan sisi primer

$V_2$  = Tegangan output (volt)

$N_2$  = Jumlah lilitan sisi sekunder

$V_1$  = Tegangan input (volt)

$E_1$  = GGL efektif sisi primer (volt)

$E_2$  = GGL efektif sisi sekunder (volt)

Tegangan bolak – balik  $V_1$  diberikan pada belitan  $N_1$ , maka menjadikan belitan  $N_1$  akan mengalir arus sebesar  $I_1$ . Arus bolak balik  $I_1$  yang mengalir pada belitan  $N_1$  mampu menghasilkan gaya gerak magnet pada belitan, yang akan menghasilkan fluks bolak balik dalam inti besi munculnya fluks bolak balik di dalam inti besi, akan menghasilkan gaya gerak listrik sebesar ( $E_1$ ).

Adanya fluks di  $N_1$  maka  $N_1$  ter induksi (*self induction*) dan menjadikan adanya induksi di kumparan sekunder  $N_2$  karena pengaruh induksi dari kumparan primer  $N_1$  (*mutual induction*) yang menyebabkan timbulnya fluks magnet di kumparan sekunder. Apabila belitan  $N_2$  dihubungkan ke beban, maka pada  $N_2$  timbul  $I_2$  akibat  $E_2$ . Hal ini menjadikan timbulnya gaya gerak magnet pada  $N_2$  dan akibatnya terjadi pada beban timbul  $V_2$ .

### 2.3 Bagian-bagian transformator 3 fasa

#### a. Inti besi

Merupakan salah satu komponen yang ada di transformator distribusi 3 fasa, inti besi terbuat dari lembaran-lembaran besi atau dikenal dengan silikon yang dijadikan satu dengan cara di klem. Fungsi adanya inti besi yaitu sebagai jalannya garis gaya magnet sebab arus yang mengalir di dalam trafo adalah arus bolak-balik sehingga dibutuhkan cara khusus untuk menghindari adanya kerugian arus histeris dan arus Eddy [17]. Adapun fungsi inti besi yaitu mengurangi panas yang terjadi pada inti yang disebabkan oleh adanya arus Eddy.

#### b. Kumparan

Kumparan yang terdapat pada trafo atau transformator merupakan beberapa lilitan berkawat terisolasi yang memiliki bentuk gulungan atau kumparan. Kumparan terdiri dari dua kumparan yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder yang terisolasi dengan inti besi [18]. Kumparan primer merupakan ujung tombak tegangan listrik yang berfungsi untuk menyalurkan energi listrik hingga sampai ke kumparan sekunder. Sedangkan kumparan sekunder berfungsi sebagai belitan yang dihubungkan dengan beban.



### c. Bushing

Bushing merupakan salah satu komponen pada transformator yang berfungsi sebagai penghubung antara belitan dengan beberapa jaringan luar. Ada 2 jenis bushing yang terdapat pada transformator antara lain : Bushing primer yaitu bushing yang terpasang diatas tangki trafo dan dekat dengan arrester yang berfungsi sebagai penghubung antara sumber tegangan listrik yang akan dirubah tegangannya di dalam trafo. Kedua ada bushing sekunder yaitu bushing yang terpasang disisi depan trafo dan berfungsi sebagai penyalur tegangan keluaran atau *output* dari transformator yang siap disalurkan ke berbagai konsumen energi listrik.

### d. Tangki Trafo

memiliki bentuk silinder atau persegi empat yang dengan desain kedap air dan udara terbuat dari bahan baku baja serta sebagai penempatan komponen transformator yang lain seperti bushing, kumpara, inti besi dan sebagainya. Tangki dilengkapi dengan tempat cantolan sebagai persiapan pemasangan trafo pada tiang listrik.

### e. Pendingin

Merupakan salah satu komponen transformator yang digunakan untuk mengatasi peristiwa adanya temperatur panas yang tinggi ketika transformator dalam keadaan beroperasi atau bekerja [19]. Yaitu memanfaatkan sifat alamiah dari cairan pendingin dan dengan cara mensirkulasikan secara teknis, baik yang menggunakan sistem radiator, sirip-sirip yang tipis berisi minyak dan dibantu dengan hembusan angin dari kipas-kipas sebagai pendingin yang dapat beroperasi secara otomatis sirkulasi air yang bersinggungan dengan pipa minyak isolasi panas.

## 2.4 Beban lebih

Dalam memenuhi kebutuhan konsumen energi listrik yang sangat beragam mampu mempengaruhi kinerja transformator yang digunakan pada sistem distribusi. Seperti halnya jumlah konsumen atau pengguna energi listrik yang semakin bertambah dan menjadikan transformator bekerja menyalurkan beban energi listrik tidak sama atau tidak seimbang sehingga memicu adanya gejala

beban lebih pada transformator. Gejala beban lebih terjadi karena penyaluran beban energi listrik yang disalurkan kekonsumen melebihi 80% dari kemampuan beban nominalnya. Beban lebih menjadi salah satu gejala yang sangat rentan pada peralatan sistem tenaga listrik khususnya pada sistem distribusi [20]. Adanya gejala beban lebih mampu menimbulkan penurunan kapasitas yang terpasang pada transformator distribusi 3 fasa sehingga menyebabkan kerusakan pada transformator dan kinerjanya menjadi tidak andal.

Beban lebih yang terjadi pada sistem distribusi khususnya di transformator distribusi 3 fasa disebabkan adanya ketidakseimbangan beban listrik yang tidak sama atau tidak seimbang maupun banyaknya penambahan beban energi listrik yang tidak memperhatikan kemampuan transformator itu sendiri [21]. Sehingga menjadikan transformator membawa atau menyalurkan beban energi listrik melebihi 80% dari kemampuan beban nominalnya. Akibat adanya beban lebih mampu menimbulkan adanya *losses* (rugi-rugi) pada transformator distribusi 3 fasa. Sehingga mengakibatkan adanya peningkatan temperatur pada transformator yang mampu menimbulkan panas dan menjadikan terjadinya penguraian dari bahan-bahan transformator. Dengan adanya *losses* maka akan terjadi penurunan kapasitas yang terpasang pada transformator tersebut. Oleh sebab itu, beban lebih yang terjadi pada transformator distribusi 3 fasa harus diperhatikan agar tidak menimbulkan adanya penurunan kapasitas pada transformator.

Dalam keadaan tidak seimbang atau ketidakseimbangan beban pada fasa dapat dirumuskan melalui koefisien a, b dan c. Besar nilai energi listrik dalam keadaan seimbang pada koefisien a, b dan c sebesar 1. Adapun persamaan yang digunakan pada 2.4 [22].

$$\begin{aligned} [I_R] &= a [I] \dots\dots\dots (2.4) \\ [I_S] &= b [I] \\ [I_T] &= c [I] \end{aligned}$$

Dimana :

$I_R$  = Arus fasa R (A)

$I_S$  = Arus fasa S (A)

- $I_T$  = Arus fasa T (A)  
 a = Ketidakseimbangan arus fasa a (A)  
 b = Ketidaksimbangan arus fasa b (A)  
 c = Ketidakseimbangan arus fasa c (A)  
 I = Arus fasa (A)

Adapun perhitungan yang digunakan untuk mengetahui rata-rata persentase ketidakseimbang menggunakan persamaan 2.5 [23] dibawah ini :

$$\text{Ketidakseimbangan} = \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\% \dots\dots\dots(2.5)$$

Untuk mengetahui adanya beban lebih pada transformator distribusi 3 fasa yaitu dengan membandingkan arus tiap tiap fasa transformator (R, S dan T) dengan 80% dari beban nominalnya [24]. Jika arus tiap-tiap fasa (R, S dan T) lebih besar dari 80% beban nominalnya maka telah terjadi beban lebih pada transformator tersebut. Sedangkan untuk mengetahui beban nominal pada transformator yaitu dengan rumus perhitungan dibawah ini [25]:

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

Dimana :

- S = Daya transformator( kVA)  
 V = Tegangan sisi sekunder transformator (V)  
 In = Beban nominal (A)

### 2.5 Penurunan kapasitas transformator distribusi 3 fasa

Penurunan merupakan menurunnya sebuah nilai dari nilai yang tinggi ke nilai yang rendah. Sedangkan kapasitas transformator distribusi 3 fasa merupakan daya yang dimiliki oleh transformator dalam satuan *kVA( kilo Volt Ampere)* [26]. Jadi penurunan kapasitas transformator distribusi 3 fasa merupakan menurunnya nilai daya yang dimiliki oleh transformator distribusi 3 fasa. Adapun penggunaan transformator distribusi 3 fasa yang digunakan di lapangan dari daya 25 sampai dengan 2500 kVA [27]. Penurunan kapasitas yang terjadi pada transformator disebabkan karena adanya pembebanan berlebih sehingga menimbulkan risiko kerusakan pada transformator dan kinerjanya menjadi tidak andal. Pengguna beban energi listrik yang semakin bertambah dan menjadikan

transformator bekerja menyalurkan beban energi listrik tidak sama atau tidak seimbang sehingga memicu adanya gejala beban lebih pada transformator. Gejala beban lebih terjadi karena penyaluran beban energi listrik yang disalurkan kekonsumen melebihi 80% dari kemampuan beban nominalnya.. Beban lebih tidak tepat disebut dengan gangguan namun karena beban lebih merupakan suatu gejala abnormal yang jika dibiarkan secara terus menerus membahayakan peralatan tenaga listrik karena beban yang dipasoknya terus meningkat [28]. Transformator akan bekerja dengan andal apabila bekerja pada beban nominal nya namun apabila beban yang dilayani lebih besar hingga mencapai beban lebih maka transformator tersebut akan mengalami temperatur pemanasan yang lebih pula selanjutnya panas yang lebih akan menjadikan penurunan kapasitas pada transformator.

Sehingga diusahakan penyaluran beban energi listrik agar tidak lebih 80% dari kemampuan beban nominalnya. Jika melebihi angka tersebut bisa dikatakan mengalami beban lebih (*overload*) dan penggunaannya harus dibatasi. Sehingga diusahakan transformator tidak dibebani keluar dari range tersebut. Adapun persamaan yang digunakan untuk mengetahui penurunan kapasitas transformator 3 fasa sebagai berikut [29] :

$$\text{Persen penurunan} = \frac{K_p - K_{tr}}{K_p} \times 100 \dots \dots \dots (2.7)$$

## 2.6 Kerangka pemikiran

Transformator memiliki beban nominal yang sudah ditentukan oleh perusahaan manufaktur dan menjadi peralatan tenaga listrik yang sangat penting pada sistem distribusi. Sistem distribusi dalam menyalurkan energi listrik semakin meningkat baik dari perkembangan jumlah penduduk, jumlah investasi, dan perkembangan teknologi . Menjadikan transformator bekerja menyalurkan beban energi listrik tidak sama atau tidak seimbang sehingga memicu adanya gejala beban lebih pada transformator. Beban lebih terjadi karena membawa atau menyalurkan beban energi listrik kekonsumen lebih besar dari 80% kemampuan beban nominalnya. Adanya gejala beban lebih menjadikan peningkatan

temperatur pada transformator yang menimbulkan panas dan terjadinya penguraian dari bahan-bahan transformator yang dapat mempercepat proses penurunan kapasitasnya. Penurunan kapasitas transformator mampu menyebabkan kerusakan pada transformator dan kinerjanya menjadi tidak andal.

Maka dari itu dalam penyaluran beban energi listrik transformator distribusi 3 fasa supaya tidak dibebani lebih dari angka 80% dari kemampuan beban nominalnya. Berdasarkan penjelasan diatas peneliti menentukan kerangka pemikiran dalam penelitian ini yaitu untuk menganalisis adanya beban lebih dan penurunan kapasitas transformator 3 fasa, adapun gambarnya dapat dilihat pada gambar 2.3