



**STUDI KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA TRAFODISTRIBUSI  
DI TAMAN WISATA CANDI BOROBUDUR**

**Skripsi**

**Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana  
Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Elektro**

Oleh

Riyanti Ayu Pamungkas

5301412034



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
2017**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (Sarjana, Magister dan atau Doktor), baik Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, 6 Februari 2017  
yang membuat pernyataan,

UNNES  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Riyanti Ayu P.  
NIM. 5301412034

## PERSETUJUAN PEMBIMBING

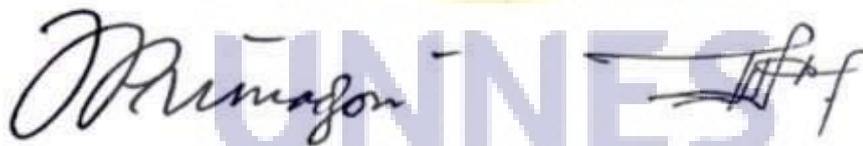
Nama : Riyanti Ayu P.  
NIM : 5301412034  
Program Studi : S-1 Teknik Elektro  
Judul Skripsi :STUDI KETIDAKSEIMBANGAN PADA TRAFO  
DISTRIBUSI DI TAMAN WISATA CANDI BOROBUDUR

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi Program Studi S-1 Pendidikan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 6 Februari 2017

Pembimbing I

Pembimbing II



Drs. Yohanes Primadiyono, M.T.  
NIP. 196209021987031002

Riana Defi Mahadji Putri, S.T.M.T.  
NIP. 197609182005012001

## PENGESAHAN

Telah dipertahankan dihadapan Sidang Ujian Skripsi Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada:

Hari : Rabu

Tanggal : 11 Januari 2017

### Panitia Ujian

Ketua

Sekretaris

Dr.-Ing. Dhidik Prastiyanto S.T., M.T.  
NIP. 197805312005011002

Drs. Agus Suryanto M.T.  
NIP. 196708181992031004

Penguji I

Penguji II / Pembimbing I

Penguji III / Pembimbing II

Dr. Ir. Subiyanto, S.T., M.T.  
NIP. 197411232005011001

Drs. Yohanes Primadiyono, M.T.  
NIP. 196209021987031002

Riana Defi Mahadji Putri, S.T., M.T.  
NIP. 197609182005012001

UNNES  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Mengetahui:

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Nur Oudus M.T.

NIP. 196911301994031001

## MOTTO DAN PERSEMBAHAN

### MOTTO

- Jika seseorang berjalan untuk menuntut ilmu maka Allah SWT akan menunjukkan jalan surga baginya
- Hidup ini adalah kumpulan dari proses belajar kita setiap hari
- Barang siapa bersungguh-sungguh pada jalannya maka ia pasti akan sampai tujuannya
- Tanpa keyakinan tidak ada yang mungkin, namun dengan keyakinan tidak ada yang tidak mungkin

### PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Bapak dan ibu tercinta atas dukungan, semangat dan doanya yang selalu mengiringi langkahku.
2. Saudara-saudaraku yang selalu memberikan motivasi serta inspirasi kepadaku.
3. Teman spesial yang selalu menemani serta memotivasiku untuk pantang menyerah.
4. Rekan seperjuangan mahasiswa Pendidikan Teknik Elektro angkatan 2012

**UNNES**  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

## ABSTRAK

Ayu, Riyanti. 2017. "*Studi Ketidakseimbangan Beban pada Trafo Distribusi di Taman Wisata Candi Borobudur*". Skripsi, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Drs. Yohanes Primadiyono, M.T., Riana Defi Mahadji Putri, S.T., M.T.

Kebutuhan tenaga listrik yang aman dan handal merupakan kebutuhan utama, baik untuk kebutuhan rumah tangga maupun untuk kebutuhan industri termasuk juga industri pariwisata di Taman Wisata Candi Borobudur. Perkembangan teknologi yang berdampak dengan perkembangan industri pariwisata menuntut pengelola PT. Taman Wisata Candi Borobudur untuk memberikan pelayanan yang maksimal bagi para pengunjung termasuk dalam hal ketersediaan jaringan listrik. Besarnya kebutuhan akan tenaga listrik di tempat wisata tersebut memungkinkan terjadinya penambahan jaringan baru. Salah satu hal yang perlu diperhatikan pada saat melakukan penambahan jaringan ialah keseimbangan beban. Karena apabila suatu sistem mengalami ketidakseimbangan beban maka akan mengakibatkan adanya arus di netral trafo. Arus yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya *losses*.

Teknik analisis yang digunakan adalah analisis deskriptif dengan pendekatan kuantitatif. Sedangkan teknik pengumpulan data menggunakan teknik observasi, wawancara serta pengukuran secara langsung dilapangan guna mengumpulkan data yang dibutuhkan. Dari hasil observasi diketahui bahwa terdapat dua buah trafo distribusi yaitu Trafo Kantor Unit dan Trafo Museum dengan kapasitas 250 KVA dan 150 KVA.

Hasil penelitian di Taman Wisata Candi Borobudur menunjukkan adanya ketidakseimbangan beban sebesar  $>20\%$  untuk trafo Kantor Unit dan  $>5\%$  untuk trafo Museum. Arus netral yang muncul berkisar antara 9,67A sampai 93,67 A. Sedangkan *losses* yang diakibatkan adanya arus netral di penghantar netral trafo sebesar 1,22% pada pagi hari, siang hari 2,26%, dan malam hari 2,44% untuk trafo Kantor Unit. 0,04% pada pagi hari, siang 0,08% dan pada malam hari sebesar 0,56% untuk trafo Museum.

Kata Kunci: *Ketidakseimbangan beban, arus netral, losses*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul **“Studi Ketidakseimbangan Beban pada Trafo Distribusi di Taman Wisata Candi Borobudur”**.

Skripsi ini dapat diselesaikan karena dukungan, kerjasama, bantuan, dan motivasi dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu terselesainya skripsi ini. Ucapan terimakasih ini penulis tujukan kepada :

1. Dr. Nur Qudus M.T Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan izin untuk penyusunan skripsi.
2. Dr.-Ing. Dhidik Prastiyanto S.T., M.T., sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro sekaligus Kaprodi Pendidikan Teknik Elektro.
3. Drs. Yohanes Primadiyono, M.T. dan Riana Defi Mahadji Putri, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberi masukan saran, bimbingan dan motivasi dalam penyusunan skripsi.
4. Ibu Chrisnamurti Adiningrum selaku Kepala Unit Taman Wisata Candi Borobudur yang telah memberikan izin penelitian.
5. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu disini, Terimakasih atas bantuan dan dorongannya.

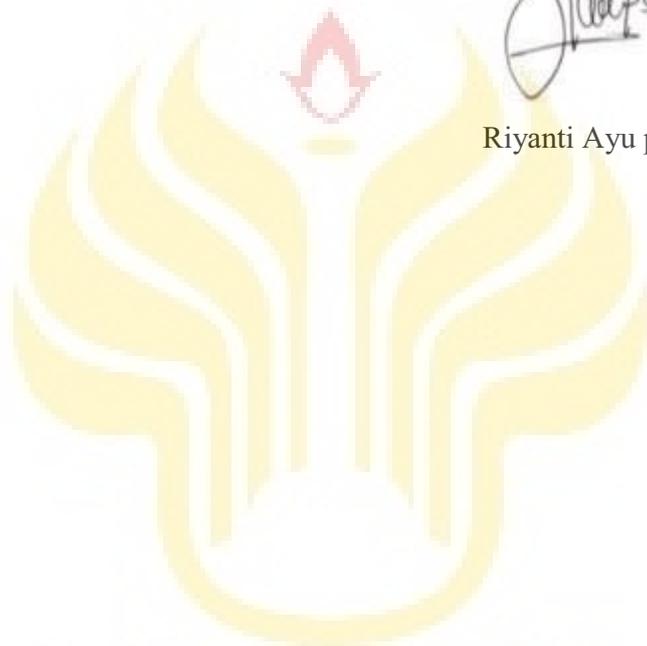
Semoga Skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang memerlukan.

Semarang, 6 Februari 2017

Penulis,



Riyanti Ayu pamungkas



**UNNES**  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR DIAGRAM.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Rumusan Masalah.....	4
1.5 Tujuan Penelitian.....	4
1.6 Manfaat Penelitian.....	5
1. Manfaat Teoritis.....	5
2. Manfaat Praktis.....	5
<b>BAB II. KAJIAN PUSTAKA</b>	
2.1 Kajian Pustaka.....	7
2.2 Landasan Teori.....	8
2.2.1 Transformator.....	8
2.2.2 Unbalance Voltage.....	26
<b>BAB III. METODE PENELITIAN</b>	Halaman
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	28
3.2 Desain Penelitian.....	28
3.3 Instrumen Penelitian.....	29
3.4 Parameter Penelitian.....	30

3.5 Teknik Pengumpulan Data.....	31
3.6 Teknik Analisis Data.....	32

**BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

1.1 Deskripsi Data.....	35
1.1.1 Denah dan Distribusi Listrik .....	35
1.1.2 Hasil Pengukuran Trafo .....	41
4.2. Analisis data.....	45
4.2.1 Analisis Persentase Arus Pembebanan.....	45
4.2.2 Analisis Ketidakseimbangan Arus Beban.....	49
4.2.3 Analisis Rata-rata Arus Netral .....	53
4.2.4 Analisis Rugi-rugi Daya pada Setiap Penghantar Netral Trafo .....	54
4.2.5 Analisis THD ( <i>Total Harminic Distortion</i> ) Tegangan.....	59
4.3. Pembahasan.....	61
4.3.1 Kondisi Pembebanan pada Trafo Distribusi di Taman Wisata Candi Borobudur .....	61
4.3.2 Kondisi Ketidakseimbangan Beban pada Trafo Distribusi di Taman Wisata Candi Borobudur.....	62
4.3.3 Kondisi Arus Netral pada Trafo Distribusi di Taman Wisata Candi Borobudur.....	66
4.3.4 Losses Akibat Adanya Arus Netral pada Penghantar Netral Trafo Distribusi di Taman Wisata Candi Borobudur.....	68
4.3.4 Kualitas Tegangan di Taman Wisata Candi Borobudur.....	69

**BAB V. PENUTUP**

5.1 Simpulan .....	72
5.2 Saran.....	74

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	75
-----------------------------	----

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Spesifikasi alat ukur .....	29
Tabel 4.1 Data pengukuran pembebanan trafo 1 ( Trafo Kantor Unit ).....	41
Tabel 4.2 <i>Power Quality of a 3 Phase 4 Wire System</i> pada Trafo Kantor Unit	42
Tabel 4.3 Data pengukuran pembebanan trafo 2 ( Trafo Museum ).....	43
Tabel 4.4 <i>Power Quality of a 3 Phase 4 Wire System</i> pada Trafo Museum ....	43
Tabel 4.5 Data Pengukuran Arus Netral .....	44
Tabel 4.6 Data Pengukuran THD Trafo Kantor Unit.....	45
Tabel 4.7 Analisis persentase arus pembebanan pada Trafo Kantor Unit.....	47
Tabel 4.8 Analisis persentase arus pembebanan pada Trafo Museum.....	48
Tabel 4.9 Analisis ketidakseimbangan arus beban pada trafo Kantor Unit .....	50
Tabel 4.10 Analisis ketidakseimbangan arus beban pada Trafo Museum .....	52
Tabel 4.11 Analisis rata-rata arus netral pada trafo distribusi di Taman Wisata Candi Borobudur.....	54
Tabel 4.12 Analisis rugi-rugi ( <i>Losses</i> ) pada setiap penghantar netral trafo.....	59
Tabel 4.13 THD tegangan pada Trafo Kantor Unit .....	59
Tabel 4.14 THD tegangan pada Trafo Museum .....	60
Tabel 4.15 Hubungan Ketidakseimbangan Beban dengan Arus netral.....	67
Tabel 4.16 Hubungan Arus Netral dengan <i>Losses</i> .....	68
Tabel 4.17 Tabel <i>Unbalance Voltage Rasio</i> .....	69

## DAFTAR GAMBAR

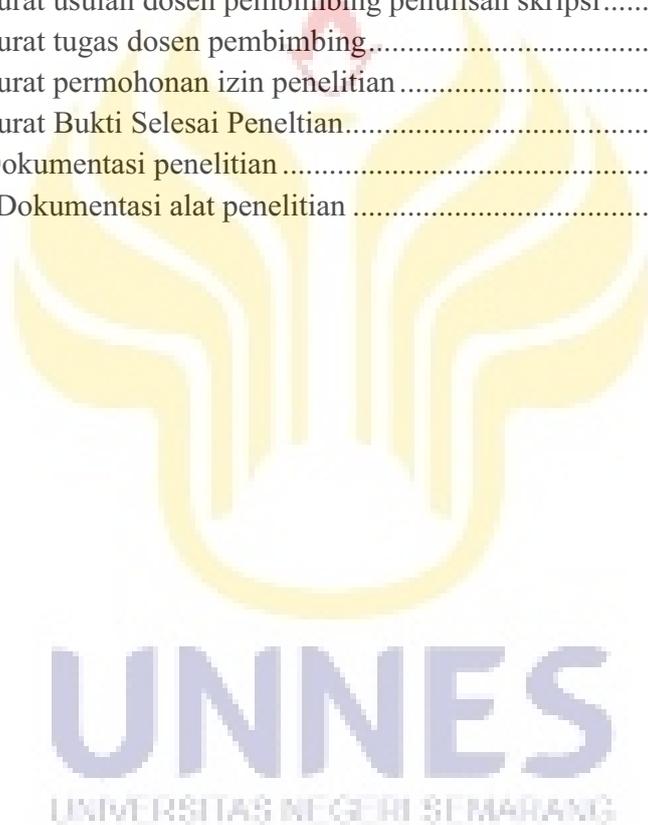
	Halaman
Gambar 2.1 Penggunaan Transformator pada bidang tenaga listrik .....	9
Gambar 2.2 Transformator daya .....	10
Gambar 2.3 Transformator distribusi tipe tiang .....	11
Gambar 2.4 Transformator hubungan Y-Y .....	14
Gambar 2.5 Transformator hubungan $\Delta$ - $\Delta$ .....	16
Gambar 2.6 Transformator hubungan Y- $\Delta$ .....	17
Gambar 2.7 Transformator hubungan $\Delta$ -Y .....	19
Gambar 2.8 Transformator hubungan Zig-Zag .....	20
Gambar 2.9 Vektor diagram arus dalam keadaan seimbang .....	21
Gambar 2.10 Vektor diagram arus dalam keadaan tidak seimbang .....	22
Gambar 3.1 Desain Penelitian Kuantitatif .....	28
Gambar 3.2 a <i>Clamp meter</i> .....	30
Gambar 3.2 b. <i>Earth tester</i> .....	30
Gambar 3.2 c. <i>Power and Harmonics Analyzer</i> .....	30
Gambar 4.1 <i>Single Diagram</i> MDP Kantor Unit .....	36
Gambar 4.2 <i>Single Diagram</i> MDP Museum Borobudur .....	38
Gambar 4.3 <i>Layout</i> Pemetaan Distribusi Listrik Taman Wisata Candi Borobudur..	39
Gambar 4.4 Vektor Diagram Arus Dan Tegangan Pada Trafo Kantor Unit....	46
Gambar 4.5 Vektor Diagram Arus dan Tegangan pada Trafo Museum. ....	48
Gambar 4.6 Analisis vektor diagram arus dan tegangan pada Trafo Kantor Unit .....	51
Gambar 4.7 Analisis vektor diagram arus dan tegangan pada Trafo Museum	53
Gambar 4.8 Grafik rata-rata THD tegangan .....	60
Gambar 4.9 Grafik persentase arus pembebanan di Taman Wisata Candi Borobudur .....	61
Gambar 4.10 Analisis Vektor Arus dan Tegangan Pada Trafo Kantor Unit Tanggal 20 April 2016 saat pagi hari .....	62
Gambar 4.11 Analisis Adanya Arus Netral pada Kantor Unit tanggal 20 April 2016 saat pagi hari .....	63
Gambar 4.12 Analisis Vektor Arus dan Tegangan pada trafo Museum tanggal 20 April 2016 saat malam hari .....	64
Gambar 4.13 Analisis Adanya Arus Netral pada Trafo Museum tanggal 20 April 2016 saat malam hari .....	64
Gambar 4.14 Grafik persentase ketidakseimbangan arus beban di Taman Wisata Candi Borobudur .....	65

Gambar 4.15 Grafik besarnya arus netral pada Trafo Distribusi di Taman Wisata Candi Borobudur.....	66
Gambar 4.16 Grafik <i>losses</i> akibat adanya arus netral di penghantar netral Trafo.....	68
Gambar 4.17 Grafik Persentase THD Trafo Kantor Unit dan Trafo Museum.	70



## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Tabel hasil pengambilan data di lokasi penelitian.....	77
Lampiran 2 Tabel spesifikasi trafo.....	79
Lampiran 3 Layout sistem distribusi listrik .....	80
Lampiran 4 Analisis data .....	89
Lampiran 5 Surat usulan dosen pembimbing penulisan skripsi.....	109
Lampiran 6 Surat tugas dosen pembimbing.....	110
Lampiran 7 Surat permohonan izin penelitian .....	111
Lampiran 8 Surat Bukti Selesai Peneltian.....	112
Lampiran 9 Dokumentasi penelitian .....	113
Lampiran 10 Dokumentasi alat penelitian .....	115



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi listrik telah menjadi peranan yang sangat penting guna menunjang aktivitas masyarakat maupun aktivitas industri dalam rangka pembangunan nasional. Penyediaan tenaga listrik yang aman dan andal merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik. Aman artinya sistem tenaga listrik tidak membahayakan bagi manusia dan lingkungan, sedangkan andal berarti sistem tenaga listrik dapat melayani pelanggan secara memuaskan misalnya dalam segi kontinuitas dan kualitas.

Semakin pentingnya peranan tenaga listrik dalam kehidupan sehari-hari, baik bagi keperluan rumah tangga, industri dan perkantoran, maka kualitas tenaga listrik juga menjadi tuntutan yang harus terpenuhi dari pihak penyedia tenaga listrik (Djiteng Marsudi, 2005: 7). Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam menjaga kualitas tenaga listrik diantaranya: sistem transmisi, sistem distribusi, tegangan, dan frekuensi yang konstan maupun keseimbangan sistem. Pada sistem transmisi dan distribusi, keseimbangan sistem merupakan hal yang sangat penting, karena sistem yang tidak seimbang akan menyebabkan dampak negatif pada sistem itu sendiri maupun beban ataupun lingkungan di sekitar sistem.

Menurut Johan Driesen (2012: 1), Sistem tenaga listrik dikatakan seimbang atau simetri jika tegangan tiga fasa dan arusnya memiliki amplitudo yang sama dan mempunyai beda fasa sebesar  $120^\circ$  terhadap satu sama lain. Apabila syarat tersebut tidak dipenuhi maka sistem dikatakan tidak seimbang (*Unbalanced*). Pada sistem distribusi tiga fasa empat kawat, beban dikatakan seimbang jika pada masing-masing fasa mengalir arus yang sama besarnya, namun pada kenyataannya sering terjadi ketidakseimbangan sehingga arusnya pun tidak seimbang. Dalam kondisi operasi normal, sistem distribusi tenaga listrik mempunyai arus beban yang relatif seimbang dengan arus netral nol (Nandita Day:2013). Namun kenyataannya didapatkan kasus dimana arus netral sistem menjadi sangat berlebih ( tidak sama dengan nol).

Taman Wisata Candi Borobudur merupakan tempat wisata yang cukup populer baik di dalam negeri maupun luar negeri. Selain itu, Candi Borobudur merupakan pusat tempat beribadah bagi penganut agama Buddha di Indonesia sekaligus merupakan salah satu Warisan Budaya Dunia UNESCO. Perkembangan teknologi yang berdampingan dengan perkembangan industri pariwisata menuntut pengelola PT. Taman Wisata Candi Borobudur untuk memberikan pelayanan yang maksimal bagi para pengunjung termasuk dalam hal ketersediaan jaringan listrik yang aman dan handal. Taman Wisata Candi Borobudur dengan luas 85Ha ini memerlukan daya listrik yang cukup besar untuk mensuplai berbagai peralatan listrik guna keperluan operasional tempat wisata tersebut. Setidaknya terdapat dua trafo dengan kapasitas 250 kVA (trafo Kantor Unit) dan 150 kVA (trafo Museum) untuk memenuhi kebutuhan akan tenaga listrik. Besarnya kebutuhan akan tenaga listrik ini

memungkinkan terjadinya penambahan jaringan baru. Pada saat melakukan penambahan jaringan teknisi cenderung kurang memperhatikan keseimbangan beban tiap-tiap fasa (fasa R, S dan fasa T). Akibatnya, terjadi ketidakseimbangan beban pada unit trafo. Hal inilah yang menyebabkan timbulnya arus balik yang mengalir pada konduktor netral ke sumber yang kita kenal dengan arus netral.

Pada sistem distribusi tiga fasa empat kabel (*Three Phase Four Wire*) arus netral adalah penjumlahan vektor dari ketiga arus fasa, yang besarnya sama dengan nol (Nandita Day, 2013). Ketidakseimbangan beban menyebabkan terjadinya *derating* dan kerusakan pada peralatan seperti trafo, motor dan sistem proteksi. Selain itu, ketidakseimbangan beban juga mengakibatkan terjadinya *losses* (A.A Sahito, 2015). Berdasarkan paparan tersebut penulis ingin meneliti masalah terkait ketidakseimbangan beban pada trafo distribusi dengan judul skripsi “ **STUDI KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN PADA TRAFO DISTRIBUSI DI TAMAN WISATA CANDI BOROBUDUR** ”

## 1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka masalah-masalah yang muncul di Taman Wisata Candi Borobudur dapat diidentifikasi sebagai berikut:

1. Belum dilakukannya pemetaan jalur distribusi beban listrik di Taman Wisata Candi Borobudur.
2. Ketika terjadi penambahan jaringan listrik, tidak memperhatikan keseimbangan tiap-tiap fasa.

### **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah dengan berorientasi pada presentase arus pembebanan yang terjadi pada unit trafo distribusi yang ada di Taman Wisata Candi Borobudur, besar presentase ketidakseimbangan beban dan menganalisa pengaruh yang ditimbulkan akibat adanya ketidakseimbangan beban pada trafo distribusi di Taman Wisata Candi Borobudur.

### **1.4 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dijelaskan di atas maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Berapakah besar rata-rata persentase arus pembebanan yang terjadi pada unit trafo distribusi yang ada di Taman Wisata Candi Borobudur?
2. Barapa besar rata-rata persentase ketidakseimbangan arus beban yang terjadi pada masing-masing unit trafo distribusi yang ada di Taman Wisata Candi Borobudur?
3. Apa pengaruh yang ditimbulkan akibat ketidakseimbangan beban pada trafo distribusi Taman Wisata Candi Borobudur?

### **1.5 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk:

1. Mengetahui sistem kelistrikan yang ada di Taman Wisata Candi Borobudur .
2. Mengetahui pengaturan pembebanan yang ada di Taman Wisata Candi Borobudur.

3. Mengetahui ada atau tidaknya ketidakseimbangan beban pada trafo distribusi di Taman Wisata Candi Borobudur.
4. Mengetahui seberapa besar pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan *losses* yang ada di Taman Wisata Candi Borobudur.

### 1.6 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan dari penelitian tersebut, manfaat yang diharapkan dari adanya penelitian ini adalah :

#### 1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa sumbangan saran dan ilmu pengetahuan, khususnya mengenai pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral dan *losses* pada trafo distribusi.

#### 2. Manfaat Praktis

##### a. Bagi Taman Wisata Candi Borobudur

Memberikan informasi serta menambah kepustakaan sebagai salah satu bahan pertimbangan dalam mengembangkan jaringan distribusi tegangan rendah yang sudah ada khususnya di Taman Wisata Candi Borobudur.

##### b. Bagi Lembaga pendidikan (Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik)

Menambah kepustakaan sebagai salah satu sumber penulisan karya ilmiah lebih lanjut.

##### c. Bagi penulis

Menambah wawasan dan ilmu pengetahuan tentang sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik, khususnya tentang distribusi yaitu pembagian beban tegangan rendah yang ada di Taman Wisata Candi Borobudur.



## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Kajian Pustaka

Untuk mengkaji masalah, peneliti perlu membahas teori-teori dan penelitian yang relevan dengan variable-variabel yang diteliti, guna mendapatkan wawasan yang lebih luas dan jelas tentang suatu variabel. Beberapa penelitian yang relevan dengan penelitian ini di antara lain: Simamora (2014) "*Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi untuk Identifikasi Beban Lebih dan Estimasi Rugi-rugi pada Jaringan Tegangan Rendah*". Dalam penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar ketidakseimbangan beban suatu trafo, maka trafo tersebut akan mengalami beban lebih (over load) satu fasa, Hal ini dikarenakan semakin besarnya arus yang mengalir pada salah satu fasa pada trafo tersebut.

Wisnurendra (2009) "*Upaya Mengurangi Arus Netral Sekunder Trafo Distribusi*". Dalam penelitian ini menjelaskan bahwa pembebanan yang tidak seimbang akan berakibat menurunnya kualitas arus dan tegangan, efisiensi pada sisi sekunder trafo juga berkurang. Upaya untuk mengurangi besarnya arus netral yaitu dengan cara melakukan pemerataan beban, memperbaiki sambungan netral serta memasang minimisator arus netral.

Abdillah,F.dkk. (2014) "*Penyeimbangan Beban pada Gardu Distribusi dengan Metode Seimbang beban seharian di PT. PLN Area Bukit tinggi*". Penyeimbangan beban dilakukan dengan metode SBS (seimbang beban seharian) melalui proses simulasi. Setelah dilakukan penyeimbangan beban didapatkan hasil dengan menurunnya nilai arus maksimum dari 101 ampere menjadi 95 ampere. Penyeimbangan beban yang dilakukan juga dapat menekan nilai arus netral rata – rata dari 51 ampere menjadi 30 ampere. Bukan hanya 2 parameter tersebut, untuk rata – rata ketidakseimbangan dalam sehari juga menurun dari 14% persen menjadi 6%.

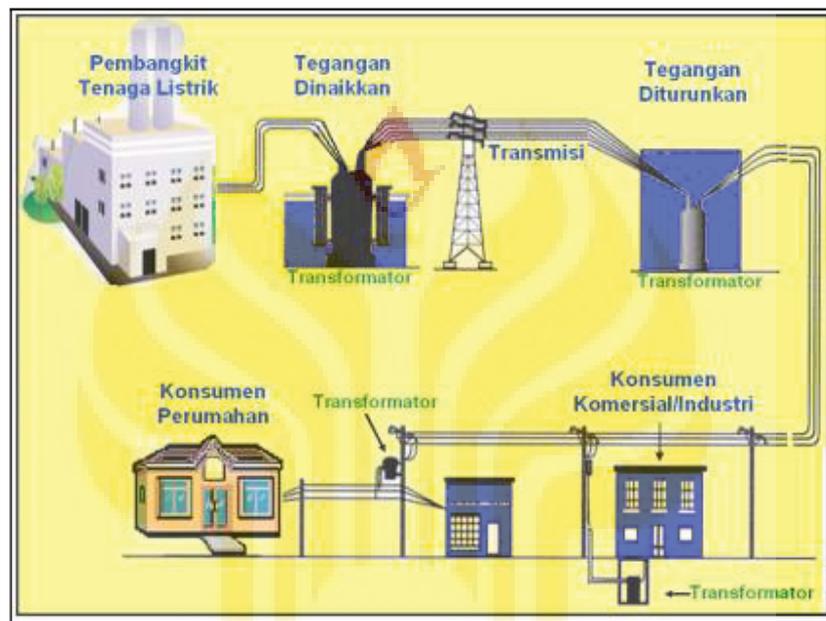
Aprilian, P.dkk. (2013) "*Pemerataan Beban Transformator Pada Saluran Distribusi Sekunder*". Penelitian ini memaparkan bahwa pembebanan yang tidak merata di antara konsumen dapat menyebabkan ketidakseimbangan beban pada gardu trafo MH 40 distribusi dimana ketidakseimbangan beban yang terjadi dapat membawa pengaruh negatif pada jaringan distribusi sekunder gardu MH 40. Konsumen dari gardu MH 40 secara dominan merupakan konsumen rumah tangga yang sebaian besar merupakan beban non linier. Beban non linier yang digunakan akan berpengaruh terhadap kecacatan bentuk gelombang baik arus maupun tegangan.

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Transformator**

Transformator adalah alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnet (Rijono,1997:1).

Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Pada bidang tenaga listrik, transformator digunakan mulai dari pusat pembangkit tenaga listrik sampai ke rumah-rumah (Gambar 2.4)



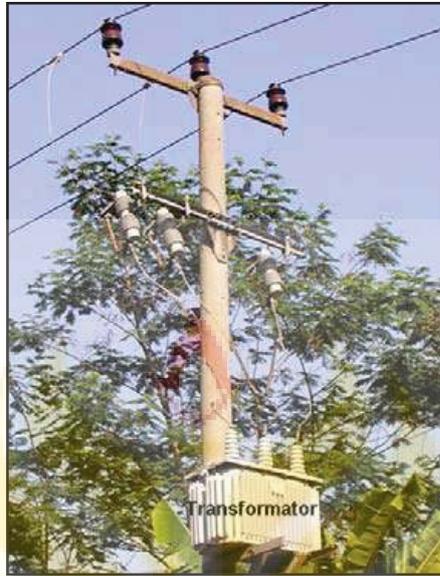
Gambar 2.1 Penggunaan Transformator pada Bidang Tenaga Listrik

Sebelum di transmisikan tegangan yang dihasilkan oleh pembangkit dinaikkan terlebih dahulu dengan menggunakan sebuah transformator daya (Gambar 2.2)



Gambar 2.2 Transformator Daya

dengan tujuan untuk mengurangi kerugian energi yang terjadi saat listrik di transmisikan. Kemudian sebelum digunakan oleh konsumen tegangan akan diturunkan lagi secara bertahap dengan menggunakan transformator distribusi (Gambar 2.6), sesuai dengan peruntukannya seperti kawasan industri, komersial, atau perumahan.



Gambar 2.3 Transformator Distribusi Tipe Tiang

### 1. Prinsip Kerja Transformator

Transformator terdiri atas dua buah kumparan (primer dan sekunder) yang bersifat induktif. Kedua kumparan ini terpisah secara elektris namun berhubungan secara magnetis melalui jalur yang memiliki reluktansi rendah. Apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik (AC) maka fluks bolak-balik akan muncul di dalam inti yang dilaminasi, karena kumparan tersebut membentuk jaringan tertutup maka mengalirlah arus primer. Akibat adanya fluks di kumparan primer maka di kumparan primer terjadi induksi (*self induction*) dan terjadi pula induksi di kumparan sekunder karena pengaruh induksi dari kumparan primer atau disebut sebagai induksi bersama (*mutual induction*) yang menyebabkan timbulnya fluks magnet di kumparan sekunder, maka mengalirlah arus sekunder jika

rangkaiannya sekunder dibebani, sehingga energy listrik dapat ditransfer keseluruhan (secara magnetisasi)

$$E = -N \frac{d\Phi}{dt} \text{ (Volt)}$$

Dimana:

E = gaya gerak listrik (Volt)

N = jumlah lilitan

$\frac{d\Phi}{dt}$  = perubahan fluks magnet (weber/sec)

## 2. Transformator Tiga Fasa

Sebuah transformator tiga fasa secara prinsip sama dengan sebuah transformator satu fasa, perbedaan yang paling mendasar adalah pada sistem kelistrikannya yaitu sistem satu fasa dan tiga fasa. Sehingga sebuah transformator tiga fasa bisa dihubungkan bintang, segitiga, atau zig-zag.

Transformator tiga fasa banyak digunakan pada sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik karena pertimbangan ekonomis. Transformator tiga fasa banyak sekali mengurangi berat dan lebar kerangka, sehingga harganya dapat dikurangi bila dibandingkan dengan penggabungan tiga buah transformator satu fasa dengan “rating” daya yang sama.

Tetapi transformator tiga fasa juga mempunyai kekurangan, diantaranya bila salah satu fasa mengalami kerusakan, maka seluruh transformator harus dipindahkan (diganti), tetapi bila transformator terdiri dari tiga buah transformator satu fasa, bila

salah satu fasa transformator mengalami kerusakan. Sistem masih bisa dioperasikan dengan sistem “ open delta “.

### 3. Hubungan Transformator Tiga Fasa

Secara umum dikenal tiga cara untuk menyambung rangkaian listrik sebuah transformator tiga fasa, yaitu hubungan bintang, hubungan segitiga, dan hubungan Zig-zag.

#### a. Hubungan Bintang - bintang

Hubungan dari tipe ini lebih ekonomis untuk arus nominal yang kecil, transformator tegangan tinggi (Gambar 2.4). Jumlah dari lilitan perfasa dan jumlah isolasi minimum karena tegangan fasa  $\frac{1}{\sqrt{3}}$  tegangan jala-jala (Line), juga tidak ada perubahan fasa antara tegangan primer dengan sekunder. Bila beban pada sisi sekunder dari transformator tidak seimbang, maka tegangan fasa dari sisi beban akan berubah kecuali titik bintang dibumikan.

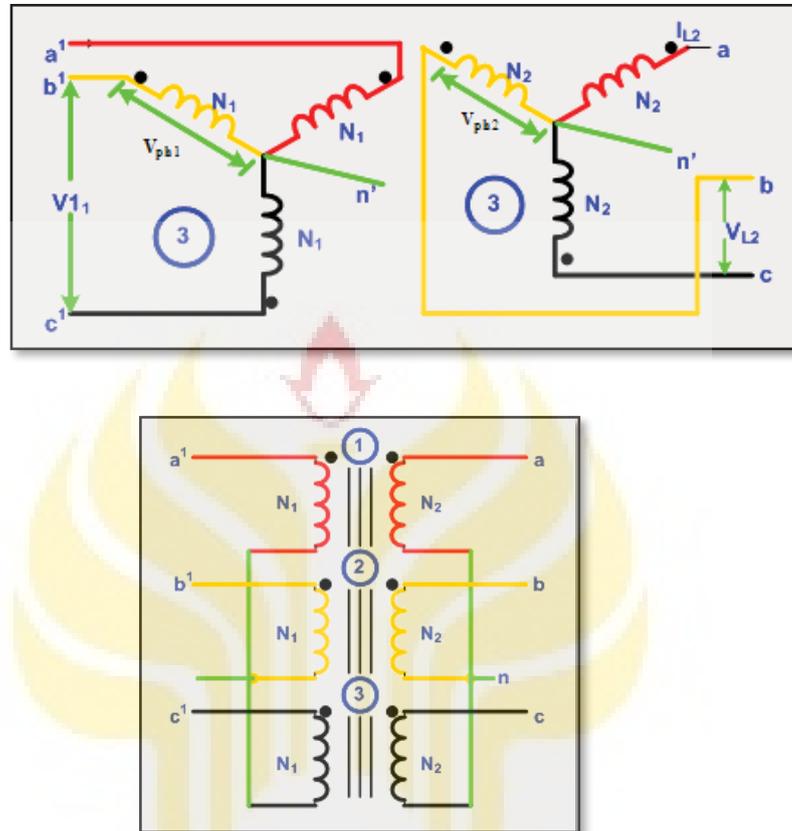
Primer

$$V_{ph1} = \frac{V_{L1}}{\sqrt{3}} \text{ Volt dan } I_{L1} = I_{ph1}$$

Sekunder

$$V_{ph2} = \frac{V_{L2}}{\sqrt{3}} \text{ Volt dan}$$

$$I_{L2} = I_{ph2} \text{ Amp } K = \frac{V_{ph2}}{V_{ph1}}$$



Gambar 2.4 Hubungan Bintang – Bintang (Y-Y )

### b. Hubungan Segitiga-segitiga ( $\Delta$ - $\Delta$ )

Hubungan ini umumnya digunakan dalam sistem yang menyalurkan arus besar pada tegangan rendah dan terutama saat kesinambungan dari pelayanan arus dipelihara meskipun satu fasa mengalami kegagalan

Adapun beberapa keuntungan dari hubungan ini adalah :

- a. Tidak ada perubahan fasa antara tegangan primer dengan sekunder.

- b. Luas penampang dari konduktor dikurangi karena arus fasa  $\frac{1}{\sqrt{3}}$  arus jala-jala
- c. Tidak ada kesulitan akibat beban tidak seimbang pada sisi sekunder.

Kerugian yang terjadi pada hubungan ini adalah :

- a. Lebih banyak isolasi dibutuhkan dibandingkan dengan hubungan bintang-bintang.
- b. Tidak adanya titik bintang memungkinkan, merupakan kerugian yang dapat membahayakan. Bila salah satu jala-jala ke tanah karena kegagalan, tegangan maksimum antara kumparan dan inti akan mencapai tegangan jala-jala penuh.

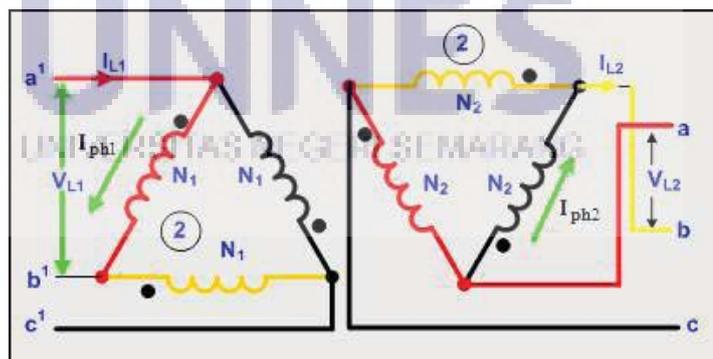
Primer:

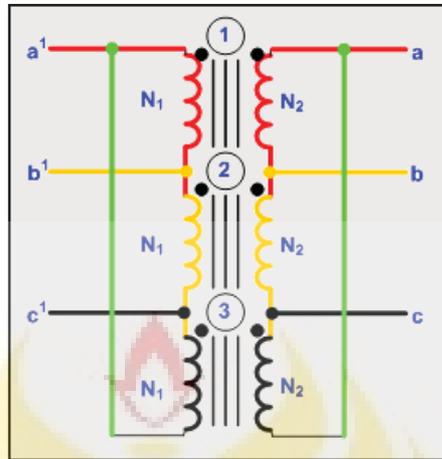
$$V_{L1} = V_{ph1} \text{ Volt dan } I_{L1} = \sqrt{3} \cdot I_{ph1}$$

Sekunder:

$$V_{L2} = V_{ph2} \text{ dan } I_{L2} = \sqrt{3} \cdot I_{ph2}$$

$$K = \frac{V_{ph2}}{V_{ph1}}$$





Gambar 2.5 Hubungan Segitiga-segitiga ( $\Delta$ - $\Delta$ )

**c. Hubungan Bintang – Segitiga ( $Y$ - $\Delta$ )**

Hubungan transformator tipe ini pada prinsipnya digunakan, dimana tegangan diturunkan (Step - Down), seperti pada jaringan transmisi. Pada hubungan ini, perbandingan tegangan jala-jala  $\frac{1}{\sqrt{3}}$  kali perbandingan lilitan transformator dan tegangan sekunder tertinggal  $30^\circ$  dari tegangan primer.

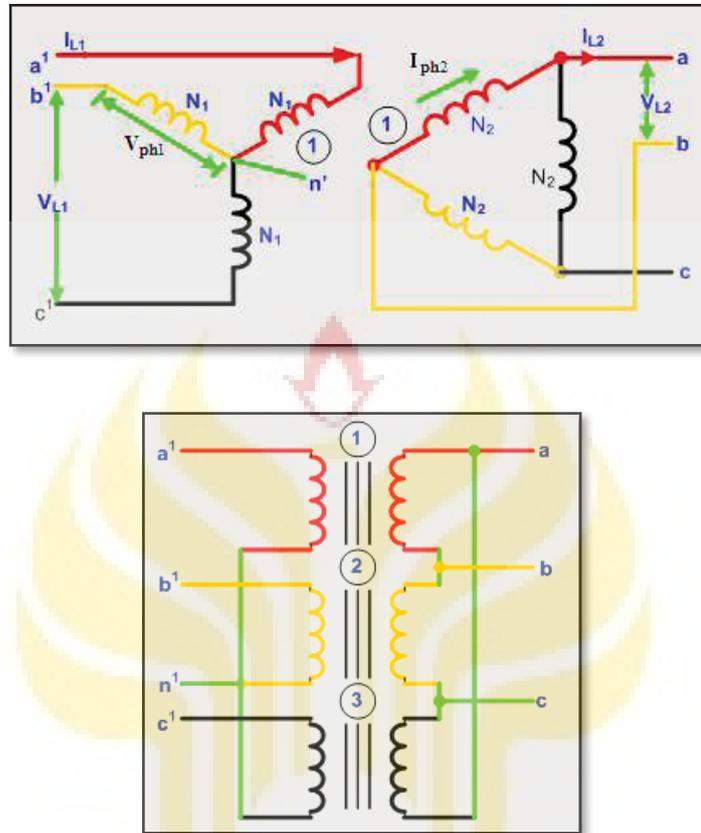
Primer:

$$V_{ph1} = \frac{V_{L1}}{\sqrt{3}} \text{ Volt dan } I_{L1} = I_{ph1} \text{ Amp}$$

Sekunder:

$$V_{ph2} = V_{L2} \text{ Volt dan } I_{ph2} = \frac{I_{L2}}{\sqrt{3}} \text{ Amp}$$

$$K = \frac{V_{ph2}}{V_{ph1}}$$



Gambar 2.6 Hubungan Bintang – Segitiga ( $\Delta$ - $\Delta$ )

#### d. Hubungan Segitiga – Bintang ( $\Delta$ - $Y$ )

Hubungan ini umumnya digunakan, dimana diperlukan untuk menaikkan tegangan (Step-Up), misalnya pada awal sistem transmisi tegangan tinggi. Dalam hubungan ini perbandingan tegangan  $\sqrt{3}$  kali perbandingan lilitan transformator dan tegangan sekunder mendahului sebesar  $30^\circ$ .

Primer:

$$V_{L1} = V_{ph1} \text{ Volt dan } I_{ph1} = \frac{I_{L1}}{\sqrt{3}} \text{ A}$$

Sekunder:

$$V_{ph1} = \frac{VL2}{\sqrt{3}} \text{ Volt dan } I_{L2} = I_{ph2} \text{ A}$$

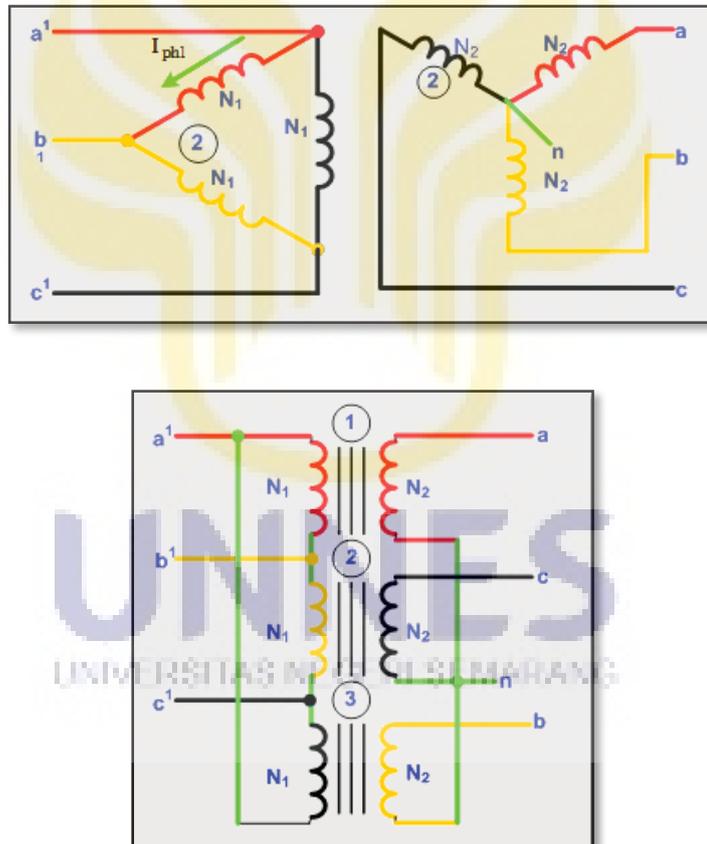
$$K = \frac{V_{ph2}}{V_{ph1}}$$

**Daya Total Tiga Fasa :**

$$S = \sqrt{3} \cdot VL \cdot IL \text{ (VA) atau } S = 3 \cdot V_{ph} \cdot I_{ph} \text{ VA}$$

$$P = \sqrt{3} \cdot VL \cdot IL \cdot \cos\phi \text{ (Watt)}$$

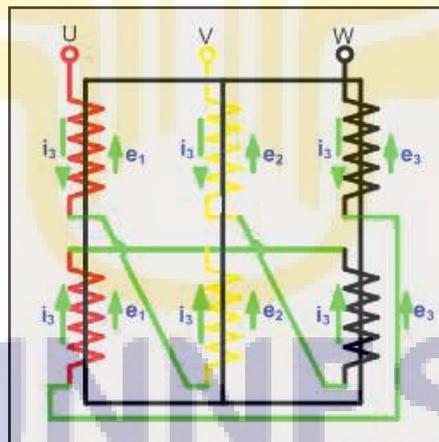
$$Q = \sqrt{3} \cdot VL \cdot IL \cdot \sin\phi \text{ (Var)}$$

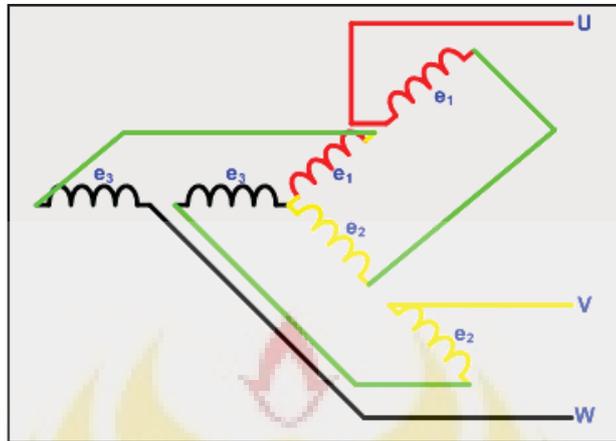


Gambar 2.7 Hubungan Segitiga – Bintang ( $\Delta$ - $Y$ )

### e. Hubungan Zig-Zag

Kebanyakan transformator distribusi selalu dihubungkan bintang, salah satu syarat yang harus dipenuhi oleh transformator tersebut adalah ketiga fasanya harus diusahakan seimbang. Apabila beban tidak seimbang akan menyebabkan timbulnya tegangan titik bintang yang tidak diinginkan, karena tegangan pada peralatan yang digunakan pemakai akan berbeda-beda. Untuk menghindari terjadinya tegangan titik bintang, diantaranya adalah dengan menghubungkan sisi sekunder dalam hubungan Zig-zag. Dalam hubungan Zig-zag sisi sekunder terdiri atas enam kumparan yang dihubungkan secara khusus





Gambar 2.8 Transformator Tiga Fasa Hubung Zig-zag

Ujung-ujung dari kumparan sekunder disambungkan sedemikian rupa, supaya arah aliran arus didalam tiap-tiap kumparan menjadi bertentangan. Karena  $e_1$  tersambung secara berlawanan dengan gulungan  $e_2$ , sehingga jumlah vektor dari kedua tegangan itu menjadi :

$$e_{Z1} = e_1 - e_2$$

$$e_{Z2} = e_2 - e_3$$

$$e_{Z3} = e_3 - e_1$$

$$e_{Z1} + e_{Z2} + e_{Z3} = 0 = 3 e_b,$$

Tegangan titik  $e_b = 0$

$$e_1 = \frac{e}{2}, \text{ nilai tegangan fasa } e_Z = \frac{e}{2}\sqrt{3}$$

Sedngkan tegangan jala-jala:

$$E_Z = e_Z\sqrt{3} = \frac{e}{2}\sqrt{3}$$

(Sumardjati, Prih. dkk. 2008. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3*. Jakarta :  
Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan)

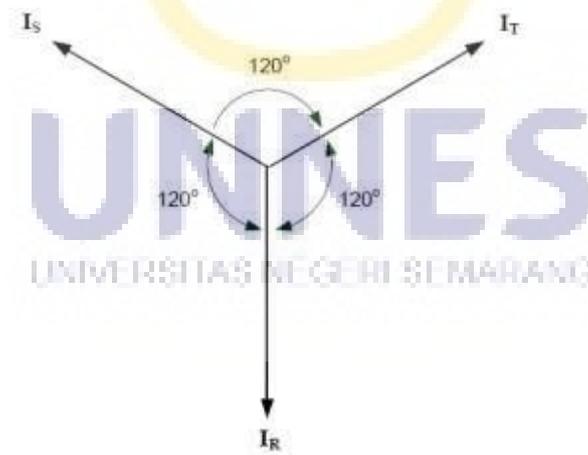
#### 4. Pembebanan Transformator Tiga Fasa

Terdapat dua kemungkinan dalam pembebanan transformator tiga fasa, yaitu:

##### a. Pembebanan Seimbang (*Balanced Load*)

Menurut J. B Gupta (2001: 169) suatu rangkaian beban listrik dikatakan seimbang apabila beban (*impedances*) terhubung dalam berbagai fasa yang besarnya sama untuk masing-masing fasa.

Sedangkan menurut Johan Driesen (2012: 1), Sistem daya listrik tiga fasa dikatakan seimbang atau simetri jika tegangan tiga fasa dan arusnya memiliki amplitudo yang sama dan mempunyai beda fasa sebesar  $120^\circ$  terhadap satu sama lain.



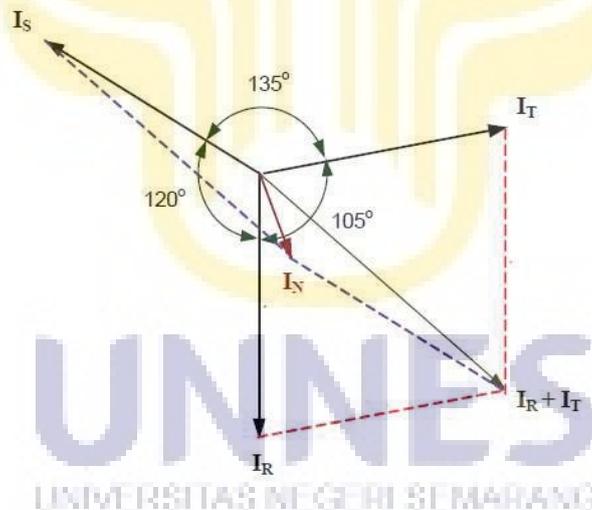
Gambar 2.9 vektor diagram arus dalam keadaan seimbang

### b. Pembebanan tidak seimbang (*Unbalanced Load*)

Menurut J. B Gupta (2001:169) *Unbalanced three phase load* atau ketidakseimbangan beban listrik tiga fasa yaitu apabila beban listrik tiga fasa memiliki impedansi satu atau lebih yang berbeda terhadap impedansi dari fasa lain.

Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada 3 yaitu:

1. Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain.
2. Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain.
3. Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain.



Gambar 2.10 vektor diagram arus yang tidak seimbang

Gambar 2.9 menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya ( $I_R$   $I_S$   $I_T$ ) adalah sama dengan nol sehingga tidak muncul arus netral ( $I_N$ ), sedangkan pada gambar 2.10 menunjukkan vektor diagram arus yang tidak seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga

vektor arusnya ( $I_R$   $I_S$   $I_T$ ) tidak sama dengan nol sehingga muncul sebuah besaran yaitu arus netral ( $I_N$ ), yang besarnya bergantung dari seberapa besar faktor ketidakseimbangannya.

Dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik tersebut, terjadi pembagian beban-beban yang pada awalnya merata tetapi karena ketidakserempakan waktu penyalan beban-beban tersebut maka menimbulkan ketidakseimbangan beban yang berdampak pada penyediaan tenaga listrik. Ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa (fasa R, fasa S, dan fasa T) inilah yang menyebabkan mengalirnya arus di netral trafo. Daya trafo bila ditinjau dari sisi tegangan tinggi (primer) dapat dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I$$

Dimana :  $S$  = daya transformator (kVA)

$V$  = tegangan sisi primer transformator (kV)

$I$  = arus jala-jala (A)

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

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V}$$

Dimana :  $I_{FL}$  = arus beban penuh (A)

$S$  = daya transformator (kVA)

$V$  = tegangan sisi sekunder transformator (kV)

Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, fasa S, fasa T) mengalirlah 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:

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N$$

Dimana :  $P_N$  = *losses* pada penghantar netral trafo (watt)  
 $I_N$  = arus yang mengalir pada netral trafo (A)  
 $R_N$  = tahanan penghantar netral trafo ( $\Omega$ )

Sedangkan *losses* yang diakibatkan karena arus netral yang mengalir ke tanah (ground) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$P_G = I_G^2 \cdot R_G$$

Dimana :  $P_G$  = *losses* akibat arus netral yang mengalir ke tanah (watt)  
 $I_G$  = arus netral yang mengalir ke tanah (A)  
 $R_G$  = tahanan pembumian netral trafo ( $\Omega$ )

Misalnya daya sebesar P disalurkan melalui suatu saluran dengan penghantar netral. Apabila pada penyaluran daya ini arus-arus fasa dalam keadaan seimbang, maka besarnya daya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P = 3 \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Dimana :  $P$  = daya pada ujung kirim  
 $V$  = tegangan pada ujung kirim

$\cos \varphi$  = faktor daya

Daya yang sampai ujung terima akan lebih kecil dari P karena terjadi penyusutan dalam saluran. Jika  $[I]$  adalah besaran arus fasa dalam penyaluran daya sebesar P pada keadaan seimbang, maka pada penyaluran daya yang sama tetapi dengan keadaan tak seimbang besarnya arus-arus fasa dapat dinyatakan dengan koefisien a, b dan c sebagai berikut :

$$[I_R] = a [I]$$

$$[I_S] = b [I]$$

$$[I_T] = c [I]$$

Dengan  $I_R$ ,  $I_S$ ,  $I_T$  berturut-turut adalah arus di fasa R, S, dan T.

Bila faktor daya di ketiga fasa dianggap sama walaupun besarnya arus berbeda, besarnya daya yang disalurkan dapat dinyatakan sebagai :

$$P = (a + b + c) \cdot V.I.\cos \varphi$$

dari persamaan tersebut dapat diperoleh persyaratan untuk koefisien a, b, dan c yaitu

$$a + b + c = 3$$

dimana dalam keadaan seimbang nilai  $a = b = c = 1$

### 2.2.2 *Unbalance Voltage*

*Unbalance voltage* merupakan besarnya ketidakseimbangan tegangan antar fasa, dimana tiap fasa mempunyai besar dan sudut tegangan yang tidak standar sehingga tegangan antar fasa menjadi tidak sama. *Unbalance voltage* sangat mempengaruhi operasi beban tiga fasa, dimana menyebabkan timbulnya peningkatan temperatur, konsumsi kWh dan penurunan kemampuan operasi. Berdasarkan NEMA (MGI) part 14.35, unbalance voltage tidak lebih dari 1%. Kondisi *Unbalance* disebabkan antara lain oleh kondisi beban secara keseluruhan sistem, dimana beban satu phase tidak sama dengan phase yang lain, sehingga impedansi dari beban - beban tersebut tidak sama phase satu sama lain. Atau juga impedansi sebuah motor tidak sama phase satu dengan yang lain. Selain itu ada beberapa hal yang menyebabkan Unbalance voltage, sebagai berikut :

- a. *Unbalance* dari *power supply*
- b. Taping di trafo tidak sama
- c. Terdapat trafo *single phase* dalam sistem
- d. Terdapat *open phase* di primer trafo distribusi
- e. Terdapat *fault* atau *ground* di trafo power
- f. Terdapat *open delta* di trafo-bank
- g. Terdapat *fuse-blown* di 3 *phase* di *capasitor bank* ( capasitor untuk perbaikan power factor)
- h. *Impedance* dari konduktor *power supply* tidak sama.

- i. *Unbalance* distribusi / *single phase load* ( *lighting* )
- j. *Heavy reactive single phase load*, misal mesin welder

Untuk menghitung besarnya unbalance voltage dapat dihitung dengan persamaan:

$$\% \text{ Teg. Unbalance} = \frac{\text{teg.max} - \text{teg.rata-rata}}{\text{teg. rata-rata}} \times 100 \%$$



## BAB 5

### PENUTUP

#### 5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaturan pembebanan yang ada di Taman Wisata Candi Borobudur tergolong kurang memperhatikan keseimbangan beban tiap-tiap fasa sehingga menimbulkan ketidakseimbangan beban pada trafo distribusi yang ada di Taman Wisata Candi Borobudur.
2. Dari hasil penelitian, dapat diketahui bahwa besarnya persentase arus pembebanan pada trafo Kantor Unit yaitu sebesar 45,88% pada pagi hari, 51,85% pada siang hari, dan 40,46% pada malam hari. Sedang pada trafo Museum besarnya persentase arus pembebanan yaitu sebesar 32,74% pada pagi hari, 33,67% pada siang hari dan naik secara signifikan sebesar 27,91% pada malam hari.
3. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan diketahui bahwa besarnya persentase ketidakseimbangan arus beban pada trafo Kantor Unit yaitu sebesar 22,22% pada pagi hari, 25,22% pada siang hari dan 34,44% pada malam hari. Sedangkan persentase ketidakseimbangan beban pada trafo Museum yaitu

sebesar 6,67% pada pagi hari, 8,88% pada siang hari dan 27,77% pada malam hari. Besarnya persentase ketidakseimbangan beban tertinggi terdapat pada trafo Kantor Unit saat kondisi malam hari yaitu sebesar 34,44%. Sedangkan persentase ketidakseimbangan beban terendah terdapat pada trafo Museum pada saat pagi hari yaitu sebesar 6,67%.

4. Setelah melakukan penelitian dan perhitungan terhadap jalur distribusi di Taman Wisata Candi Borobudur ditemukan bahwa ketidakseimbangan beban yang terjadi mengakibatkan adanya arus netral pada trafo Kantor Unit sebesar 66,33A pagi hari, siang hari 90,33A dan malam hari 93,67A sedangkan arus netral pada trafo Museum sebesar 9,67A pagi hari, siang hari 13A, dan malam hari sebesar 34A. Selain arus netral dampak negatif yang di timbulkan akibat adanya ketidakseimbangan beban yaitu terjadinya *losses* . Besarnya persentase *losses* pada trafo Kantor Unit sebesar 1,22% pada pagi hari, siang hari 2,26%, dan malam hari 2,44%. Sedangkan besarnya persentase *losses* pada trafo Museum sebesar 0,04% pada pagi hari, siang 0,08% dan pada malam hari 0,56%.
5. Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, semakin besar ketidakseimbangan beban yang terjadi maka semakin besar pula arus netral serta *losses* yang terjadi pada trafo distribusi di Taman Wisata Candi Borobudur.

## 5.2 Saran

1. Perlu adanya pemetaan beban jaringan listrik distribusi di Taman Wisata Candi Borobudur untuk memudahkan proses ketika terjadi penambahan jaringan.
2. Jika terjadi penambahan jaringan harus merujuk pada data-data yang sudah ada dan memperhatikan keseimbangan beban tiap-tiap fasa.
3. Adapun upaya untuk mengatasi munculnya arus netral pada trafo distribusi yaitu dengan cara melakukan pemerataan pembebanan pada masing-masing fasa (R, S, T) pada trafo distribusi yang ada di Taman Wisata Candi Borobudur.

## DAFTAR PUSTAKA

- A.E. Fitzgerald. Et al. 1992. *Mesin-mesin Listrik*. Alih Bahasa Djoko Achyanto. Jakarta: Erlangga
- A.N. Afandi. 2010. *Operasi sistem tenaga listrik berbasis EDSA*. Yogyakarta: GAVA MEDIA
- Arikunto, Suharsimi. 2006. *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik*. Jakarta: PT. Rineka Cipta.
- Bachtiar, Antonov. "Pengaruh Hilangnya Kawat Netral Sebagai Pelingdung Pada Sistem 3 Fasa 4 Kawat Terhadap Tegangan Line to Line (VL-L)". *Jurnal Teknik Elektro ITP*, Volume 3 No. 1; Januari 2014
- Driesen, Johan. 2002. *Voltage Disturbances Introduction to Unbalance*.
- J.B. Gupta. 2001. *Electrical Engineering*. Delhi : ARORA OFFSET PRESS
- Markiewicz, H., dan K. Antoni. 2004. *Voltage Disturbances Standard EN 50160*. Wroclaw University of Technology
- Rijono, Yon. 1997. *Dasar Teknik Tenaga Listrik*. Yogyakarta: ANDI
- Peter W. Sauer. *Reactive Power And Voltage Control Issues in electric Power Systems*. Urbana: University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. 2012. *Panduan Penanganan Gejala Kualitas Daya untuk Sektor Industri*. Bidang Rekayasa Sistem Pusat Teknologi Konversi dan Konservasi Energi. Jakarta
- Simamora, Yoakim. 2014. "Analisis Ketidakseimbangan Beban Transformator Distribusi untuk Identifikasi Beban Lebih dan Estimasi Rugi-rugi pada Jaringan Tegangan Rendah" Vol.3 Juni 2014.
- Sugiono. 2012. *Metode Penelitian Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Cetakan 15. Bandung : Alfabeta

Suhadi. dkk. 2008. *Teknik Distribusi Tenaga Listrik Jilid 1*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan

Sumardjati, Prih. dkk. 2008. *Teknik Pemanfaatan Tenaga Listrik Jilid 3*. Jakarta : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan

Zuhal.1991. *Dasar Tenaga Listrik*, Bandung: ITB

Zulkarnain, Iskandar. 2009. *Analisa Pengaruh Harmonisa Terhadap arus Netral, Rugi-rugi dan Penurunan Kapasitas Pada Transformator Distribusi*. Semarang:

