

**ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP
ARUS NETRAL DAN RUGI DAYA PADA TRANSFORMATOR GARDU**

INDUK DI PT. PLN (Persero) KABUPATEN SIDRAP



SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
Guna memperoleh gelar Serjana Sains Terapan (D-4)
Pada Politeknik Negeri Ujung Pandang**

SAPARUDDIN

442 12 025

PROGRAM STUDI TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI

JURUSAN TEKNIK MESIN

POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG

MAKASSAR

2021

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

Laporan Tugas Akhir dengan judul “Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Rugi Daya pada Transformator Gardu Induk di PT. PLN (Persero) Kabupaten Sidrap” oleh Saparuddin (44212025) telah di terima dan di sahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains Terapan (S.ST.) pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, Januari 2021

Menyetujui,

Pembimbing I



Ir. Herman Nawir, M.T.
NIP.19850606 198903 1 001

Pembimbing II



Sonong, S.T., M.T.
NIP. 19621202 199203

Mengetahui,

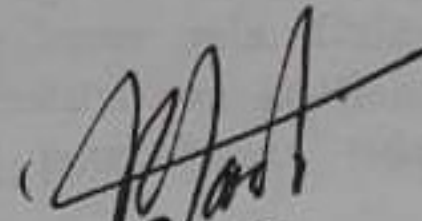
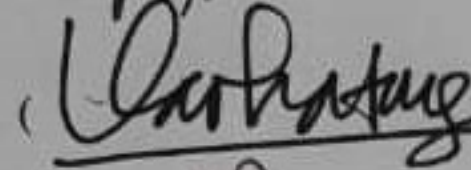
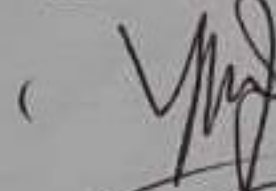

HALAMAN PENGESAHAN

Pada hari ini, hari Tanggal.... Januari 2021, tim penguji Skripsi telah menerima hasil Skripsi oleh mahasiswa : Saparuddin NIM 442 12 025 dengan judul **“Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netra dan Rugi Daya pada Transformator Gardu Induk di PT. PLN (Persero Kabupaten Sidrap”**

Makassar, Januari 2021

Tim Penguji Skripsi

- | | |
|----------------------------------|------------|
| 1. Ir. Makmur Saini, M.T., Ph.D. | Ketua |
| 2. Marhatang, S.ST., M.T. | Sekretaris |
| 3. Muh. Yusuf Yunus, S.ST., M.T. | Anggota I |
| 4. Sukma Abadi, ST., M.T. | Anggota II |

(
(
(
(

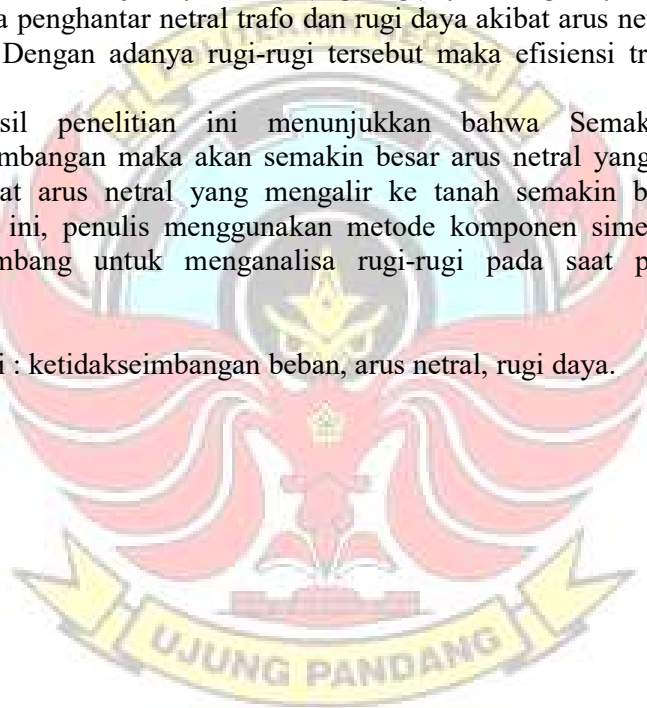
ABSTRAK

(Saparuddin), Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Rugi Daya pada Transformator Gardu Induk di PT. PLN (Persero) Kabupaten Sidrap (Ir. Herman Nawir, M.T dan Sonong, S.T, M.T.).

Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa (fasa R, fasa S, dan fasa T), pada beban-beban satu fasa pada pengguna jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut munculah arus netral pada trafo. Arus netral yang mengalir di netral trafo ini menyebabkan terjadinya *losses* (rugi-rugi), yaitu rugi daya akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo dan rugi daya akibat arus netral yang mengalir ke tanah. Dengan adanya rugi-rugi tersebut maka efisiensi trafo akan semakin rendah.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Semakin besar faktor ketidakseimbangan maka akan semakin besar arus netral yang muncul dan rugi daya akibat arus netral yang mengalir ke tanah semakin besar pula. Dalam Penelitian ini, penulis menggunakan metode komponen simetris dan koefisien tidak seimbang untuk menganalisa rugi-rugi pada saat pembebanan tidak seimbang.

Kata kunci : ketidakseimbangan beban, arus netral, rugi daya.



KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan judul **“Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Rugi Daya pada Transformator Gardu Induk di PT. PLN (Persero) Kabupaten Sidrap”**. Laporan tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan dalam menempuh Program Studi Teknik Pembangkit Energi D-4 pada Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Terima kasih kami ucapkan kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan baik secara material maupun moril. Karena bantuan mereka maka kami dapat menyelesaikan semua kendala yang ada. Untuk itu dengan segala hormat kami ucapkan Terima Kasih kepada :

1. Untuk kedua Orang Tua dan keluarga kami yang telah memberikan semua dukungan dan Doanya.
2. Bapak Prof. Ir. Muhammad Ansar, M.Si, Ph.D., selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.
3. Bapak Rusdi Nur, S.T.,M.T., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin.
4. Bapak Ir Chandra Buana, M.T., selaku Koordinator Program Studi Teknik Pembangkit Energi.

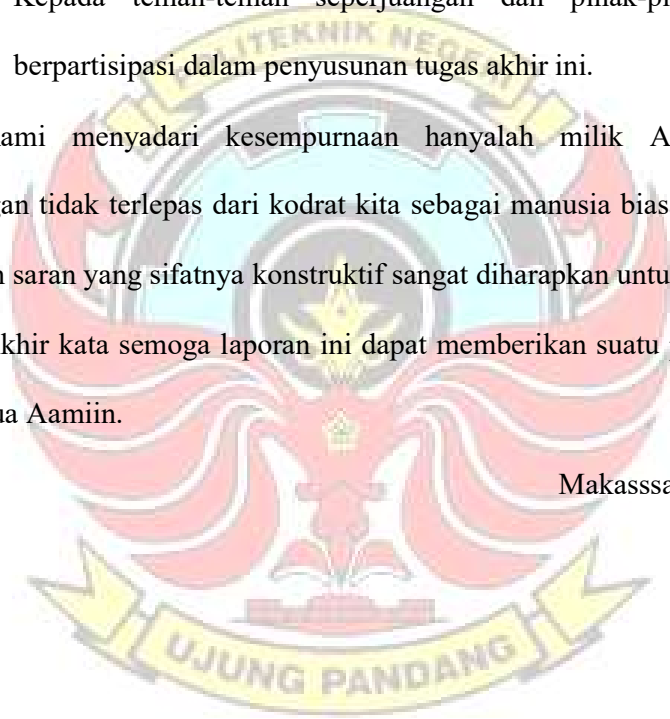
5. Bapak Ir. Herman Nawir, M.T dan Sonong, S.T, M.T. selaku pembimbing kami yang telah memberikan kontribusi yang besar atas penyelesaian tugas akhir ini.
6. Bapak Abd. Hafid, S.T beserta karyawan dan karyawan PT. PLN (Persero) Unit Transmisi dan Gardu Induk Kabupaten Sidrap yang telah dengan sangat baik memfasilitasi kami dalam proses pengambilan data.
7. Kepada teman-teman seperjuangan dan pihak-pihak yang telah berpartisipasi dalam penyusunan tugas akhir ini.

Kami menyadari kesempurnaan hanyalah milik Allah SWT. dan kekurangan tidak terlepas dari kodrat kita sebagai manusia biasa, oleh karena itu kritik dan saran yang sifatnya konstruktif sangat diharapkan untuk perbaikannya.

Akhir kata semoga laporan ini dapat memberikan suatu pengetahuan bagi kita semua Aamiin.

Makassar, 4 Januari 2021

Penulis



DAFTAR ISI

Halaman Sampul / Lembar Judul	i
Lembar Pengesahan	ii
Lembar Persetujuan	iii
Abstrak	iv
Kata Pengantar.....	v
Daftar Isi.....	vii
Daftar Gambar	ix
Daftar Tabel.....	xiii
Daftar Lampiran	xiv
Bab I Pendahuluan	
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat Peneliti	3
E. Batasan Masalah	4
Bab II Tinjauan Pustaka	
A. Umum.....	5
B. Transformator	7
C. Prinsip Kerja Transformator.....	9
D. Konstruksi Transformator	10
E. Faktor Ketidakseimbangan Beban	13
F. Arus Beban Penuh Transformator.....	19
G. Arus Netral Akibat Ketidakseimbangan Beban.....	20
H. Rugi Daya Akibat Adanya Arus Netral pada Penghantar Netral Trafo.....	20
I. Rugi Daya Akibat Arus Netral yang Mengalir ke Tanah.....	21
Bab III Metode Penelitian	
A. Tempat dan Waktu Penelitian.....	22
B. Objek Penelitian.....	22
C. Prosedur Penelitian.....	22

D. Metode Pengumpulan Data	24
E. Metode Analisis Data	25
 Bab IV Hasil dan Pembahasan	
A. Hasil	26
B. Pembahasan	46
Bab V Penutup	
A. Kesimpulan.....	47
B. Saran.....	47

Daftar Pustaka

Lampiran



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Transformator	8
Gambar 2.	Rangkaian dasar transformator	9
Gambar 3.	Core-type construction dan shell-type construction	11
Gambar 4.	Inti besi berlapis pada transformator	12
Gambar 5.	Cara menghubungkan lapisan inti besi pada transformator	12
Gambar 6.	Vektor arus dalam keadaan seimbang	13
Gambar 7.	Vektor tegangan tidak sama besar dan berbentuk 120^0 satu sama Lain	14
Gambar 8.	Vektor tegangan sama besar dan tidak berbentuk 120^0 satu sama Lain	14
Gambar 9.	Vektor tegangan tidak sama besar dan tidak berbentuk 120^0 satu Sama lain	15
Gambar 10.	Hubungan antara faktor ketidakseimbangan beban metode koefisien tidak seimbang (U_{FI}) dan arus netral (I_N) hari pertama	33
Gambar 11.	Hubungan antara faktor ketidakseimbangan beban metode koefisien tidak seimbang (U_{FI}) dan rugi daya pada grounding (P_G) hari pertama	34
Gambar 12.	Grafik penggunaan beban pada hari pertama	45
Gambar 13.	Grafik penggunaan beban pada hari kedua	45

Gambar 14. Grafik penggunaan beban pada hari ketiga	46
Gambar 15. Grafik penggunaan beban pada hari keempat	46
Gambar 16. Grafik penggunaan beban pada hari kelima.....	47
Gambar 17. Grafik penggunaan beban pada hari keenam	47
Gambar 18. Grafik penggunaan beban pada hari ketujuh.....	48
Gambar 19. Hubungan antara faktor ketidakseimbangan beban metode koefisien tidak seimbang (U_{FI}) dan arus netral (I_N) hari pertama	50
Gambar 20. Hubungan antara faktor ketidakseimbangan beban metode koefisien tidak seimbang (U_{FI}) dan rugi daya pada grounding (P_G) hari pertama	50
Gambar 21. Hubungan antara faktor ketidakseimbangan beban metode koefisien tidak seimbang (U_{FI}) dan arus netral (I_N) hari kedua	52
Gambar 22. Hubungan antara faktor ketidakseimbangan beban metode koefisien tidak seimbang (U_{FI}) dan rugi daya pada grounding (P_G) hari kedua.....	52
Gambar 23. Hubungan antara faktor ketidakseimbangan beban metode koefisien tidak seimbang (U_{FI}) dan arus netral (I_N) hari ketiga	54
Gambar 24. Hubungan antara faktor ketidakseimbangan beban metode koefisien tidak seimbang (U_{FI}) dan rugi daya pada grounding (P_G) hari ketiga	54
Gambar 25. Hubungan antara faktor ketidakseimbangan beban metode koefisien tidak seimbang (U_{FI}) dan arus netral (I_N) hari keempat.....	56

Gambar 26. Hubungan antara faktor ketidakseimbangan beban metode koefisien tidak seimbang (U_{FI}) dan rugi daya pada grounding (P_G) hari keempat.....	56
Gambar 27. Hubungan antara faktor ketidakseimbangan beban metode koefisien tidak seimbang (U_{FI}) dan arus netral (I_N) hari kelima	58
Gambar 28. Hubungan antara faktor ketidakseimbangan beban metode koefisien tidak seimbang (U_{FI}) dan rugi daya pada grounding (P_G) hari kelima	58
Gambar 29. Hubungan antara faktor ketidakseimbangan beban metode koefisien tidak seimbang (U_{FI}) dan arus netral (I_N) hari keenam.....	60
Gambar 30. Hubungan antara faktor ketidakseimbangan beban metode koefisien tidak seimbang (U_{FI}) dan rugi daya pada grounding (P_G) hari keenam.....	60
Gambar 31. Hubungan antara faktor ketidakseimbangan beban metode koefisien tidak seimbang (U_{FI}) dan arus netral (I_N) hari ketujuh	62
Gambar 32. Hubungan antara faktor ketidakseimbangan beban metode koefisien tidak seimbang (U_{FI}) dan rugi daya pada grounding (P_G) hari ketujuh	62
Gambar 33. Name plate transformator 20 MVA.....	63
Gambar 34. Name plate NGR transformator 20 MVA.....	63
Gambar 35. Pengukuran arus netral transformator	64
Gambar 36. Transformator 20 MVA gardu induk Kabupaten Sidrap.....	64

Gambar 37. Nilai pengukuran arus netral..... 65

Gambar 38. Aliran arus transformator..... 65



DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Hasil perhitungan faktor ketidakseimbangan beban, arus netral dan rugi daya untuk data pada hari pertama	49
Tabel 2.	Hasil perhitungan faktor ketidakseimbangan beban, arus netral dan rugi daya untuk data pada hari kedua	51
Tabel 3.	Hasil perhitungan faktor ketidakseimbangan beban, arus netral dan rugi daya untuk data pada hari ketiga	53
Tabel 4.	Hasil perhitungan faktor ketidakseimbangan beban, arus netral dan rugi daya untuk data pada hari keempat.....	55
Tabel 5.	Hasil perhitungan faktor ketidakseimbangan beban, arus netral dan rugi daya untuk data pada hari kelima	57
Tabel 6.	Hasil perhitungan faktor ketidakseimbangan beban, arus netral dan rugi daya untuk data pada hari keenam.....	69
Tabel 7.	Hasil perhitungan faktor ketidakseimbangan beban, arus netral dan rugi daya untuk data pada hari ketujuh	61

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Data pengukuran transformator distribusi.....	38
Lampiran 2.	Grafik Beban Harian.....	45
Lampiran 3.	Hasil Perhitungan Ketidakseimbangan Beban, Arus Netral dan Rugi Daya	49
Lampiran 4.	Single line Diagram.....	63
Lampiran 5.	Dokumentasi Penelitian.....	65



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Energi listrik merupakan salah satu komponen terpenting untuk menunjang pembangunan suatu bangsa. Energi listrik mempunyai peranan penting dalam kehidupan manusia seiring dengan semakin meningkatnya pembangunan berbagai bidang dan tingkat kesejahteraan masyarakat maka laju konsumsi energi semakin meningkat pula. Walaupun demikian, tenaga listrik dapat pula membahayakan manusia dan berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan hidup. Oleh karena itu, dalam pengelolaan sumber daya listrik hendaklah dilaksanakan secara andal, aman, dan ramah lingkungan. Oleh karena itu, untuk melayani seluruh daerah beban perlu dilakukan pemerataan pemakaian listrik secara tepat agar seluruh kondisi sistem dapat terjaga keseimbangannya. Selain itu, secara operasional juga harus mampu mengimbangi kondisi dinamis perubahan beban ini menyebabkan pasokan daya listrik harus benar-benar terjaga dan cukup untuk melayani semua beban yang tersebar di setiap titik pusat beban.

Salah satu peralatan yang sangat penting dalam penyaluran energi listrik yaitu transformator. Transformator merupakan suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari suatu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik lain, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi elektromagnet. Transformator digunakan

secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun dalam bidang elektronika. Penggunaan transformator dalam bidang tenaga listrik memungkinkan terpilihnya tenaga listrik yang sesuai, dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam penyaluran daya listrik jarak jauh.

Pada umumnya beban yang dilayani suatu transformator pada suatu sistem distribusi diusahakan agar tetap seimbang, tetapi dalam kenyataannya sering terjadi ketidakseimbangan beban. Ketidakseimbangan beban yang terjadi pada tiap-tiap fasa (fasa R, fasa S dan fasa T) ini menyebabkan arus beban berubah-ubah maka rugi-rugi tembaga juga berubah. Semakin besar ketidakseimbangan beban suatu transformator maka arus yang mengalir pada fasa netral juga semakin besar sehingga rugi daya yang ditimbulkan juga akan semakin besar.

Dengan melihat kasus di atas, dianggap perlu untuk dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh dari ketidakseimbangan tersebut. Berdasarkan alur pemikiran di atas penulis tertarik untuk mengadakan penelitian dengan judul Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Rugi Daya pada Transformator Gardu Induk PT. PLN (Persero) Kabupaten Sidrap.

B. Rumusan Masalah

Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Rugi Daya pada Trafo Transmisi dan Gardu Induk Sidrap ini didasari oleh adanya rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapa besar pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral transformator gardu induk kabupaten sidrap ?
2. Berapa besar pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap rugi daya transformator gardu induk kabupaten sidrap ?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini yaitu :

1. Untuk menghitung besar pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap arus netral transformator gardu induk kabupaten sidrap.
2. Untuk menghitung besar pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap rugi daya transformator gardu induk kabupaten sidrap.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini kedepannya adalah dapat dipergunakan sebagai acuan dalam perencanaan dan pengoprasian transformator tenaga pada Gardu Induk Unit Transmisi dan Gardu Induk Sidrap PT. PLN Sulsel, Sultra dan Sulbar untuk mengatasi gangguan dan kerusakam pada transformator tenaga.

E. Batasan Masalah

1. Pembahasan hanya dititikberatkan pada arus netral dan rugi daya transformator dalam keadaan mendapat beban tidak seimbang.
2. Rugi daya yang dianalisis adalah rugi daya yang timbul akibat adanya arus pada penghantar netral transformator.
3. Menganalisis data transformator yang diperoleh dari Gardu Induk Unit Transmisi dan Gardu Induk Sidrap PT. PLN Sulsel, Sultra dan Sulbar.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Umum

Ketidakseimbangan beban merupakan salah satu permasalahan yang sering timbul pada sistem pembangkitan. Oleh karena itu, penelitian yang terkait dengan ketidakseimbangan beban sangat banyak dilakukan. Badaruddin (2012) melakukan penelitian mengenai pengaruh ketidakseimbangan beban pada proyek Rusunawi Gading Icon dengan tujuan untuk mengetahui berapa besar ketidakseimbangan beban yang terjadi di Rusunawi Gading icon, dengan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa presentase ketidakseimbangan yang terjadi di Rusunawi Gading Icon adalah 28,67 %. Penelitian mengenai pengaturan tegangan generator tiga fasa hubungan bintang akibat pembebanan tidak seimbang dengan tujuan untuk mengetahui hubungan antara ketidakseimbangan beban dengan pengaturan tegangan, baik dengan beban resistif, induktif, kapasitif serta besar pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap pengaturan beban (Twenty Try dan Husnul Khotimah 2013). Tony Christianto dan Ahmad Tegar (2015) juga melakukan penelitian mengenai pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap efisiensi transformator tiga fasa dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar presentase ketidakseimbangan beban pada transformator dan juga untuk mengetahui seberapa besar efisiensi transformator. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada saat transformator diberi beban tidak seimbang

maka efisiensinya akan menurun dibandingkan dengan saat transformator diberi beban seimbang.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, penulis tertarik untuk mengadakan penelitian terkait dengan beban tidak seimbang. Pada penelitian kali ini penulis akan menganalisis “Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Rugi Daya pada Transformator Gardu Induk Sidrap”.

Adapun perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah:

1) Transformator

Penulis melakukan penelitian pada transformator gardu induk sedangkan penelitian sebelumnya menggunakan transformator distribusi.

2) Titik Fokus Penelitian

Penulis melakukan analisis pada titik netral dan rugi daya yang sedangkan penelitian sebelumnya melakukan analisis untuk efisiensi transformator.

3) Metode penelitian

Penulis melakukan analisis menggunakan metode koefisien tidak seimbang dan metode komponen simetris sedangkan penelitian sebelumnya melakukan analisis menggunakan metode komponen simetris.

4) Lokasi penelitian

Penelitian dilakukan pada gardu induk sidrap sedangkan penelitian sebelumnya dilakukan pada jaringan distribusi.

B. Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energi listrik dari suatu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi-elektromagnetik (Yon Rijono, 1997). Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaannya dalam sistem tenaga memungkinkan dipilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan; misalnya, kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh. Dalam bidang elektronika, transformator digunakan antara lain sebagai gandengan impedansi antara sumber dan beban; untuk memisahkan satu rangkaian dari rangkaian yang lain; untuk menghambat

arus searah sambil tetap melakukan arus bolak-balik antara rangkaian.

Menurut Prof. Ir. Abdul kadir (1989), penggunaan transformator yang sangat sederhana dan andal itu merupakan salah satu sebab penting bahwa arus bolak-balik sangat banyak dipergunakan untuk pembangkitan dan penyaluran tenaga listrik. Pada penyaluran tenaga listrik terjadi kerugian energi. Kerugian ini akan banyak berkurang apabila tegangan dinaikkan. Dengan demikian maka saluran-saluran transmisi tenaga listrik senantiasa mempergunakan tegangan yang tinggi. Tegangan transmisi yang tertinggi di Indonesia pada saat ini adalah 500 kV. Hal ini dilakukan terutama untuk mengurangi kerugian energi yang terjadi. Tegangan listrik di pusat listrik

dinaikkan dari tegangan generator yang biasanya berkisar antara 6 sampai 20 kV pada awal saluran transmisi,

kemudian menurunkannya lagi pada ujung akhir saluran itu ke tegangan yang lebih rendah, yang dilakukan dengan transformator. Transformator yang dipakai pada jaringan tenaga listrik merupakan transformator tenaga.



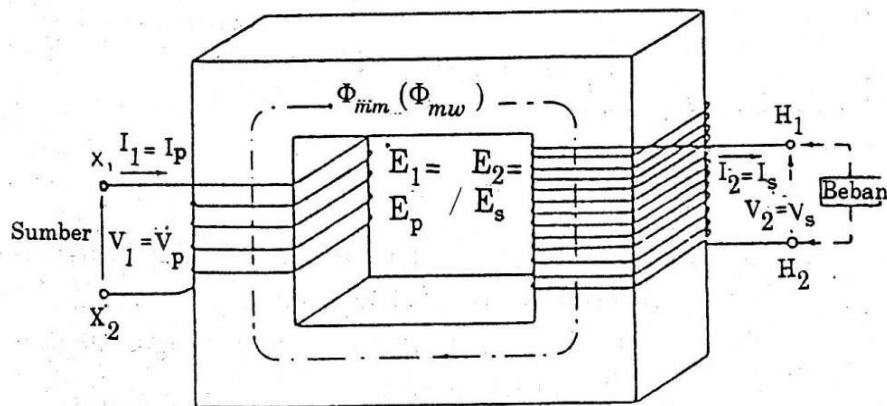
Gambar 1. Transformator (Sumber: <http://www.indiamart.com/saurabhelectricals/>).

Transformator digunakan pada peralatan listrik terutama yang memerlukan perubahan atau penyesuaian besarnya tegangan bolak-balik. Misalkan pada peralatan rumah tangga seperti radio yang memerlukan tegangan 12 volt padahal listrik dari PLN 220 volt, maka diperlukan transformator untuk

mengubah tegangan listrik bolak-balik 220 volt menjadi tegangan listrik bolak-balik 12 volt. Contoh alat listrik yang memerlukan transformator adalah : TV, komputer, mesin foto copy, gardu listrik dan sebagainya.

C. Prinsip Kerja Transformator

Prinsip kerja transformator adalah berdasarkan hukum Faraday yaitu arus listrik dapat menimbulkan medan magnet dan sebaliknya medan magnet dapat menimbulkan arus listrik. Bila pada salah satu kumparan transformator, yakni primer, diberi arus listrik bolak-balik, maka sebuah fluks bolak balik akan dihasilkan yang amplitudonya akan bergantung pada tegangan primer dan banyaknya lilitan. Kumparan sekunder juga menerima fluks magnet dari kumparan primer yang jumlahnya juga berubah. Maka pada kumparan sekunder juga timbul induksi dan akibatnya antara dua ujung kumparan terdapat beda tegangan (A.E. Fitzgerald,dkk. 1981).



Gambar 2. Rangkaian dasar transformator.

D. Konstruksi Transformator

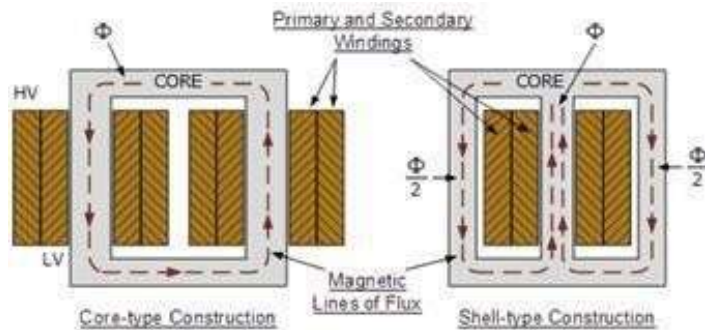
Pada umumnya transformator yang digunakan dalam system tenaga listrik mempunyai konstruksi atau bagian-bagian sebagai berikut :

1. Belitan atau kumparan yang terbuat dari kawat tembaga berisolasi.
2. Inti besi terbuat dari lempengan-lempengan besi lunak atau besi silicon (Grain Oriented Silicon Steel) yang diklem menjadi satu.
3. Sistem pendinginan untuk transformator yang berkapasitas daya cukup besar.
4. Bushing untuk menghubungkan rangkaian dalam dan rangkaian luar transformator.
5. Container atau tangki yang terbuat dari lembaran metal, sebagai rumah transformator.

Sebuah transformator terdiri dari kumparan dan inti besi. Terdapat 2 buah kumparan yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Kedua kumparan ini tidak berhubungan secara fisik tetapi dihubungkan oleh medan magnet. Untuk meningkatkan induksi magnetic antara 2 kumparan maka ditambahkan inti besi. Menurut Zuhail (1988), Inti besi pada transformator dibedakan menjadi 2 macam yaitu :

1. Inti besi tipe Shell (Shell Core Transformator)
2. Inti besi tipe tertutup (Closed Core Transformator)

Kedua jenis inti besi ini dapat dilihat seperti pada Gambar 2.3 berikut ini.



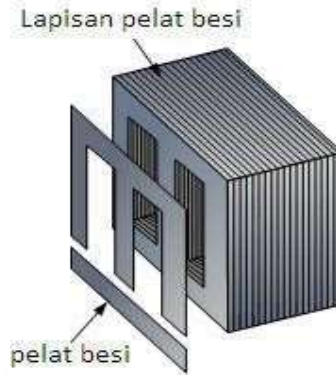
(a) (b)

Gambar 3. (a) Core-type Construction, (b) Shell-type Construction.

Pada transformator dengan inti besi berbentuk shell, kumparan dikelilingi oleh inti besi. Fluks magnetic pada inti besi tipe shell akan terbelah dua (lihat Gambar3). Sementara kumparan primer dan kumparan sekunder digulung bersamaan. Untuk transformator yang memiliki inti besi tipe tertutup. Tidak ada pembagian fluks magnetik. Kumparan primer dan kumparan sekunder terpisah dan dihubungkan dengan inti besi.

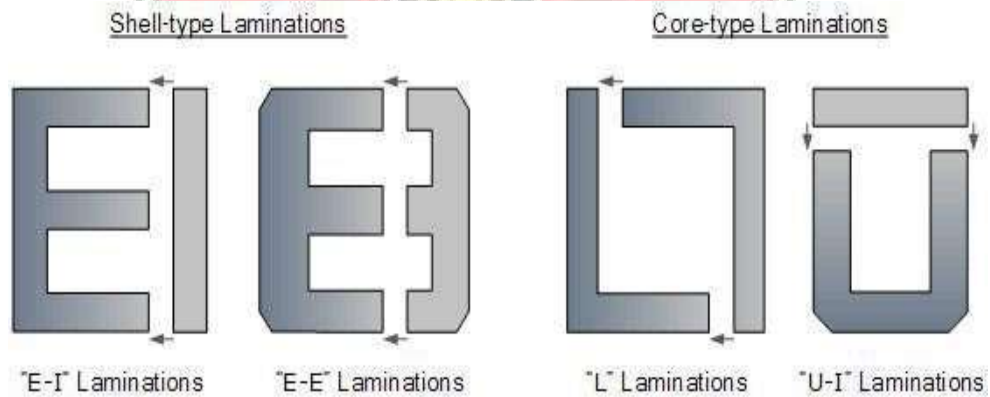
Inti besi transformator tidak dibuat berbentuk besi tunggal, tetapi dibuat dari lempengan-lempengan besi lunak dari bahan besi silicon (Grain Oriented Silicon Steel) yang berisolasi, yang tujuannya adalah untuk mengurangi panas (sebuah rugi-rugi besi) yang ditimbulkan oleh Eddy Current.

Bentuk lempengan-lempengan besi lunak atau besi silicon pada inti transformator tersebut dapat dilihat seperti pada Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Inti besi berlapis pada transformator.

Cara menghubungkan lempengan inti besi juga bermacam-macam. Beberapa cara yang umum digunakan dapat dilihat seperti pada Gambar 5 berikut ini.



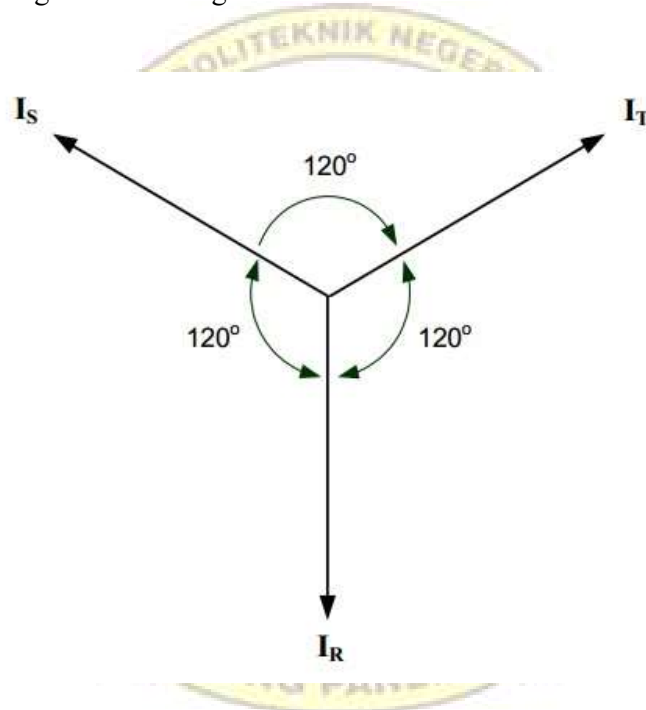
Gambar 5. Cara menghubungkan lapisan inti besi pada transformator.

E. Faktor Ketidakseimbangan Beban

1. Pengertian Beban Tidak Seimbang

Yang dimaksud dengan keadaan yang tidak seimbang adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi. Dimana yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan dimana :

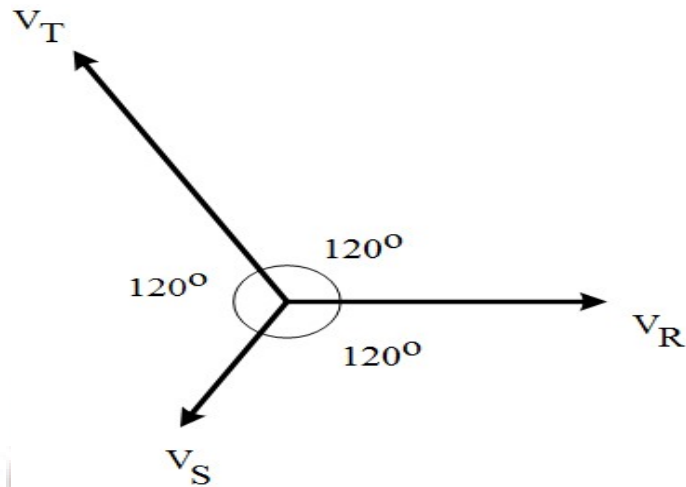
- ✓ Ketiga vektor arus dan tegangan sama besar
- ✓ Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain.



Gambar 6. Vektor arus dalam keadaan seimbang

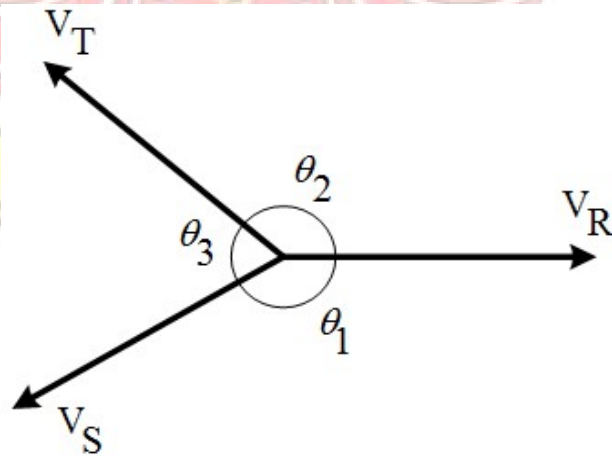
Sedangkan keadaan tidak seimbang ada tiga yaitu :

- a) Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.



Gambar 7. Vektor tegangan tidak sama besar dan berbentuk 120° satu sama lain.

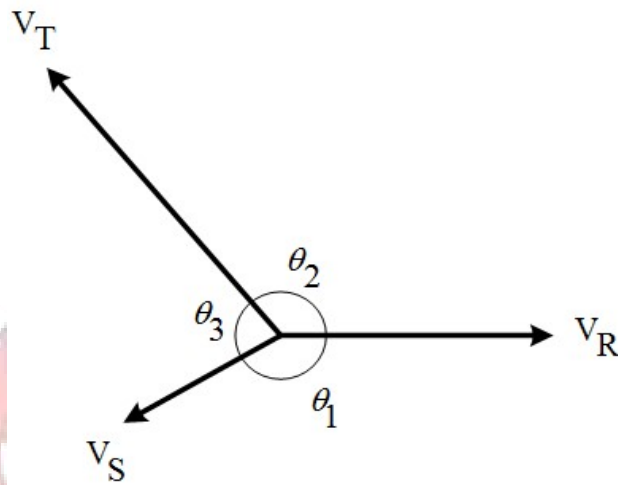
- b) Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.



$$\theta_1 \neq \theta_2 \neq \theta_3 \neq 120^\circ$$

Gambar 8. Vektor tegangan sama besar dan tidak membentuk 120° satu sama lain.

- c) Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.



$$\theta_1 \neq \theta_2 \neq \theta_3 \neq 120^\circ$$

Gambar 9. Vektor tegangan tidak sama besar dan tidak membentuk 120° satu sama lain.

2. Perhitungan Ketidakseimbangan Beban

Faktor ketidakseimbangan beban dapat ditentukan dengan dua cara. Yang pertama yaitu dengan metode komponen simetris yang didefinisikan sebagai perbandingan antara nilai komponen urutan negative dengan komponen urutan positif. Komponen urutan positif, terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan berbeda sudut fasanya 120° dan mempunyai urutan yang sama dengan fasa aslinya. Sedangkan komponen urutan negatif, terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan berbeda sudut fasanya 120° dan mempunyai fasa urutan yang berlawanan dengan fasa aslinya (William D. Stevenson, 1997). Jadi :

$$\text{Faktor ketidakseimbangan}(U_{Fl}) = \frac{|I_{R2}|}{|I_{R1}|} \dots\dots\dots(1)$$

Dalam hal ini :

$$I_{R1} = \frac{1}{3} (I_R + aI_S + a^2I_T) \dots\dots\dots(2)$$

$$I_{R2} = \frac{1}{3} (I_R + a^2I_S + aI_T) \dots\dots\dots(3)$$

$$\frac{I_{R2}}{I_{R1}} = \frac{I_R + a^2I_S + aI_T}{I_R + aI_S + a^2I_T} \dots\dots\dots(4)$$

$$a = 1 \angle 120^\circ ; a^2 = 1 \angle -120^\circ$$

Pada persamaan (2) dan (3) masing-masing ruas kiri dan kanan dikali a^2 dan a . Maka :

$$a^2 I_{R1} = \frac{1}{3} a^2 (I_R + aI_S + a^2I_T)$$

$$I_{S1} = \frac{1}{3} a^2 (I_R + aI_S + a^2I_T) \dots\dots\dots(5)$$

$$a I_{R2} = \frac{1}{3} a (I_R + a^2I_S + aI_T)$$

$$I_{S2} = \frac{1}{3} a (I_R + a^2I_S + aI_T) \dots\dots\dots(6)$$

$$\frac{I_{S2}}{I_{S1}} = \frac{1}{a} \frac{I_R + a^2I_S + aI_T}{I_R + aI_S + a^2I_T} \dots\dots\dots(7)$$

Selanjutnya pada persamaan (2) dan (3) masing-masing ruas kiri dan kanan dikali a dan a^2 . Maka :

$$a I_{R1} = \frac{1}{3} a (I_R + aI_S + a^2I_T)$$

$$I_{T1} = \frac{1}{3} a (I_R + aI_S + a^2I_T) \dots\dots\dots(8)$$

$$a^2 I_{R2} = \frac{1}{3} a^2 (I_R + a^2I_S + aI_T)$$

$$I_{T2} = \frac{1}{3} a^2 (I_R + a^2I_S + aI_T) \dots\dots\dots(9)$$

$$\frac{I_{T2}}{I_{T1}} = a \left(\frac{I_{R2} + a_2 I_S + a I_T}{I_{R2} + a I_S + a^2 I_T} \right) \dots\dots\dots(10)$$

Maka :

$$\frac{I_{R2}}{I_{R1}} \neq \frac{I_{S2}}{I_{S1}} \neq \frac{I_{T2}}{I_{T1}}$$

Tetapi :

$$\frac{|I_{S2}|}{|I_{S1}|} = \left| \frac{I_{S2}}{I_{S1}} \right| = \left| \frac{1}{a} \cdot \frac{I_{R2}}{I_{R1}} \right| = \frac{1}{1} \cdot \frac{|I_{R2}|}{|I_{R1}|}$$

$$\frac{I_{S2}}{I_{S1}} = \frac{I_{R2}}{I_{R1}} \dots\dots\dots(11)$$

$$\frac{|I_{T2}|}{|I_{T1}|} = \left| \frac{I_{T2}}{I_{T1}} \right| = \left| a \cdot \frac{I_{R2}}{I_{R1}} \right| = 1 \cdot \frac{|I_{R2}|}{|I_{R1}|}$$

$$\frac{I_{T2}}{I_{T1}} = \frac{I_{R2}}{I_{R1}} \dots\dots\dots(12)$$

Jadi :

$$\frac{I_{R2}}{I_{R1}} = \frac{I_{S2}}{I_{S1}} = \frac{I_{T2}}{I_{T1}} \dots\dots\dots(13)$$

Persentase ketidakseimbangan beban yaitu:

$$U_{FI} (\%) = \frac{I_{R2}}{I_{R1}} \times 100\% \dots\dots\dots(14)$$

Dalam hal ini :

$U_{FI} (\%)$ = Faktorketidakseimbanganbeban dalam %

I_{R1} = besar arusurutanpositif dari fasa R

I_{R2} = besar arusurutannegatif dari fasa R

I_R = arusbebanpadafasaR

I_S = arusbebanpadafasaS

I_T = arusbebanpadafasaT

Persamaan faktor ketidakseimbangan dengan metode komponen simetris di atas juga berlaku untuk tegangan (U_{FV}).

Faktor ketidakseimbangan cara kedua yaitu dengan metode koefisien tak seimbang.

Jika \bar{I} adalah besaran arus fasa dalam penyaluran daya pada keadaan seimbang, maka pada penyaluran daya yang sama tetapi dengan keadaan tak seimbang besarnya arus-arus fasa dapat dinyatakan dengan koefisien a_1 , b_1 , c_1 sebagai berikut:

$$\bar{I} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \dots\dots\dots(15)$$

$$I_R = a_1 \cdot \bar{I} \dots\dots\dots(16)$$

$$I_S = b_1 \cdot \bar{I} \dots\dots\dots(17)$$

$$I_T = c_1 \cdot \bar{I} \dots\dots\dots(18)$$

dengan I_R , I_S dan I_T 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 :

$$P = (a_1 + b_1 + c_1) \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi \dots\dots\dots(19)$$

Apabila persamaan $P = (a_1 + b_1 + c_1) \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi$ dan persamaan $P = 3 \cdot V \cdot I \cdot \cos \phi$ menyatakan daya yang besarnya sama, maka dari kedua persamaan itu dapat diperoleh persyaratan untuk koefisien a_1 , b_1 dan c_1 yaitu :

$$a_1 + b_1 + c_1 = 3$$

dimana pada keadaan seimbang, nilai $a_1 = b_1 = c_1 = 1$. Dalam hal ini persentase faktor ketidakseimbangan beban (U_{FI}) didefinisikan sebagai :

$$U_{FI} = \frac{(|a_1-1|+|b_1-1|+|c_1-1|)}{3} \times 100\% \dots\dots\dots(20)$$

Persamaan faktor ketidakseimbangan di atas juga berlaku untuk tegangan, dimana koefisien a_2 , b_2 , c_2 merupakan koefisien ketidakseimbangan terhadap tegangan (U_{FV}).

F. Arus Beban Penuh Transformator

Daya transformator distribusi bila ditinjau dari sisi tegangan primer dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$S_{3\phi} = \sqrt{3} \cdot V_{Prim(LL)} \cdot I_{prim} \dots\dots\dots (21)$$

Dimana:

$S_{3\phi}$: daya transformator (kVA)

$V_{prim(LL)}$: tegangan antar fasa pada sisi primer transformator (kV)

I_{prim} : arus jala-jala pada sisi primer transformator (A)

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

$$I_{sec(FL)} = \frac{S_{3\phi}}{\sqrt{3} \cdot V_{S(LL)}} \dots\dots\dots (22)$$

Dimana:

$I_{sec(FL)}$: arus sekunder transformator dalam keadaan beban penuh (A)

$S_{3\phi}$: daya transformator (kVA)

$V_{S(LL)}$: tegangan antar fasa pada sisi sekunder trafo (kV)

G. Arus Netral Akibat Ketidakseimbangan Beban

Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, S dan T) mengalirlah arus di netral trafo. Besar arus yang mengalir pada titik netral dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$I_N = \sqrt{\left(\frac{I_R}{2} - \frac{I_S}{2} - \frac{I_T}{2}\right)^2 + \left(\frac{I_T}{2}\sqrt{3} - \frac{I_S}{2}\sqrt{3}\right)^2} \dots\dots\dots(23)$$

Dimana:

I_N = Arus yang mengalir pada fasa netral trafo (A)

I_R = Arus yang mengalir pada penghantar fasa R trafo (A)

I_S = Arus yang mengalir pada penghantar fasa S trafo (A)

I_T = Arus yang mengalir pada penghantar fasa T trafo (A)

H. Rugi daya akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo

Akibat dari adanya arus yang mengalir pada penghantar netral trafo , maka menyebabkan timbulnya losses (rugi-rugi). Losses pada penghantar netral trafo ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \dots\dots\dots(24)$$

Dimana:

P_N : rugi daya pada penghantar netral trafo (watt)

I_N : arus yang mengalir pada netral trafo (A)

R_N : tahanan penghantar netral trafo (Ω)

I. Rugi daya akibat arus netral yang mengalir ke tanah

Losses yang diakibatkan karena arus netral yang mengalir ke tanah (*ground*) dapat dihitung dengan perumusan sebagai berikut :

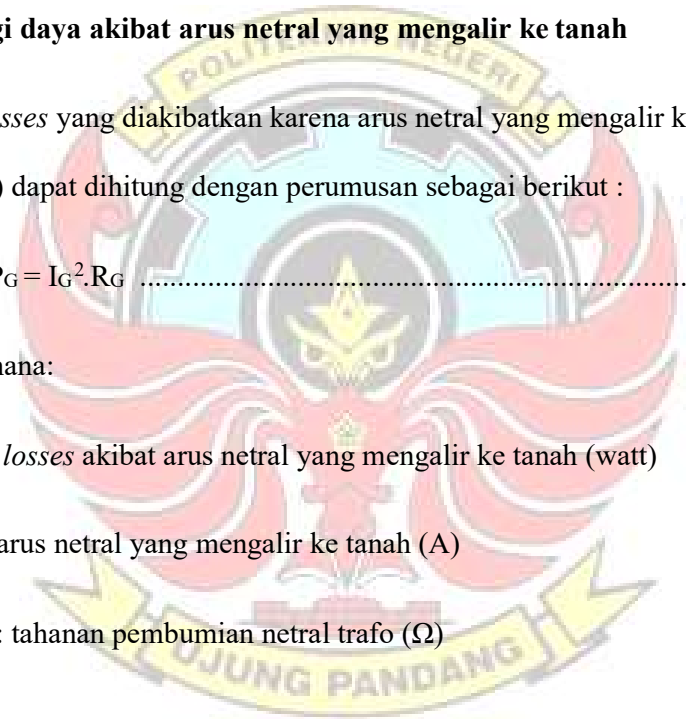
$$P_G = I_G^2 \cdot R_G \dots\dots\dots (25)$$

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 (Ω)



BAB III

METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian Tugas Akhir “ Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Rugi Daya pada Transformator Gardu Induk di PT. PLN (Persero) Kabupaten Sidrap” dilaksanakan pada tanggal 24 – 30 Mei 2016. di PT. PLN (Persero) Unit Transmisi dan Gardu Induk Kabupaten Sidrap.

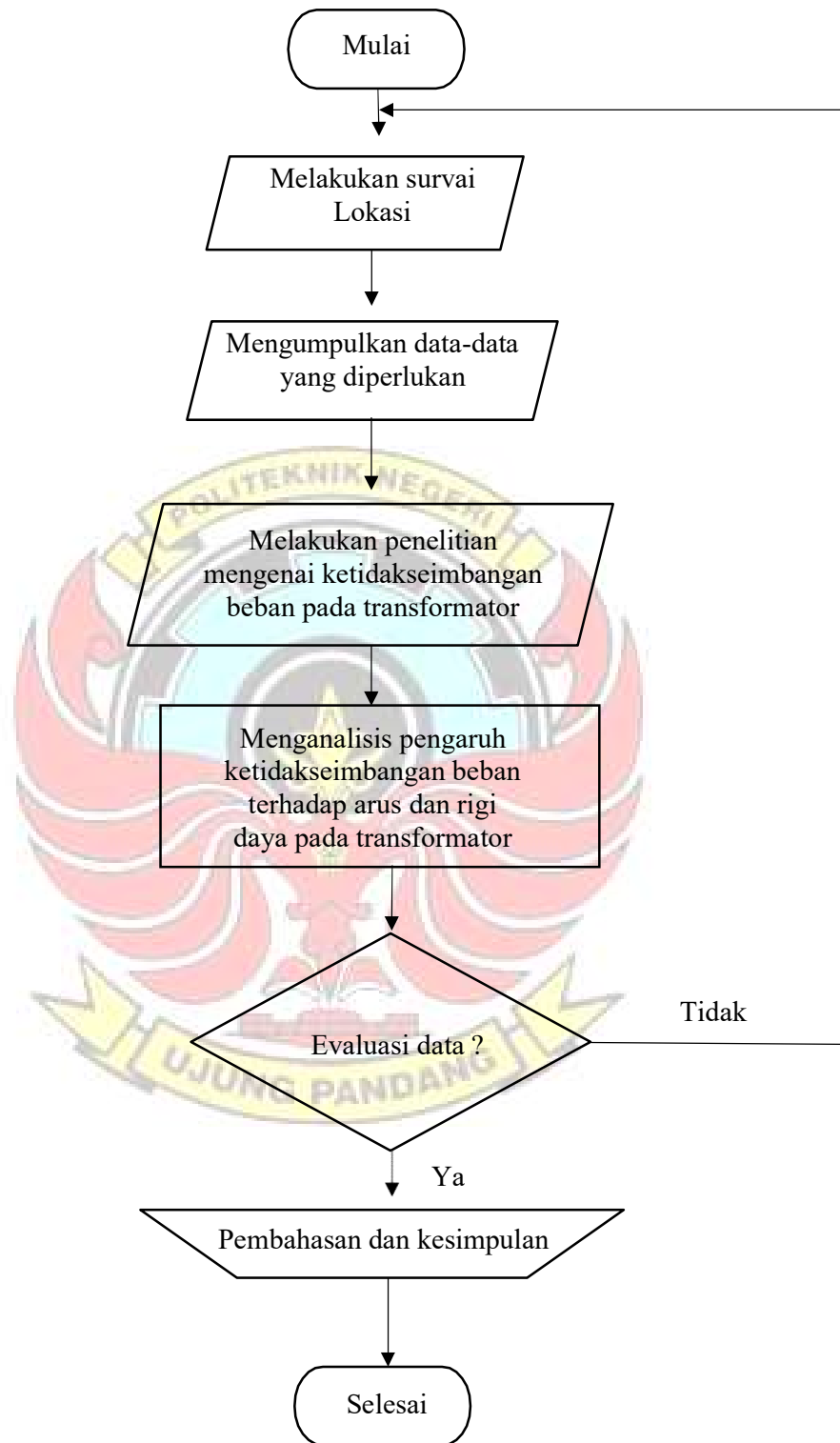
B. Objek Penelitian

Dalam hal ini penyusun akan melakukan penelitian mengenai pengaruh beban tidak seimbang terhadap arus netral dan rugi daya pada transformator gardu induk di PT. PLN (Persero) Kabupaten Sidrap.

C. Prosedur Penelitian

Adapun prosedur dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Melakukan survey lapangan pada lokasi Gardu Induk Unit Transmisi dan Gardu Induk Sidrap.
2. Mengambil data – data yang diperlukan untuk melakukan penelitian.
3. Melakukan penelitian tentang pengaruh beban tidak seimbang pada transformator tenaga.
4. Membuat analisis dari data-data yang telah diperoleh pada penelitian.
5. Setelah semuanya rampung maka penelitian selesai.



Gambar 9. Flowchart analisis

D. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Studi Literatur dilakukan dengan membaca buku-buku, situs-situs dan dokumen-dokumen lainnya yang berhubungan dengan judul penelitian dan juga menunjang dalam penyelesaian penelitian tugas akhir ini. Adapun manfaatnya sebagai berikut :

- a. Mempelajari secara umum tentang transformator tenaga.
- b. Mempelajari rumus-rumus yang berhubungan dengan beban tidak seimbang dan rugi daya transformator.
- c. Mempelajari tentang bagaimana menganalisis pengaruh beban tidak seimbang terhadap arus netral dan rugi daya pada transformator tenaga.

2. Survey Lapangan

Kegiatan survey lapangan ini dilakukan agar dapat mengetahui kondisi peralatan yang akan diteliti. Dan pada kegiatan ini pula, dirangkaikan dengan mengambil data-data yang diperlukan untuk melaksanakan penelitian pada perusahaan tersebut.

3. Interview / Wawancara

Interview / Wawancara adalah teknik pengumpulan data dengan cara melakukan wawancara langsung pada pihak yang memiliki pengetahuan lebih tentang hal yang akan diteliti.

E. Metode Analisis Data

Untuk menganalisis hasil data yang diperoleh pada penelitian ini, maka dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus-rumus yang telah dipelajari baik pada saat kuliah maupun melalui studi literatur. Langkah-langkah perhitungannya sebagai berikut:

- a. Menentukan arus beban penuh transformator tenaga.
- b. Menentukan ketidakseimbangan beban.
- c. Menentukan rugi daya untuk beban tidak seimbang.
- d. Menentukan rugi-rugi pada penghantar netral transformator tenaga.
- e. Menentukan rugi-rugi arus netral yang mengalir ke tanah.

BAB IV


HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

1. Data Transformator

a) Spesifikasi Transformator

Spesifikasi transformator daya yang digunakan adalah:



Daya	: 20 MVA
Tegangan Kerja	: 150 kV / 20 kV / 8,389 kV
Arus	: 577,4 A
R_N	: $1,125 \times 10^{-3} \Omega$
R_G	: 40Ω
Hubungan	: $Y_N y_n o d_l$
Impedansi	: 12,19 %
Fasa	3

b) Data pengukuran

Data transformator di lokasi yang diukur selama tujuh hari dapat dilihat pada Lampiran 1.

B. Pembahasan

1. Persentase Ketidakseimbangan Beban

a) Metode Komponen Simetris

Berdasarkan data pada Lampiran 1 hari ke-1 untuk jam 19.00 dan dengan menggunakan persamaan (2), (3), (4) dan (14), $I_R = 341$ A, $I_S = 334$ A, dan $I_T = 352$ A, faktor ketidakseimbangan bebannya (U_{FI}) dapat dilihat pada analisis berikut :

$$\begin{aligned} \triangleright I_{R1} &= \frac{1}{3}(I_R + aI_S + a^2 I_T) \\ &= \frac{1}{3}((341) + (1 \angle 120^\circ)(334 \angle 240^\circ) + (1 \angle 240^\circ)(352 \angle 120^\circ)) \\ &= \frac{1}{3}(341 + 334 + 352) \\ &= \frac{1}{3}(1027) \end{aligned}$$

$$I_{R1} = 342,33 \angle 0^\circ$$

$$I_{R1} = 342,33$$

$$\begin{aligned} \triangleright I_{R2} &= \frac{1}{3}(I_R + a^2 I_S + aI_T) \\ &= \frac{1}{3}((341) + (1 \angle 240^\circ)(334 \angle 240^\circ) + (1 \angle 120^\circ)(352 \angle 120^\circ)) \\ &= \frac{1}{3}((341) + (334 \angle 120^\circ) + (352 \angle 240^\circ)) \end{aligned}$$

$$I_{R2} = 15,72 \angle 82,69^\circ$$

$$I_{R2} = 15,72$$

Jadi, faktor ketidakseimbangan bebannya yaitu:

$$U_{FI} = \frac{I_{R2}}{I_{R1}} = \frac{15,72}{342,33} \times 100 = 4,59 \%$$

b) Metode Koefisien Tidak Seimbang

Perhitungan faktor ketidakseimbangan juga dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan (15), (16), (17), (18) dan (20). faktor ketidakseimbangan bebannya (U_{FI}) dapat dilihat pada analisis berikut :

$$\Rightarrow I = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{341 + 334 + 352}{3} = 342,33 \text{ A}$$

$$a_1 = \frac{I_R}{I} = \frac{341}{342,33} = 0,99$$

$$b_1 = \frac{I_S}{I} = \frac{334}{342,33} = 0,97$$

$$c_1 = \frac{I_T}{I} = \frac{352}{342,33} = 1,02$$

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

$$U_{FI} = \frac{(|0,99-1| + |0,97-1| + |1,02-1|)}{3} \times 100\%$$

$$= 1,33 \%$$

2. Arus Beban Penuh

$$S_{3\phi} = 20 \text{ MVA}$$

$$V_{S(LL)} = 20 \text{ kV}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned}
 I_{\text{sec(FL)}} &= \frac{S_{3\phi}}{\sqrt{3} \cdot V_{S(LL)}} \\
 &= \frac{20000}{\sqrt{3} \times 20} \\
 &= 577,4 \text{ A}
 \end{aligned}$$

Persentase pembebanan trafo adalah:

$$\frac{I_{\text{rata-rata}}}{I_{FL}} = \frac{342,33}{577,4} = 59,28 \%$$

Dari perhitungan di atas terlihat bahwa pada waktu beban puncak persentase pembebanan yaitu 59,28%

3. Arus Akibat Ketidakseimbangan Beban

Perhitungan arus pada titik netral transformator dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan (23). Besar Arus yang timbul akibat ketidakseimbangan bebannya dapat dilihat pada analisis berikut:

$$\begin{aligned}
 I_N &= \sqrt{\left(\frac{I_R}{2} - \frac{I_S}{2} - \frac{I_T}{2} \right)^2 + \left(\frac{I_R}{2} \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{I_S}{2} \frac{\sqrt{3}}{2} \right)^2} \\
 &= \sqrt{\left(\frac{341}{2} - \frac{334}{2} - \frac{352}{2} \right)^2 + \left(\frac{352}{2} \frac{\sqrt{3}}{2} - \frac{334}{2} \frac{\sqrt{3}}{2} \right)^2} \\
 &= \sqrt{-2^2 + 15,59^2} \\
 &= 15,71 \text{ A}
 \end{aligned}$$

4. Rugi daya akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo

Perhitungan rugi daya akibat arus netral dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan (24). Besar rugi daya yang timbul akibat arus netral dapat dilihat pada analisis berikut :

$$\begin{aligned} P_N &= I_N^2 \cdot R_N \\ &= 15,71^2 \times 0,001125 \\ &= 0,27 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Dimana daya aktif trafo (P) :

$$\begin{aligned} P &= \sqrt{S^2 - Q^2} \\ &= \sqrt{20^2 - 6,5^2} \\ &= 18,91 \text{ MW} \end{aligned}$$

Sehingga, persentase rugi daya akibat adanya arus netral pada penghantar netral trafo adalah :

$$\begin{aligned} \% P_N &= \frac{P_N}{P} \times 100 \% \\ &= \frac{0,27}{18,91 \times 10^6} \\ &= 1,42 \times 10^{-6} \% \end{aligned}$$

5. Rugi daya akibat arus netral yang mengalir ke tanah

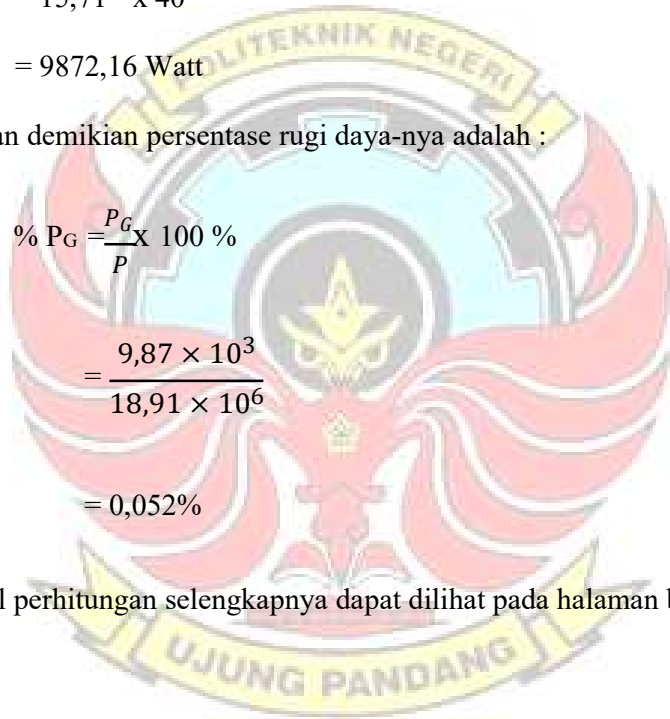
Perhitungan rugi daya akibat arus netral yang mengalir ke tanah dapat diselesaikan dengan menggunakan persamaan (25). Besar rugi daya yang timbul akibat arus netral yang mengalir ke tanah dapat dilihat pada analisis berikut :

$$\begin{aligned} P_G &= I_G^2 \cdot R_G \\ &= 15,71^2 \times 40 \\ &= 9872,16 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Dengan demikian persentase rugi daya-nya adalah :

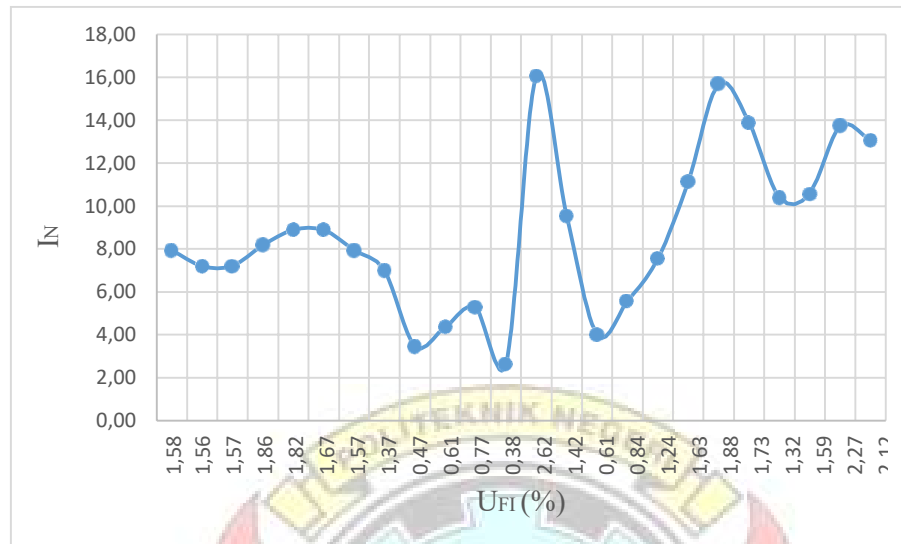
$$\begin{aligned} \% P_G &= \frac{P_G}{P} \times 100 \% \\ &= \frac{9,87 \times 10^3}{18,91 \times 10^6} \\ &= 0,052\% \end{aligned}$$

Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada halaman berikutnya.



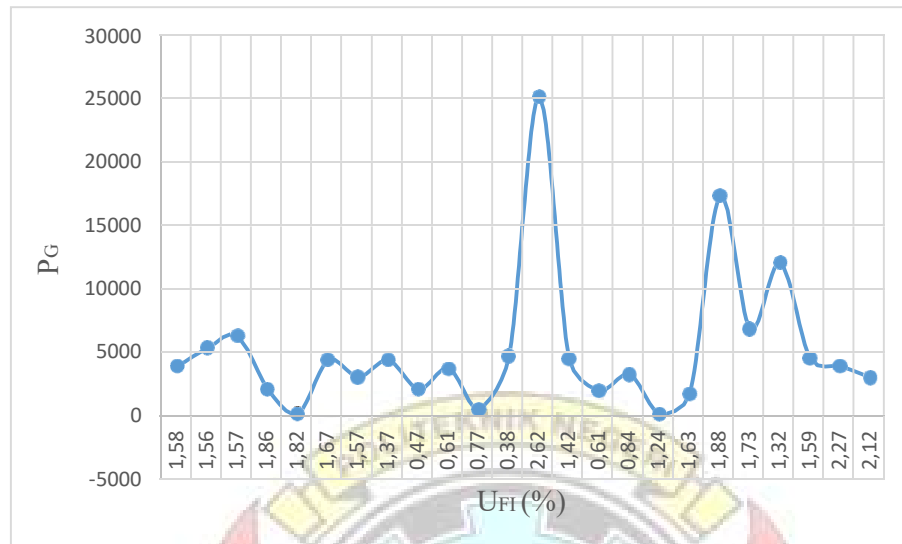
Tabel 1. Hasil Perhitungan faktor ketidakseimbangan beban, arus netral dan rugi daya untuk data pada hari pertama

NO	JAM	IR	IS	IT	Ketidak Seimbangan Beban		Q	P	IN (A)	PN		PG	
					Metode 1	Metode 2				MVAR	MW	Watt	%
1	01.00	210	207	216	1,25	1,58	4,8	19,42	7,94	0,07	3,65E-07	2520	0,0130
2	02.00	198	196	204	1,21	1,56	4,8	19,42	7,21	0,06	3,01E-07	2080	0,0107
3	03.00	197	195	203	1,21	1,57	4,8	19,42	7,21	0,06	3,01E-07	2080	0,0107
4	04.00	189	187	196	1,43	1,86	4,8	19,42	8,19	0,08	3,88E-07	2680	0,0138
5	05.00	206	203	213	1,43	1,82	4,9	19,39	8,89	0,09	4,58E-07	3160	0,0163
6	06.00	227	220	230	1,31	1,67	5	19,36	8,89	0,09	4,59E-07	3160	0,0163
7	07.00	211	208	217	1,25	1,57	4,9	19,39	7,94	0,07	3,66E-07	2520	0,0130
8	08.00	230	230	223	1,02	1,37	5	19,36	7,00	0,06	2,85E-07	1960	0,0101
9	09.00	282	280	284	0,41	0,47	5	19,36	3,46	0,01	6,97E-08	480	0,0025
10	10.00	293	291	296	0,50	0,61	5	19,36	4,36	0,02	1,10E-07	760	0,0039
11	11.00	291	287	285	0,61	0,77	5,2	19,31	5,29	0,03	1,63E-07	1120	0,0058
12	12.00	294	295	297	0,30	0,38	5,2	19,31	2,65	0,01	4,08E-08	280	0,0014
13	13.00	261	278	276	1,97	2,62	5	19,36	16,09	0,29	1,50E-06	10360	0,0535
14	14.00	294	303	293	1,07	1,42	5	19,36	9,54	0,10	5,29E-07	3640	0,0188
15	15.00	291	295	295	0,45	0,61	5	19,36	4,00	0,02	9,30E-08	640	0,0033
16	16.00	289	290	295	0,64	0,84	5	19,36	5,57	0,03	1,80E-07	1240	0,0064
17	17.00	265	266	273	0,94	1,24	5	19,36	7,55	0,06	3,31E-07	2280	0,0118
18	18.00	297	295	307	1,24	1,63	5	19,36	11,14	0,14	7,20E-07	4960	0,0256
19	19.00	341	334	352	1,53	1,88	6,5	18,91	15,72	0,28	1,47E-06	9880	0,0522
20	20.00	321	314	330	1,44	1,73	5,5	19,23	13,89	0,22	1,13E-06	7720	0,0401
21	21.00	304	298	310	1,14	1,32	5,5	19,23	10,39	0,12	6,32E-07	4320	0,0225
22	22.00	279	275	287	1,26	1,59	5	19,36	10,58	0,13	6,51E-07	4480	0,0231
23	23.00	258	261	273	1,74	2,27	4,9	19,39	13,75	0,21	1,10E-06	7560	0,0390
24	00.00	244	250	259	1,74	2,12	4,8	19,42	13,08	0,19	9,91E-07	6840	0,0352



Gambar 10. Hubungan antara faktor ketidakseimbangan metode koefisien tidakseimbang (U_{FI}) dan Arus netral (I_N) hari pertama

Dari grafik diatas kita dapat melihat hubungan antara ketidakseimbangan beban dengan metode koifisien tidak seimbang (U_{FI}) dan Arus netral (I_N) hari pertama. Dimana ketidakseimbangan beban berbanding lurus dengan arus netral yang terjadi. Sehingga, semakin tinggi ketidakseimbangan beban maka arus yang timbul juga akan semakin besar.



Gambar 11. Hubungan antara faktor ketidakseimbangan metode koefisien tidakseimbang (U_{FI}) dan Rugi daya pada grounding (P_G) hari pertama

Dari grafik diatas kita dapat melihat Hubungan antara faktor ketidakseimbangan metode koefisien tidakseimbang (U_{FI}) dan Rugi daya pada grounding (P_G) hari pertama. Dimana ketidakseimbangan beban berbanding lurus dengan rugi daya pada grounding. Sehingga, semakin tinggi ketidakseimbangan beban maka rugi daya pada grounding juga akan semakin besar.

Untuk hasil perhitungan dan grafik lengkapnya akan terlampir pada lampiran 3.

Berdasarkan hasil analisis di atas, sebagai contoh pada data pertama jam 19.00 dengan kapasitas daya 20 MVA persentase ketidakseimbangannya dengan menggunakan metode komponen simetris untuk (U_{FI}) yaitu sebesar 4,59 % sedangkan dengan menggunakan metode koefisien tak seimbang persentase ketidakseimbangannya untuk (U_{FI}) yaitu sebesar 1,33 %, menyebabkan timbulnya arus sebesar 15,71 A dan rugi daya akibat adanya arus netral pada penghantar trafo sebesar 0,27 Watt sehingga rugi daya yang mengalir ke tanah sebesar 9872,16 Watt.

Untuk keseluruhan transformator dalam 7 hari penelitian kami, persentase ketidakseimbangan beban tertinggi terjadi pada jam 05.00 pada penelitian hari ke dua dan kelima di mana pada transformator dengan menggunakan metode komponen simetris untuk (U_{FI}) yaitu sebesar 7,18 % sedangkan dengan menggunakan metode koefisien tak seimbang persentase ketidakseimbangan untuk (U_{FI}) yaitu sebesar 9,52 %. Memiliki Arus sebesar 41,73 A atau $1,01 \times 10^{-5}$ % dengan total rugi daya yang terjadi sebesar 69.640 Watt atau 0,35 %. Dari hasil analisis tersebut dapat diketahui bahwa besar ketidakseimbangan beban berbanding lurus dengan arus netral dan rugi daya.

Dengan melihat perbandingan nilai antara metode koefisien tidak seimbang dan metode koefisien simetris maka kami menyimpulkan bahwa komponen koefisien tidak seimbang adalah metode yang terbaik untuk digunakan dalam perhitungan beban tidak seimbang. Hal ini dikarenakan nilai dari perhitungan dengan metode koefisien tidak seimbang lebih besar dari pada metode komponen simetris.

BAB V

PENUTUP

A. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan pada bab sebelumnya maka kami mengambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Persentase ketidakseimbangan beban berbanding lurus dengan arus yang timbul pada penghantar netral, semakin besar persentase ketidakseimbangan beban maka arus yang timbul juga akan semakin besar. Dengan menggunakan metode komponen simetris untuk (U_{FI}) yaitu sebesar 7,18 % sedangkan dengan menggunakan metode koefisien tak seimbang persentase ketidakseimbangan untuk (U_{FI}) yaitu sebesar 9,52 % menimbulkan Arus sebesar 41,73 A atau $1,01 \times 10^{-5}$ %.
2. Semakin besar ketidakseimbangan beban pada transformator maka arus yang mengalir ketanah (I_G) dan rugi daya semakin besar yaitu 0,358 %.

B. SARAN

Perlu adanya pengecekan pelanggan secara berkala untuk mencegah terjadinya ketidakseimbangan beban pada transformator.

DAFTAR PUSTAKA

- Kadir Abdul. 2010. *Transformator*. Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press). Jakarta.
- Rijono, Yon. 1997. *Dasar Teknik Tenaga Listrik (Edisi Revisi)*. Yogyakarta : Andi Yogyakarta
- Fitzgerald, A.E., D.E. Higginbotham, A. Grabel. 1981. *Dasar-dasar Elektroteknik*. Jilid 2. Edisi kelima. Alih bahasa oleh Pantur Silaban, Ph.D. Jakarta : Erlangga.
- Zuhal. 1993. *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*. Jakarta : PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Kurnem, Jemjem. Dkk.2014. *Buku Pedoman Pemeliharaan Transformator Tenaga*. Penerbit PT. PLN (Persero). Jakarta.
- Try, Twenty dan Khotimah, Khusnul. 2013 *Pengaturan Tegangan Generator Tiga Fasa Hubungan Bintang Akibat Pembebanan Tidakseimbang*. Politeknik Negeri Ujung Pandang. Makassar.
- Christanto, Toni dan Tegar, Ahmad. 2015. *Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Efisiensi Transformator tiga fasa*. Politeknik Negeri Ujung Padang. Makassar.
- Badaruddin, Ir. MT. 2012. *Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pda Trafo Distribusi Proyek Rusunawi Gading Icon*. Penerbit Proqram Studi Teknik Elektro Jurusan Teknik Universitas Mercu Buana. Jakarta. (Online, diakses 30 Desember 2015). (<http://portal.kopertis3.or.id/handle/123456789/1201>)
- Dahlan, Moh. *Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pda Transformator Distribusi*. Penerbit Fakultas Teknik Universitas Muria Kudus. (Online, diakses 30 Desember 2015). (<http://eprints.umk.ac.id/77/>)
- Gasing dan Indra. 2013. *Optimalisasi Pembebanan Transformator dengan Penyeimbangan Beban*. Penerbit Universitas Hasanuddin. Makassar.

LAMPIRAN 1 : Data Pengukuran Transformator Distribusi

Hari ke-1 : 24 Mei 2016

NO	JAM	IR (A)	IS (A)	IT (A)	Q (MVAR)	IN AKTUAL
1	01.00	210	207	216	4,8	0,87
2	02.00	198	196	204	4,8	0,79
3	03.00	197	195	203	4,8	0,79
4	04.00	189	187	196	4,8	0,90
5	05.00	206	203	213	4,9	0,98
6	06.00	227	220	230	5,0	0,98
7	07.00	211	208	217	4,9	0,85
8	08.00	230	230	223	5,0	0,70
9	09.00	282	280	284	5,0	0,35
10	10.00	293	291	296	5,0	0,44
11	11.00	291	287	285	5,2	0,53
12	12.00	294	295	297	5,2	0,26
13	13.00	261	278	276	5,0	1,61
14	14.00	294	303	293	5,0	0,95
15	15.00	291	295	295	5,0	0,40
16	16.00	289	290	295	5,0	0,56
17	17.00	265	266	273	5,0	0,75
18	18.00	297	295	307	5,0	1,56
19	19.00	341	334	352	6,5	2,20
20	20.00	321	314	330	5,5	1,94
21	21.00	304	298	310	5,5	1,45
22	22.00	279	275	287	5,0	1,48
23	23.00	258	261	273	4,9	1,19
24	00.00	244	250	259	4,8	0,87

Sidrap, 30 Mei 2016

Mengetahui,

Manejer Tragi Sidrap

KRIE ELISON

LAMPIRAN 1 : (Lanjutan)

Hari ke-2 : 25 Mei 2016

NO	JAM	IR (A)	IS (A)	IT (A)	Q (MVAR)	IN AKTUAL
1	01.00	209	205	217	5,0	0,50
2	02.00	199	196	208	4,9	0,49
3	03.00	196	193	201	4,8	0,48
4	04.00	194	190	200	4,7	0,47
5	05.00	205	166	210	4,8	0,48
6	06.00	228	222	234	4,9	0,49
7	07.00	224	216	228	4,9	0,64
8	08.00	236	235	239	4,8	0,62
9	09.00	270	268	271	5,0	0,65
10	10.00	283	292	295	5,1	0,66
11	11.00	299	292	300	5,1	0,66
12	12.00	273	273	281	5,1	0,66
13	13.00	267	270	279	5,1	0,51
14	14.00	300	297	304	5,0	0,50
15	15.00	287	284	294	5,0	0,50
16	16.00	283	285	292	5,0	0,50
17	17.00	272	272	280	5,0	0,55
18	18.00	320	313	330	6,0	0,66
19	19.00	346	335	357	7,2	0,79
20	20.00	338	327	349	7,2	0,79
21	21.00	317	313	314	6,0	0,66
22	22.00	295	290	305	5,4	0,59
23	23.00	283	269	283	5,2	0,57
24	00.00	265	251	265	5,0	0,55

Sidrap, 30 Mei 2016

Mengetahui,

Manejer Tragi Sidrap

KRIE ELISON

LAMPIRAN 1 : (Lanjutan)

Hari ke-3 : 26 Mei 2016

NO	JAM	IR (A)	IS (A)	IT (A)	Q (MVAR)	IN AKTUAL
1	01.00	204	199	209	4,9	0,74
2	02.00	195	191	202	4,8	0,72
3	03.00	186	187	193	4,8	0,72
4	04.00	185	181	193	4,8	0,72
5	05.00	204	201	212	4,9	0,74
6	06.00	226	218	229	4,9	0,69
7	07.00	217	212	232	4,9	0,69
8	08.00	223	219	228	4,9	0,69
9	09.00	252	251	259	5,0	0,70
10	10.00	271	269	274	5,1	0,71
11	11.00	282	310	286	5,1	0,71
12	12.00	291	286	288	5,2	0,62
13	13.00	270	268	276	5,0	0,60
14	14.00	294	294	303	5,2	0,62
15	15.00	297	293	301	5,1	0,61
16	16.00	291	289	299	5,1	0,61
17	17.00	281	277	286	5,0	0,60
18	18.00	322	312	330	6,0	0,72
19	19.00	351	353	364	6,5	0,85
20	20.00	324	314	334	6,2	0,81
21	21.00	300	291	308	6,0	0,78
22	22.00	284	276	290	5,9	0,77
23	23.00	284	276	290	5,9	0,77
24	00.00	284	276	290	5,9	0,77

Sidrap, 30 Mei 2016

Mengetahui,

Manejer Tragi Sidrap

KRIE ELISON

LAMPIRAN 1 : (Lanjutan)

Hari ke-4 : 27 Mei 2016

NO	JAM	IR (A)	IS (A)	IT (A)	Q (MVAR)	IN AKTUAL
1	01.00	186	184	182	4,8	0,69
2	02.00	180	175	172	4,8	1,40
3	03.00	178	174	175	4,8	0,72
4	04.00	177	174	182	4,8	1,40
5	05.00	192	188	198	4,8	1,74
6	06.00	210	204	215	4,8	1,91
7	07.00	211	206	214	4,8	1,12
8	08.00	217	212	219	4,8	1,00
9	09.00	287	252	257	5,0	5,25
10	10.00	276	275	280	5,1	0,73
11	11.00	281	280	286	5,1	0,13
12	12.00	258	257	269	5,0	0,27
13	13.00	249	249	259	4,9	0,23
14	14.00	302	303	317	5,3	0,33
15	15.00	295	296	302	5,2	0,15
16	16.00	294	290	298	5,1	0,76
17	17.00	273	271	279	5,0	0,79
18	18.00	295	294	303	5,3	0,94
19	19.00	328	318	339	5,8	2,00
20	20.00	206	213	210	4,5	0,67
21	21.00	289	282	298	5,3	1,53
22	22.00	301	287	301	5,9	1,54
23	23.00	283	269	283	5,2	1,54
24	00.00	265	251	265	5,0	1,68

Sidrap, 30 Mei 2016

Mengetahui,

Manejer Tragi Sidrap

KRIE ELISON

LAMPIRAN 1 : (Lanjutan)

Hari ke-5 : 28 Mei 2016

NO	JAM	IR (A)	IS (A)	IT (A)	Q (MVAR)	IN AKTUAL
1	01.00	208	205	210	4,9	0,52
2	02.00	196	199	200	4,9	0,43
3	03.00	180	179	184	4,9	0,55
4	04.00	194	190	200	4,7	1,05
5	05.00	205	166	210	4,8	7,51
6	06.00	228	222	234	4,9	2,08
7	07.00	224	216	228	4,9	2,12
8	08.00	236	235	239	4,8	0,50
9	09.00	283	281	289	4,9	1,01
10	10.00	290	291	297	5,0	0,92
11	11.00	276	277	284	5,0	1,06
12	12.00	276	277	284	5,0	0,91
13	13.00	264	264	272	5,0	0,96
14	14.00	283	285	292	5,0	0,98
15	15.00	283	284	291	5,0	0,91
16	16.00	275	276	283	5,0	1,28
17	17.00	266	268	273	5,1	1,06
18	18.00	289	286	296	5,4	1,51
19	19.00	306	296	317	6,0	3,09
20	20.00	290	278	300	5,6	3,24
21	21.00	277	269	286	5,4	1,62
22	22.00	264	256	273	5,3	1,62
23	23.00	256	250	262	5,3	1,14
24	00.00	233	228	238	5,0	0,95

Sidrap, 30 Mei 2016

Mengetahui,

Manejer Tragi Sidrap

KRIE ELISON

LAMPIRAN 1 : (Lanjutan)

Hari ke-6 : 29 Mei 2016

NO	JAM	IR (A)	IS (A)	IT (A)	Q (MVAR)	IN AKTUAL
1	01.00	190	187	198	4,9	0,48
2	02.00	177	176	188	4,9	0,48
3	03.00	165	164	177	4,9	0,48
4	04.00	176	174	182	4,5	0,48
5	05.00	186	184	186	4,5	0,49
6	06.00	206	199	211	4,6	0,50
7	07.00	205	201	211	4,6	0,49
8	08.00	224	219	231	4,9	0,50
9	09.00	254	252	260	5,0	0,55
10	10.00	247	243	254	5,0	0,55
11	11.00	255	257	259	5,0	0,57
12	12.00	244	241	253	5,0	0,57
13	13.00	238	240	264	5,0	0,55
14	14.00	262	261	272	5,0	0,55
15	15.00	268	265	273	5,0	0,55
16	16.00	251	251	260	5,0	0,55
17	17.00	246	244	245	4,9	0,55
18	18.00	324	330	323	5,0	0,65
19	19.00	343	332	356	7,0	0,85
20	20.00	333	324	339	6,8	0,72
21	21.00	310	301	321	6,0	0,72
22	22.00	296	288	300	5,3	0,65
23	23.00	254	246	257	5,1	0,64
24	00.00	216	211	221	4,8	0,62

Sidrap, 30 Mei 2016

Mengetahui,

Manejer Tragi Sidrap

KRIE ELISON

LAMPIRAN 1 : (Lanjutan)

Hari ke-7 : 30 Mei 2016

NO	JAM	IR (A)	IS (A)	IT (A)	Q (MVAR)	IN AKTUAL
1	01.00	202	200	209	4,8	0,819
2	02.00	193	191	201	4,7	0,917
3	03.00	186	184	193	4,6	1,310
4	04.00	185	180	192	4,5	1,670
5	05.00	197	194	205	4,5	1,576
6	06.00	222	213	227	4,7	1,720
7	07.00	222	214	227	4,8	1,590
8	08.00	221	214	225	4,8	1,350
9	09.00	281	277	283	4,9	1,058
10	10.00	285	282	288	4,9	1,039
11	11.00	274	278	287	5,2	2,307
12	12.00	281	278	286	5,2	0,840
13	13.00	271	266	277	5,0	1,431
14	14.00	295	292	300	5,0	1,050
15	15.00	286	281	291	5,0	1,299
16	16.00	291	283	293	5,0	1,650
17	17.00	278	273	280	5,0	1,124
18	18.00	306	298	313	5,0	2,340
19	19.00	328	317	338	6,0	3,275
20	20.00	309	297	319	5,5	3,434
21	21.00	295	286	303	5,5	2,946
22	22.00	264	257	270	5,0	2,254
23	23.00	246	239	252	5,0	2,254
24	00.00	228	221	234	4,9	2,254

Sidrap, 30 Mei 2016

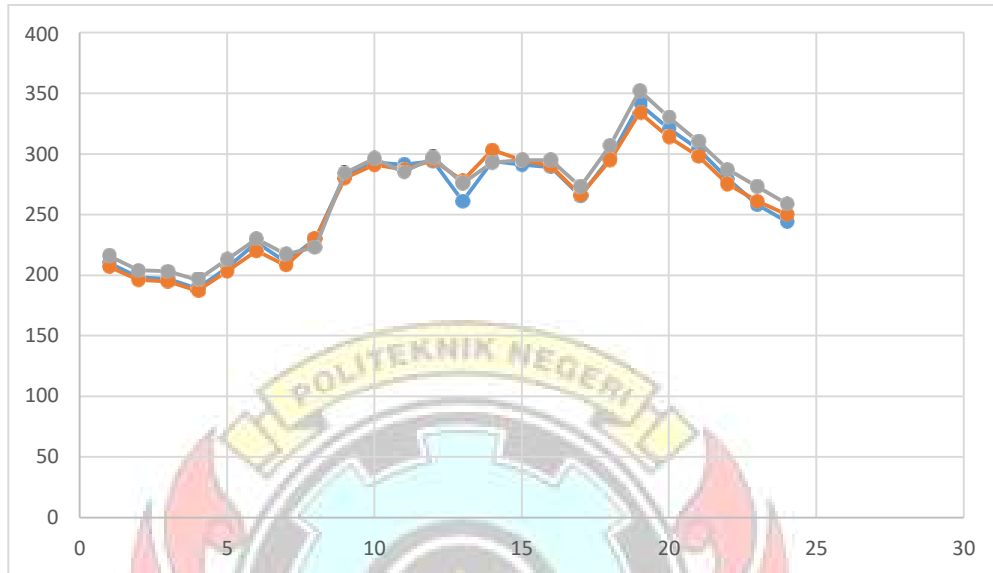
Mengetahui,

Manejer Tragi Sidrap

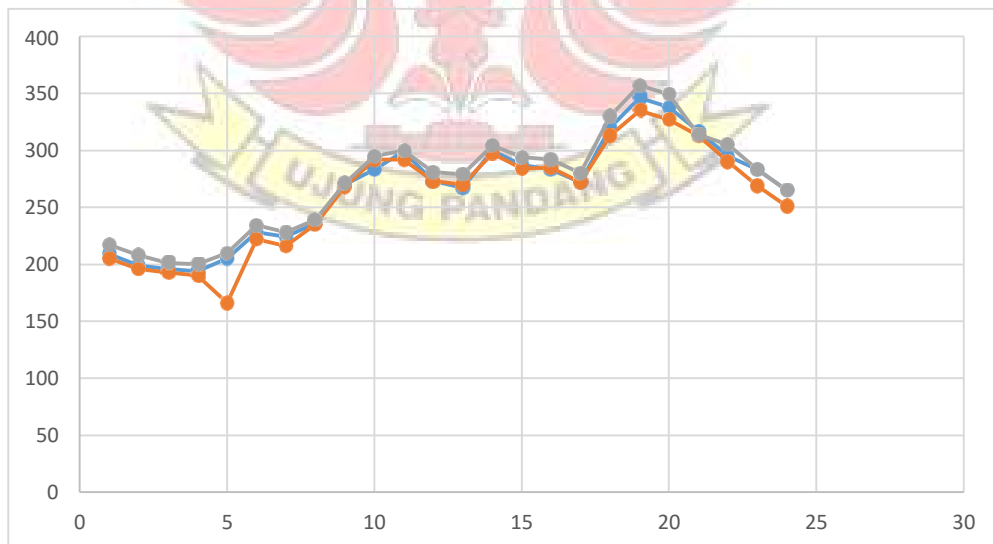
KRIE ELISON



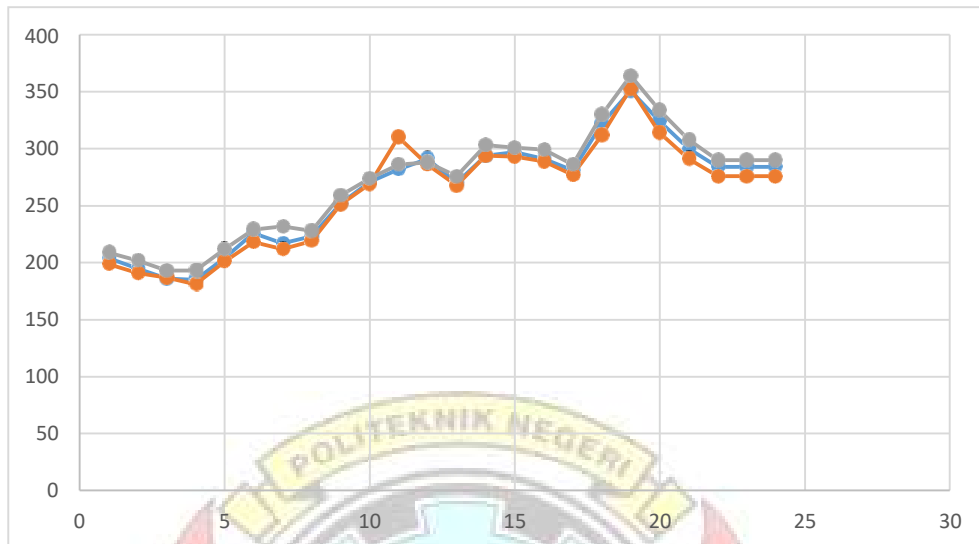
LAMPIRAN 2 : Grafik Beban Harian



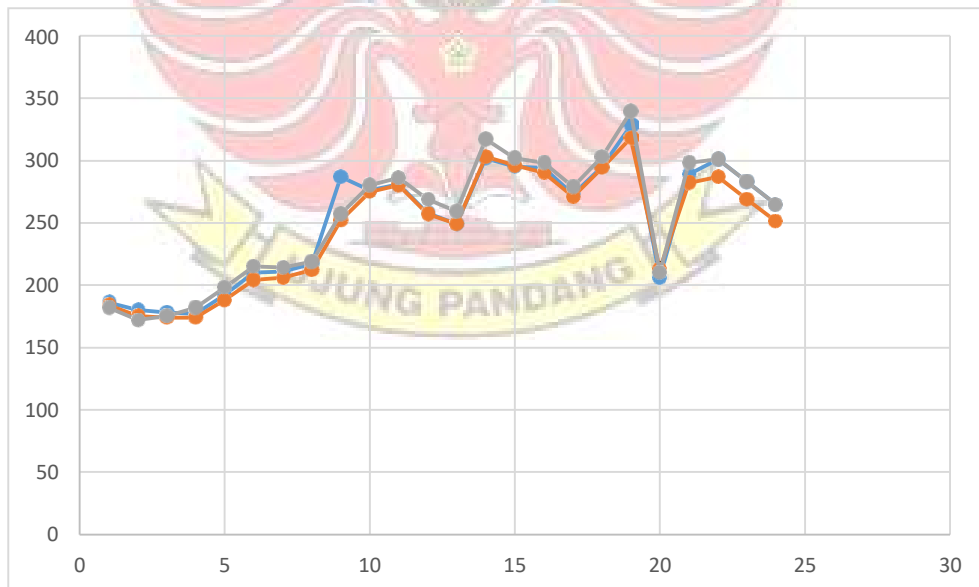
Gambar 12. grafik penggunaan beban pada hari pertama, 24 mei 2016



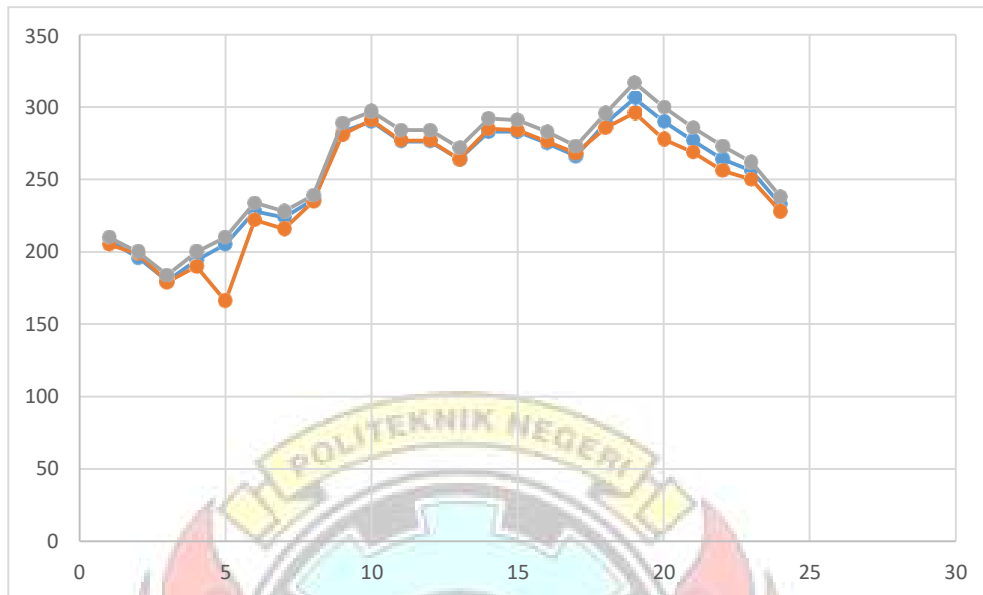
Gambar 13. grafik penggunaan beban pada hari kedua, 25 mei 2016



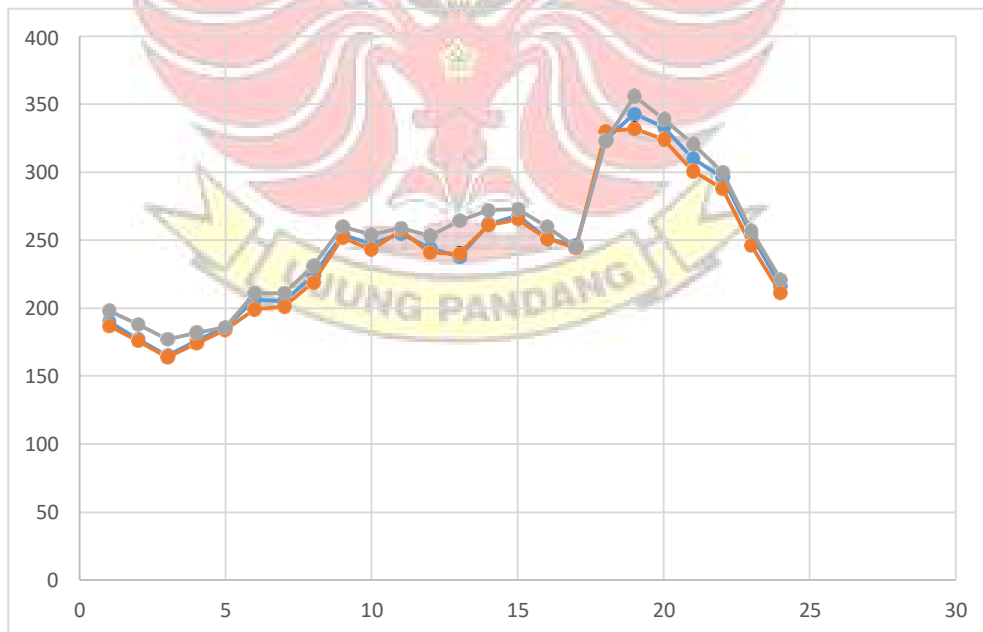
Gambar 14. grafik penggunaan beban pada hari ketiga, 26 mei 2016



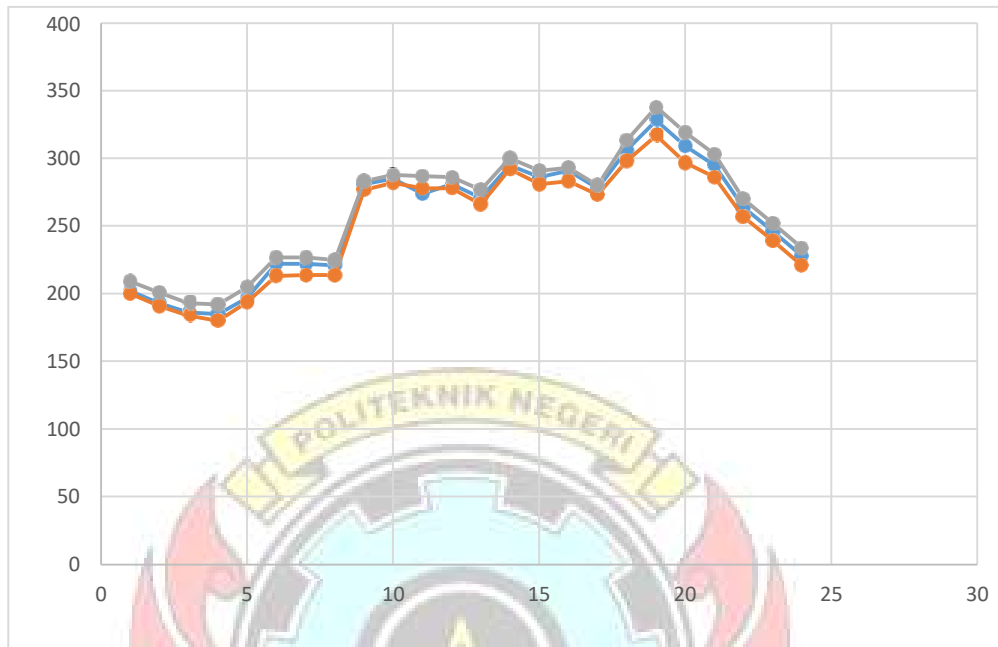
Gambar 15. grafik penggunaan beban pada hari keempat, 27 mei 2016



Gambar 16. grafik penggunaan beban pada hari kelima, 28 mei 2016



Gambar 17. grafik penggunaan beban pada hari keenam, 29 mei 2016

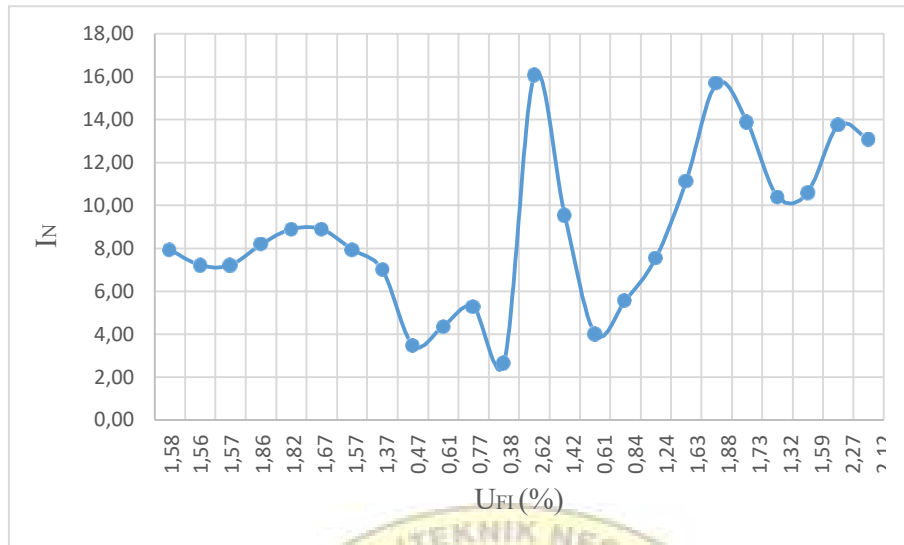


Gambar 18. grafik penggunaan beban pada hari ketujuh, 30 mei 2016

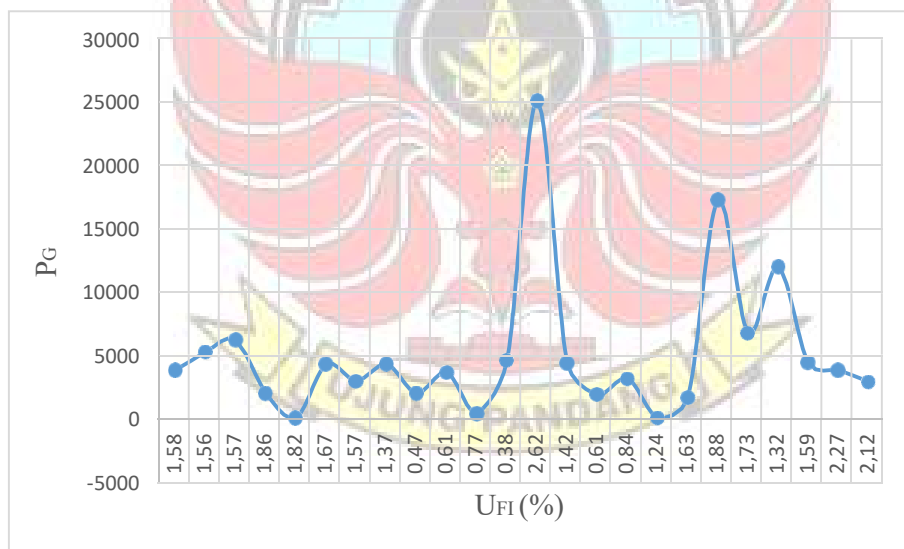


LAMPIRAN 3 : Hasil Perhitungan Ketidak Seimbangan Beban, Arus Netral dan Rugi Daya

NO	JAM	IR	IS	IT	Ketidak Seimbangan Beban		Q	P	IN (A)	PN		PG	
					Metode 1	Metode 2				MVAR	MW	Watt	%
1	01.00	210	207	216	1,25	1,58	4,8	19,42	7,94	0,07	3,65E-07	2520	0,0130
2	02.00	198	196	204	1,21	1,56	4,8	19,42	7,21	0,06	3,01E-07	2080	0,0107
3	03.00	197	195	203	1,21	1,57	4,8	19,42	7,21	0,06	3,01E-07	2080	0,0107
4	04.00	189	187	196	1,43	1,86	4,8	19,42	8,19	0,08	3,88E-07	2680	0,0138
5	05.00	206	203	213	1,43	1,82	4,9	19,39	8,89	0,09	4,58E-07	3160	0,0163
6	06.00	227	220	230	1,31	1,67	5	19,36	8,89	0,09	4,59E-07	3160	0,0163
7	07.00	211	208	217	1,25	1,57	4,9	19,39	7,94	0,07	3,66E-07	2520	0,0130
8	08.00	230	230	223	1,02	1,37	5	19,36	7,00	0,06	2,85E-07	1960	0,0101
9	09.00	282	280	284	0,41	0,47	5	19,36	3,46	0,01	6,97E-08	480	0,0025
10	10.00	293	291	296	0,50	0,61	5	19,36	4,36	0,02	1,10E-07	760	0,0039
11	11.00	291	287	285	0,61	0,77	5,2	19,31	5,29	0,03	1,63E-07	1120	0,0058
12	12.00	294	295	297	0,30	0,38	5,2	19,31	2,65	0,01	4,08E-08	280	0,0014
13	13.00	261	278	276	1,97	2,62	5	19,36	16,09	0,29	1,50E-06	10360	0,0535
14	14.00	294	303	293	1,07	1,42	5	19,36	9,54	0,10	5,29E-07	3640	0,0188
15	15.00	291	295	295	0,45	0,61	5	19,36	4,00	0,02	9,30E-08	640	0,0033
16	16.00	289	290	295	0,64	0,84	5	19,36	5,57	0,03	1,80E-07	1240	0,0064
17	17.00	265	266	273	0,94	1,24	5	19,36	7,55	0,06	3,31E-07	2280	0,0118
18	18.00	297	295	307	1,24	1,63	5	19,36	11,14	0,14	7,20E-07	4960	0,0256
19	19.00	341	334	352	1,53	1,88	6,5	18,91	15,72	0,28	1,47E-06	9880	0,0522
20	20.00	321	314	330	1,44	1,73	5,5	19,23	13,89	0,22	1,13E-06	7720	0,0401
21	21.00	304	298	310	1,14	1,32	5,5	19,23	10,39	0,12	6,32E-07	4320	0,0225
22	22.00	279	275	287	1,26	1,59	5	19,36	10,58	0,13	6,51E-07	4480	0,0231
23	23.00	258	261	273	1,74	2,27	4,9	19,39	13,75	0,21	1,10E-06	7560	0,0390
24	00.00	244	250	259	1,74	2,12	4,8	19,42	13,08	0,19	9,91E-07	6840	0,0352



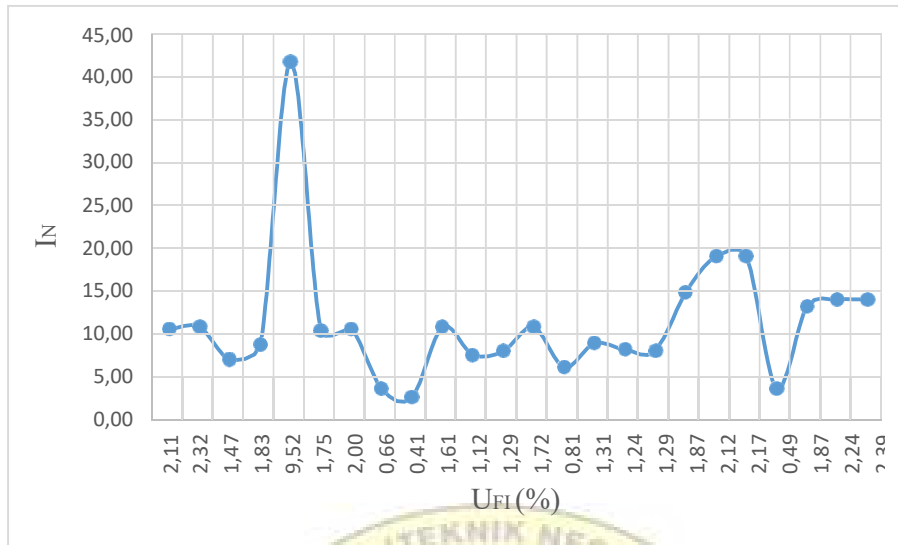
Gambar 19. Hubungan antara faktor ketidakseimbangan metode koefisien tidakseimbang (U_{FI}) dan Arus netral (I_N) hari pertama



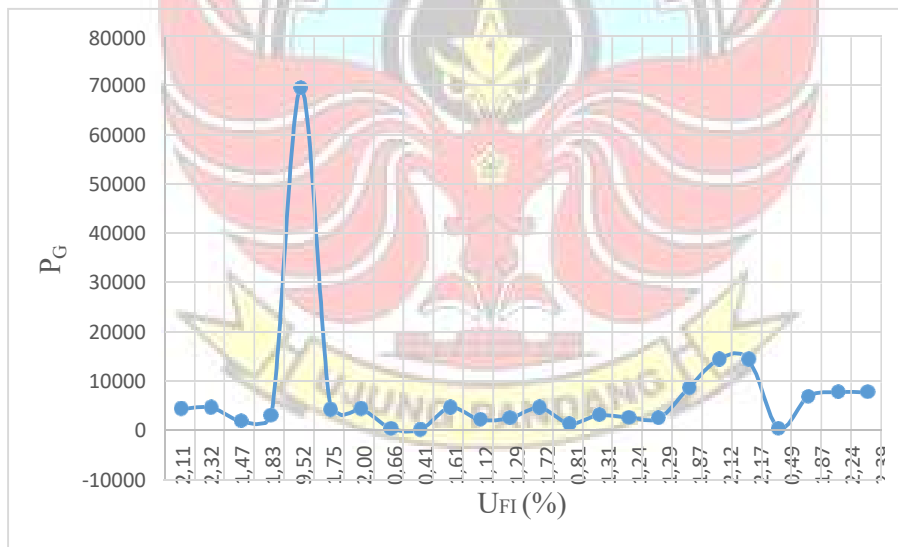
Gambar 20. Hubungan antara faktor ketidakseimbangan metode koefisien tidakseimbang (U_{FI}) dan Rugi daya pada grounding (P_G) hari pertama

Hari ke- 2 : 25 mei 2016

NO	JAM	R	S	T	Ketidak Seimbangan Beban		Q	P	IN (A)	PN		PG	
					Metode 1	Metode 2				MVAR	MW	Watt	%
1	01.00	209	205	217	1,68	2,11	5	19,36	10,58	0,13	6,51E-07	4480	0,0231
2	02.00	199	196	208	1,79	2,32	4,9	19,39	10,82	0,13	6,79E-07	4680	0,0241
3	03.00	196	193	201	1,19	1,47	4,8	19,42	7,00	0,06	2,84E-07	1960	0,0101
4	04.00	194	190	200	1,49	1,83	4,7	19,44	8,72	0,09	4,40E-07	3040	0,0156
5	05.00	205	166	210	7,18	9,52	4,8	19,42	41,73	1,96	1,01E-05	69640	0,3587
6	06.00	228	222	234	1,52	1,75	4,9	19,39	10,39	0,12	6,27E-07	4320	0,0223
7	07.00	224	216	228	1,58	2,00	4,9	19,39	10,58	0,13	6,50E-07	4480	0,0231
8	08.00	236	235	239	0,51	0,66	4,8	19,42	3,61	0,01	7,53E-08	520	0,0027
9	09.00	270	268	271	0,33	0,41	5	19,36	2,65	0,01	4,07E-08	280	0,0014
10	10.00	283	292	295	1,24	1,61	5,1	19,34	10,82	0,13	6,81E-07	4680	0,0242
11	11.00	299	292	300	0,85	1,12	5,1	19,34	7,55	0,06	3,32E-07	2280	0,0118
12	12.00	273	273	281	0,97	1,29	5,1	19,34	8,00	0,07	3,72E-07	2560	0,0132
13	13.00	267	270	279	1,33	1,72	5,1	19,34	10,82	0,13	6,81E-07	4680	0,0242
14	14.00	300	297	304	0,68	0,81	5	19,36	6,08	0,04	2,15E-07	1480	0,0076
15	15.00	287	284	294	1,03	1,31	5	19,36	8,89	0,09	4,59E-07	3160	0,0163
16	16.00	283	285	292	0,95	1,24	5	19,36	8,19	0,08	3,89E-07	2680	0,0138
17	17.00	272	272	280	0,97	1,29	5	19,36	8,00	0,07	3,72E-07	2560	0,0132
18	18.00	320	313	330	1,54	1,87	6	19,08	14,80	0,25	1,29E-06	8760	0,0459
19	19.00	346	335	357	1,84	2,12	7,2	18,66	19,05	0,41	2,19E-06	14520	0,0778
20	20.00	338	327	349	1,88	2,17	7,2	18,66	19,05	0,41	2,19E-06	14520	0,0778
21	21.00	317	313	314	0,38	0,49	6	19,08	3,61	0,01	7,67E-08	520	0,0027
22	22.00	295	290	305	1,49	1,87	5,4	19,26	13,23	0,20	1,02E-06	7000	0,0364
23	23.00	283	269	283	1,68	2,24	5,2	19,31	14,00	0,22	1,14E-06	7840	0,0406
24	00.00	265	251	265	1,79	2,39	5	19,36	14,00	0,22	1,14E-06	7840	0,0405



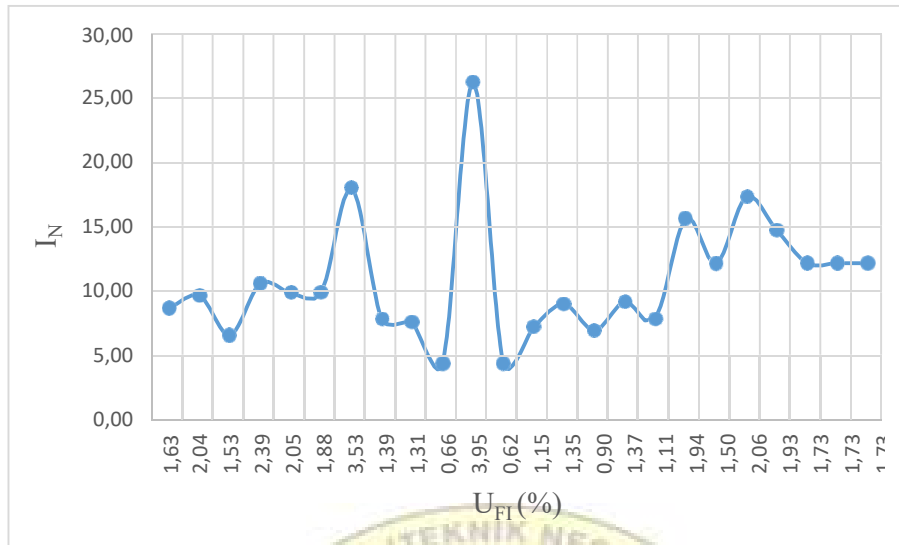
Gambar 21. Hubungan antara faktor ketidakseimbangan metode koefisien tidakseimbang (U_{FI}) dan Arus netral (I_N) hari kedua



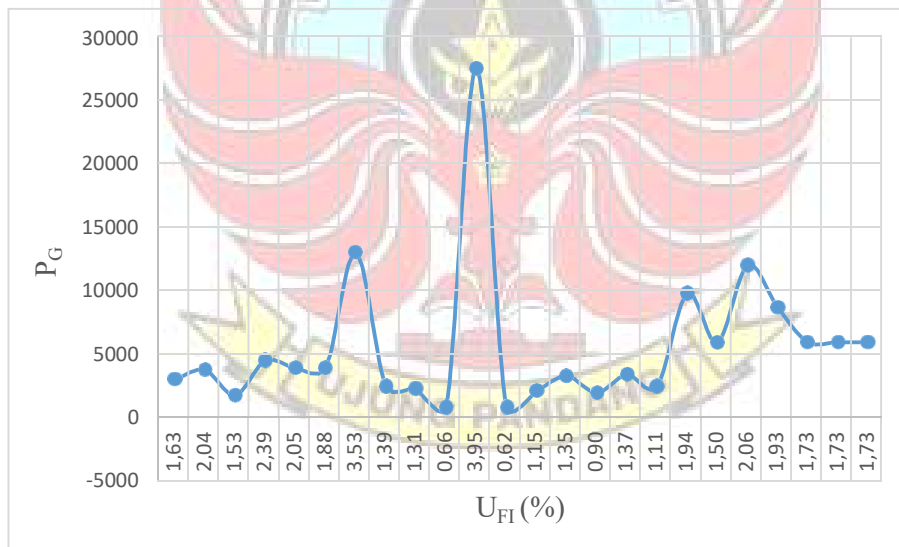
Gambar 22. Hubungan antara faktor ketidakseimbangan metode koefisien tidakseimbang (U_{FI}) dan Rugi daya pada grounding (P_G) hari kedua

Hari ke – 3 : 26 mei 2016

NO	JAM	R	S	T	Ketidak Seimbangan Beban		Q	P	IN (A)	PN		PG	
					Metode 1	Metode 2	MVAR	MW		Watt	%	Watt	%
1	01.00	204	199	209	1,42	1,63	4,9	19,39	8,66	0,08	4,35E-07	3000	0,0155
2	02.00	195	191	202	1,64	2,04	4,8	19,42	9,64	0,10	5,39E-07	3720	0,0192
3	03.00	186	187	193	1,16	1,53	4,8	19,42	6,56	0,05	2,49E-07	1720	0,0089
4	04.00	185	181	193	1,89	2,39	4,8	19,42	10,58	0,13	6,49E-07	4480	0,0231
5	05.00	204	201	212	1,60	2,05	4,9	19,39	9,85	0,11	5,63E-07	3880	0,0200
6	06.00	226	218	229	1,46	1,88	4,9	19,39	9,85	0,11	5,63E-07	3880	0,0200
7	07.00	217	212	232	2,73	3,53	4,9	19,39	18,03	0,37	1,89E-06	13000	0,0670
8	08.00	223	219	228	1,17	1,39	4,9	19,39	7,81	0,07	3,54E-07	2440	0,0126
9	09.00	252	251	259	0,99	1,31	5	19,36	7,55	0,06	3,31E-07	2280	0,0118
10	10.00	271	269	274	0,54	0,66	5,1	19,34	4,36	0,02	1,11E-07	760	0,0039
11	11.00	282	310	286	2,99	3,95	5,1	19,34	26,23	0,77	4,00E-06	27520	0,1423
12	12.00	291	286	288	0,50	0,62	5,2	19,31	4,36	0,02	1,11E-07	760	0,0039
13	13.00	270	268	276	0,89	1,15	5	19,36	7,21	0,06	3,02E-07	2080	0,0107
14	14.00	294	294	303	1,01	1,35	5,2	19,31	9,00	0,09	4,72E-07	3240	0,0168
15	15.00	297	293	301	0,78	0,90	5,1	19,34	6,93	0,05	2,79E-07	1920	0,0099
16	16.00	291	289	299	1,04	1,37	5,1	19,34	9,17	0,09	4,89E-07	3360	0,0174
17	17.00	281	277	286	0,93	1,11	5	19,36	7,81	0,07	3,54E-07	2440	0,0126
18	18.00	322	312	330	1,62	1,94	6	19,08	15,62	0,27	1,44E-06	9760	0,0512
19	19.00	351	353	364	1,14	1,50	6,5	18,91	12,12	0,17	8,74E-07	5880	0,0311
20	20.00	324	314	334	1,78	2,06	6,2	19,01	17,32	0,34	1,77E-06	12000	0,0631
21	21.00	300	291	308	1,64	1,93	6	19,08	14,73	0,24	1,28E-06	8680	0,0455
22	22.00	284	276	290	1,43	1,73	5,9	19,11	12,17	0,17	8,71E-07	5920	0,0310
23	23.00	284	276	290	1,43	1,73	5,9	19,11	12,17	0,17	8,71E-07	5920	0,0310
24	00.00	284	276	290	1,43	1,73	5,9	19,11	12,17	0,17	8,71E-07	5920	0,0310



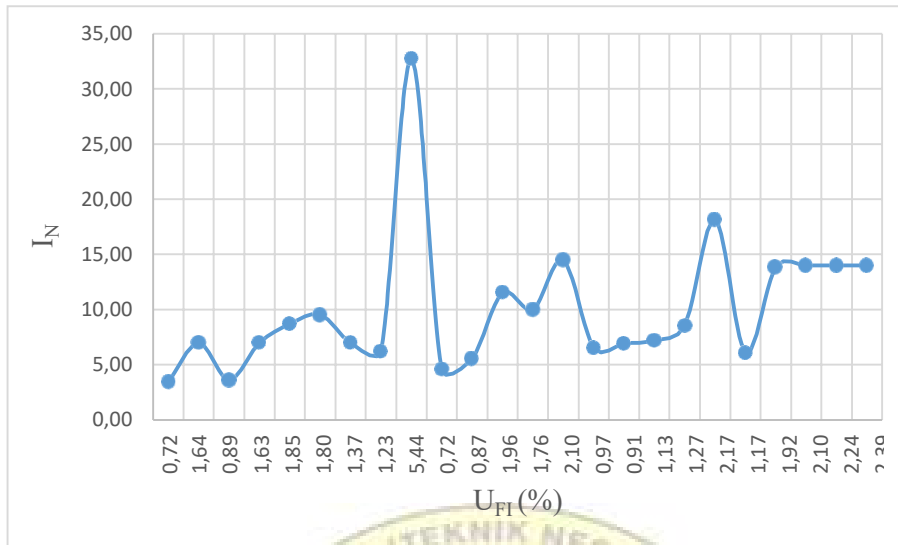
Gambar 23. Hubungan antara faktor ketidakseimbangan metode koefisien tidakseimbang (U_{FI}) dan Arus netral (I_N) hari ketiga



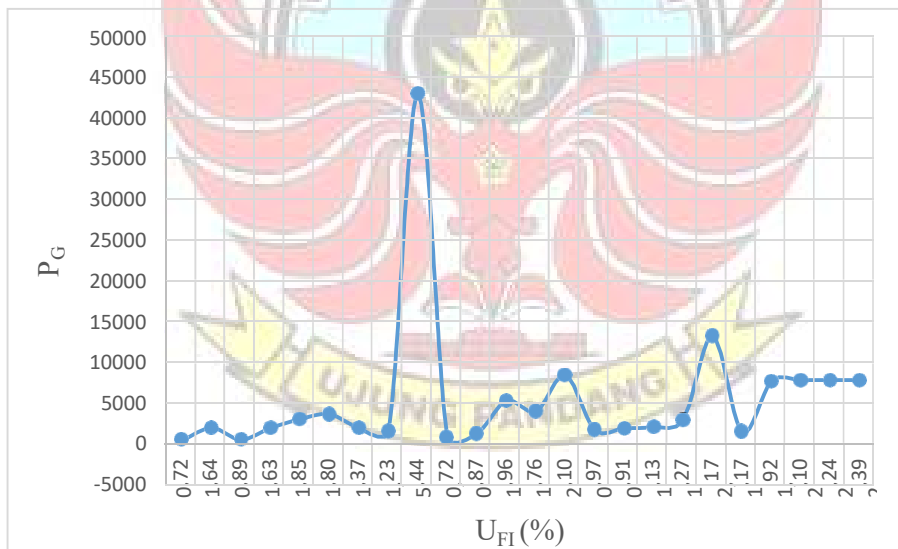
Gambar 24. Hubungan antara faktor ketidakseimbangan metode koefisien tidakseimbang (U_{FI}) dan Rugi daya pada grounding (P_G) hari ketiga

Hari ke – 4 : 27 mei 2016

NO	JAM	R	S	T	Ketidak Seimbangan Beban		Q	P	IN (A)	PN		PG	
					Metode 1	Metode 2				MVAR	MW	Watt	%
1	01.00	186	184	182	0,63	0,72	4,8	19,42	3,46	0,01	6,95E-08	480	0,0025
2	02.00	180	175	172	1,33	1,64	4,8	19,42	7,00	0,06	2,84E-07	1960	0,0101
3	03.00	178	174	175	0,68	0,89	4,8	19,42	3,61	0,01	7,53E-08	520	0,0027
4	04.00	177	174	182	1,31	1,63	4,8	19,42	7,00	0,06	2,84E-07	1960	0,0101
5	05.00	192	188	198	1,51	1,85	4,8	19,42	8,72	0,09	4,40E-07	3040	0,0157
6	06.00	210	204	215	1,52	1,80	4,8	19,42	9,54	0,10	5,27E-07	3640	0,0187
7	07.00	211	206	214	1,11	1,37	4,8	19,42	7,00	0,06	2,84E-07	1960	0,0101
8	08.00	217	212	219	0,96	1,23	4,8	19,42	6,24	0,04	2,26E-07	1560	0,0080
9	09.00	287	252	257	4,12	5,44	5	19,36	32,79	1,21	6,25E-06	43000	0,2221
10	10.00	276	275	280	0,55	0,72	5,1	19,34	4,58	0,02	1,22E-07	840	0,0043
11	11.00	281	280	286	0,66	0,87	5,1	19,34	5,57	0,03	1,80E-07	1240	0,0064
12	12.00	258	257	269	1,47	1,96	5	19,36	11,53	0,15	7,73E-07	5320	0,0275
13	13.00	249	249	259	1,32	1,76	4,9	19,39	10,00	0,11	5,80E-07	4000	0,0206
14	14.00	302	303	317	1,58	2,10	5,3	19,28	14,53	0,24	1,23E-06	8440	0,0438
15	15.00	295	296	302	0,73	0,97	5,2	19,31	6,56	0,05	2,50E-07	1720	0,0089
16	16.00	294	290	298	0,79	0,91	5,1	19,34	6,93	0,05	2,79E-07	1920	0,0099
17	17.00	273	271	279	0,88	1,13	5	19,36	7,21	0,06	3,02E-07	2080	0,0107
18	18.00	295	294	303	0,96	1,27	5,3	19,28	8,54	0,08	4,26E-07	2920	0,0151
19	19.00	328	318	339	1,85	2,17	5,8	19,14	18,19	0,37	1,95E-06	13240	0,0692
20	20.00	206	213	210	0,97	1,17	4,5	19,49	6,08	0,04	2,14E-07	1480	0,0076
21	21.00	289	282	298	1,60	1,92	5,3	19,28	13,89	0,22	1,13E-06	7720	0,0400
22	22.00	301	287	301	1,57	2,10	5,9	19,11	14,00	0,22	1,15E-06	7840	0,0410
23	23.00	283	269	283	1,68	2,24	5,2	19,31	14,00	0,22	1,14E-06	7840	0,0406
24	00.00	265	251	265	1,79	2,39	5	19,36	14,00	0,22	1,14E-06	7840	0,0405



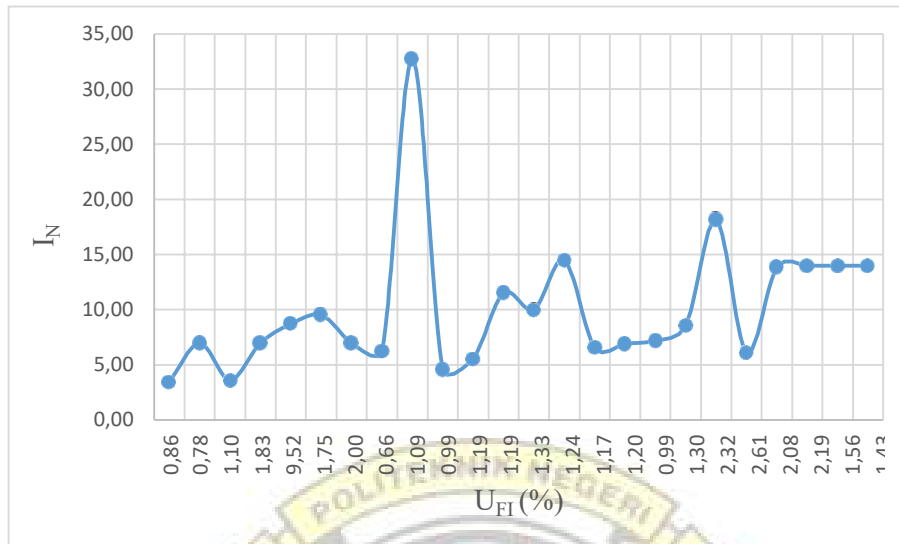
Gambar 25. Hubungan antara faktor ketidakseimbangan metode koefisien tidakseimbang (U_{FI}) dan Arus netral (I_N) hari keempat



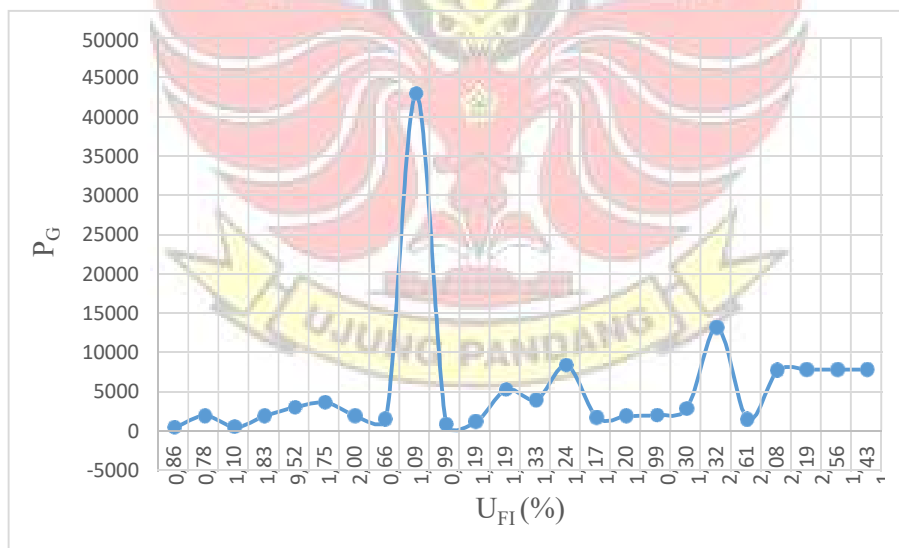
Gambar 26. Hubungan antara faktor ketidakseimbangan metode koefisien tidakseimbang (U_{FI}) dan Rugi daya pada grounding (P_G) hari keempat

Hari ke – 5 : 28 mei 2016

NO	JAM	R	S	T	Ketidak Seimbangan Beban		Q	P	IN (A)	PN		PG	
					Metode 1	Metode 2				MVAR	MW	Watt	%
1	01.00	208	205	210	0,70	0,86	4,9	19,39	4,36	0,02	1,10E-07	760	0,0039
2	02.00	196	199	200	0,61	0,78	4,9	19,39	3,61	0,01	7,54E-08	520	0,0027
3	03.00	180	179	184	0,84	1,10	4,9	19,39	4,58	0,02	1,22E-07	840	0,0043
4	04.00	194	190	200	1,49	1,83	4,7	19,44	8,72	0,09	4,40E-07	3040	0,0156
5	05.00	205	166	210	7,18	9,52	4,8	19,42	41,73	1,96	1,01E-05	69640	0,3587
6	06.00	228	222	234	1,52	1,75	4,9	19,39	10,39	0,12	6,27E-07	4320	0,0223
7	07.00	224	216	228	1,58	2,00	4,9	19,39	10,58	0,13	6,50E-07	4480	0,0231
8	08.00	236	235	239	0,51	0,66	4,8	19,42	3,61	0,01	7,53E-08	520	0,0027
9	09.00	283	281	289	0,85	1,09	4,9	19,39	7,21	0,06	3,02E-07	2080	0,0107
10	10.00	290	291	297	0,75	0,99	5	19,36	6,56	0,05	2,50E-07	1720	0,0089
11	11.00	276	277	284	0,90	1,19	5	19,36	7,55	0,06	3,31E-07	2280	0,0118
12	12.00	276	277	284	0,90	1,19	5	19,36	7,55	0,06	3,31E-07	2280	0,0118
13	13.00	264	264	272	1,00	1,33	5	19,36	8,00	0,07	3,72E-07	2560	0,0132
14	14.00	283	285	292	0,95	1,24	5	19,36	8,19	0,08	3,89E-07	2680	0,0138
15	15.00	283	284	291	0,88	1,17	5	19,36	7,55	0,06	3,31E-07	2280	0,0118
16	16.00	275	276	283	0,91	1,20	5	19,36	7,55	0,06	3,31E-07	2280	0,0118
17	17.00	266	268	273	0,77	0,99	5,1	19,34	6,24	0,04	2,27E-07	1560	0,0081
18	18.00	289	286	296	1,02	1,30	5,4	19,26	8,89	0,09	4,62E-07	3160	0,0164
19	19.00	306	296	317	1,98	2,32	6	19,08	18,19	0,37	1,95E-06	13240	0,0694
20	20.00	290	278	300	2,20	2,61	5,6	19,20	19,08	0,41	2,13E-06	14560	0,0758
21	21.00	277	269	286	1,77	2,08	5,4	19,26	14,73	0,24	1,27E-06	8680	0,0451
22	22.00	264	256	273	1,86	2,19	5,3	19,28	14,73	0,24	1,27E-06	8680	0,0450
23	23.00	256	250	262	1,35	1,56	5,3	19,28	10,39	0,12	6,30E-07	4320	0,0224
24	00.00	233	228	238	1,24	1,43	5	19,36	8,66	0,08	4,36E-07	3000	0,0155



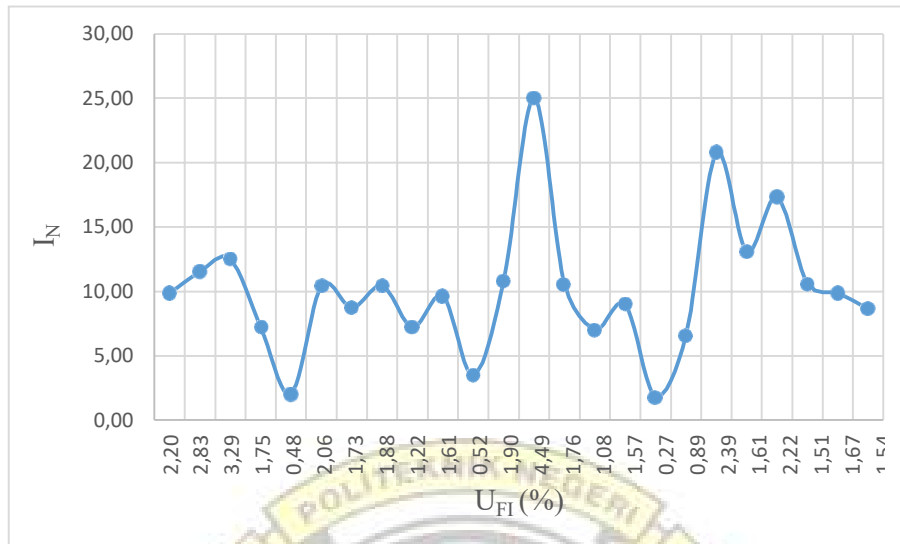
Gambar 27. Hubungan antara faktor ketidakseimbangan metode koefisien tidakseimbang (U_{FI}) dan Arus netral (I_N) hari kelima



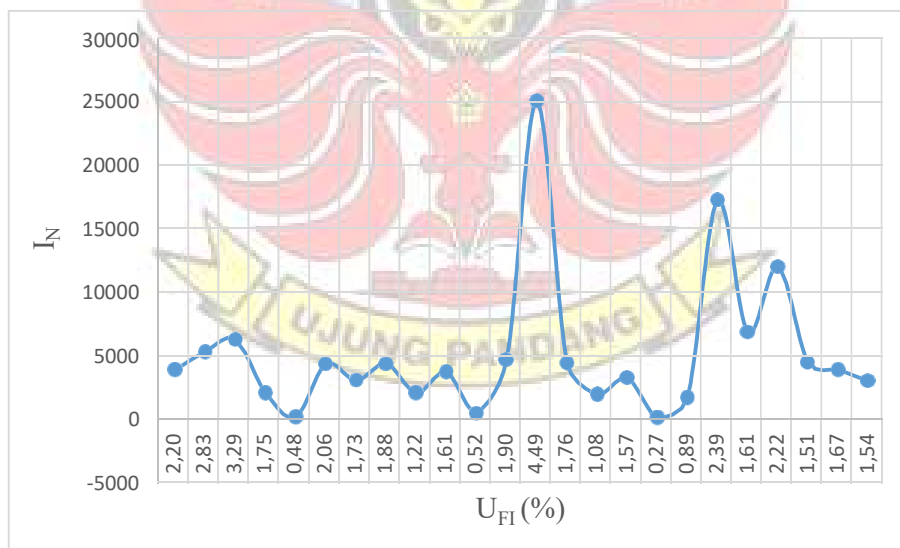
Gambar 28. Hubungan antara faktor ketidakseimbangan metode koefisien tidakseimbang (U_{FI}) dan Rugi daya pada grounding (P_G) hari kelima

Hari ke – 6 : 29 mei 2016

NO	JAM	R	S	T	Ketidak Seimbangan Beban		Q	P	IN (A)	PN		PG	
					Metode 1	Metode 2	MVAR	MW		Watt	%	Watt	%
1	01.00	190	187	198	1,71	2,20	4,9	19,39	9,85	0,11	5,63E-07	3880	0,0200
2	02.00	177	176	188	2,13	2,83	4,9	19,39	11,53	0,15	7,72E-07	5320	0,0274
3	03.00	165	164	177	2,48	3,29	4,9	19,39	12,53	0,18	9,11E-07	6280	0,0324
4	04.00	176	174	182	1,36	1,75	4,5	19,49	7,21	0,06	3,00E-07	2080	0,0107
5	05.00	186	184	186	0,36	0,48	4,5	19,49	2,00	0,00	2,31E-08	160	0,0008
6	06.00	206	199	211	1,69	2,06	4,6	19,46	10,44	0,12	6,30E-07	4360	0,0224
7	07.00	205	201	211	1,41	1,73	4,6	19,46	8,72	0,09	4,39E-07	3040	0,0156
8	08.00	224	219	231	1,55	1,88	4,9	19,39	10,44	0,12	6,32E-07	4360	0,0225
9	09.00	254	252	260	0,94	1,22	5	19,36	7,21	0,06	3,02E-07	2080	0,0107
10	10.00	247	243	254	1,30	1,61	5	19,36	9,64	0,10	5,40E-07	3720	0,0192
11	11.00	255	257	259	0,45	0,52	5	19,36	3,46	0,01	6,97E-08	480	0,0025
12	12.00	244	241	253	1,47	1,90	5	19,36	10,82	0,13	6,80E-07	4680	0,0242
13	13.00	238	240	264	3,38	4,49	5	19,36	25,06	0,71	3,65E-06	25120	0,1297
14	14.00	262	261	272	1,33	1,76	5	19,36	10,54	0,12	6,45E-07	4440	0,0229
15	15.00	268	265	273	0,87	1,08	5	19,36	7,00	0,06	2,85E-07	1960	0,0101
16	16.00	251	251	260	1,18	1,57	5	19,36	9,00	0,09	4,71E-07	3240	0,0167
17	17.00	246	244	245	0,24	0,27	4,9	19,39	1,73	0,00	1,74E-08	120	0,0006
18	18.00	324	330	323	0,67	0,89	5	19,36	6,56	0,05	2,50E-07	1720	0,0089
19	19.00	343	332	356	2,02	2,39	7	18,73	20,81	0,49	2,60E-06	17320	0,0924
20	20.00	333	324	339	1,31	1,61	6,8	18,81	13,08	0,19	1,02E-06	6840	0,0364
21	21.00	310	301	321	1,86	2,22	6	19,08	17,35	0,34	1,77E-06	12040	0,0631
22	22.00	296	288	300	1,20	1,51	5,3	19,28	10,58	0,13	6,53E-07	4480	0,0232
23	23.00	254	246	257	1,30	1,67	5,1	19,34	9,85	0,11	5,64E-07	3880	0,0201
24	00.00	216	211	221	1,34	1,54	4,8	19,42	8,66	0,08	4,35E-07	3000	0,0155



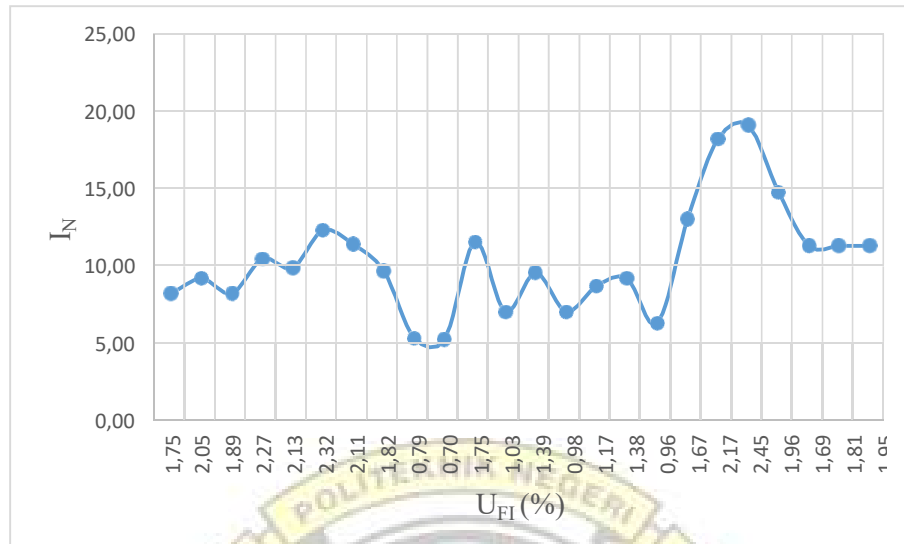
Gambar 29. Hubungan antara faktor ketidakseimbangan metode koefisien tidakseimbang (U_{FI}) dan Arus netral (I_N) hari keenam



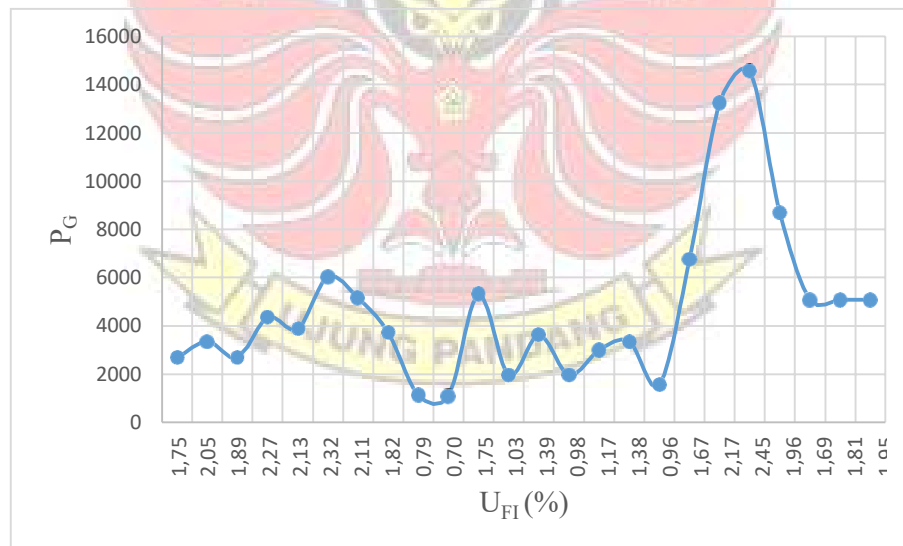
Gambar 30. Hubungan antara faktor ketidakseimbangan metode koefisien tidakseimbang (U_{FI}) dan Rugi daya pada grounding (P_G) hari keenam

Hari ke – 7 : 30 mei 2016

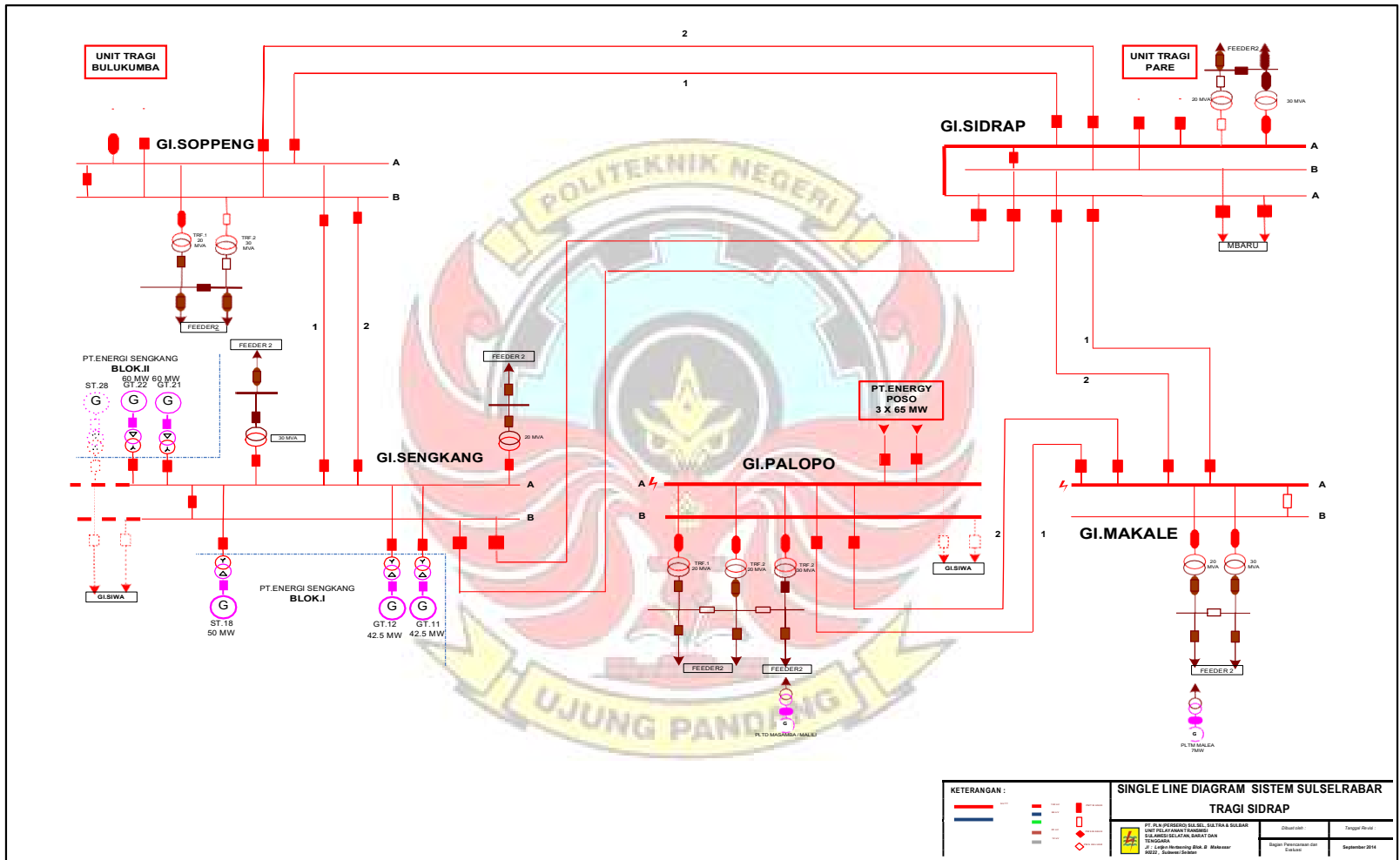
NO	JAM	R	S	T	Ketidak Seimbangan Beban		Q	P	IN (A)	PN		PG	
					Metode 1	Metode 2				MVAR	MW	Watt	%
1	01.00	202	200	209	1,34	1,75	4,8	19,42	8,19	0,08	3,88E-07	2680	0,0138
2	02.00	193	191	201	1,57	2,05	4,7	19,44	9,17	0,09	4,86E-07	3360	0,0173
3	03.00	186	184	193	1,45	1,89	4,6	19,46	8,19	0,08	3,87E-07	2680	0,0138
4	04.00	185	180	192	1,87	2,27	4,5	19,49	10,44	0,12	6,29E-07	4360	0,0224
5	05.00	197	194	205	1,65	2,13	4,5	19,49	9,85	0,11	5,60E-07	3880	0,0199
6	06.00	222	213	227	1,86	2,32	4,7	19,44	12,29	0,17	8,74E-07	6040	0,0311
7	07.00	222	214	227	1,71	2,11	4,8	19,42	11,36	0,15	7,47E-07	5160	0,0266
8	08.00	221	214	225	1,46	1,82	4,8	19,42	9,64	0,10	5,39E-07	3720	0,0192
9	09.00	281	277	283	0,63	0,79	4,9	19,39	5,29	0,03	1,62E-07	1120	0,0058
10	10.00	285	282	288	0,61	0,70	4,9	19,39	5,20	0,03	1,57E-07	1080	0,0056
11	11.00	274	278	287	1,37	1,75	5,2	19,31	11,53	0,15	7,75E-07	5320	0,0275
12	12.00	281	278	286	0,83	1,03	5,2	19,31	7,00	0,06	2,85E-07	1960	0,0101
13	13.00	271	266	277	1,17	1,39	5	19,36	9,54	0,10	5,29E-07	3640	0,0188
14	14.00	295	292	300	0,79	0,98	5	19,36	7,00	0,06	2,85E-07	1960	0,0101
15	15.00	286	281	291	1,01	1,17	5	19,36	8,66	0,08	4,36E-07	3000	0,0155
16	16.00	291	283	293	1,06	1,38	5	19,36	9,17	0,09	4,88E-07	3360	0,0174
17	17.00	278	273	280	0,75	0,96	5	19,36	6,24	0,04	2,27E-07	1560	0,0081
18	18.00	306	298	313	1,42	1,67	5	19,36	13,00	0,19	9,82E-07	6760	0,0349
19	19.00	328	317	338	1,85	2,17	6	19,08	18,19	0,37	1,95E-06	13240	0,0694
20	20.00	309	297	319	2,06	2,45	5,5	19,23	19,08	0,41	2,13E-06	14560	0,0757
21	21.00	295	286	303	1,67	1,96	5,5	19,23	14,73	0,24	1,27E-06	8680	0,0451
22	22.00	264	257	270	1,42	1,69	5	19,36	11,27	0,14	7,38E-07	5080	0,0262
23	23.00	246	239	252	1,53	1,81	5	19,36	11,27	0,14	7,38E-07	5080	0,0262
24	00.00	228	221	234	1,65	1,95	4,9	19,39	11,27	0,14	7,37E-07	5080	0,0262



Gambar 31. Hubungan antara faktor ketidakseimbangan metode koefisien tidakseimbang (U_{FI}) dan Arus netral (I_N) hari ketujuh



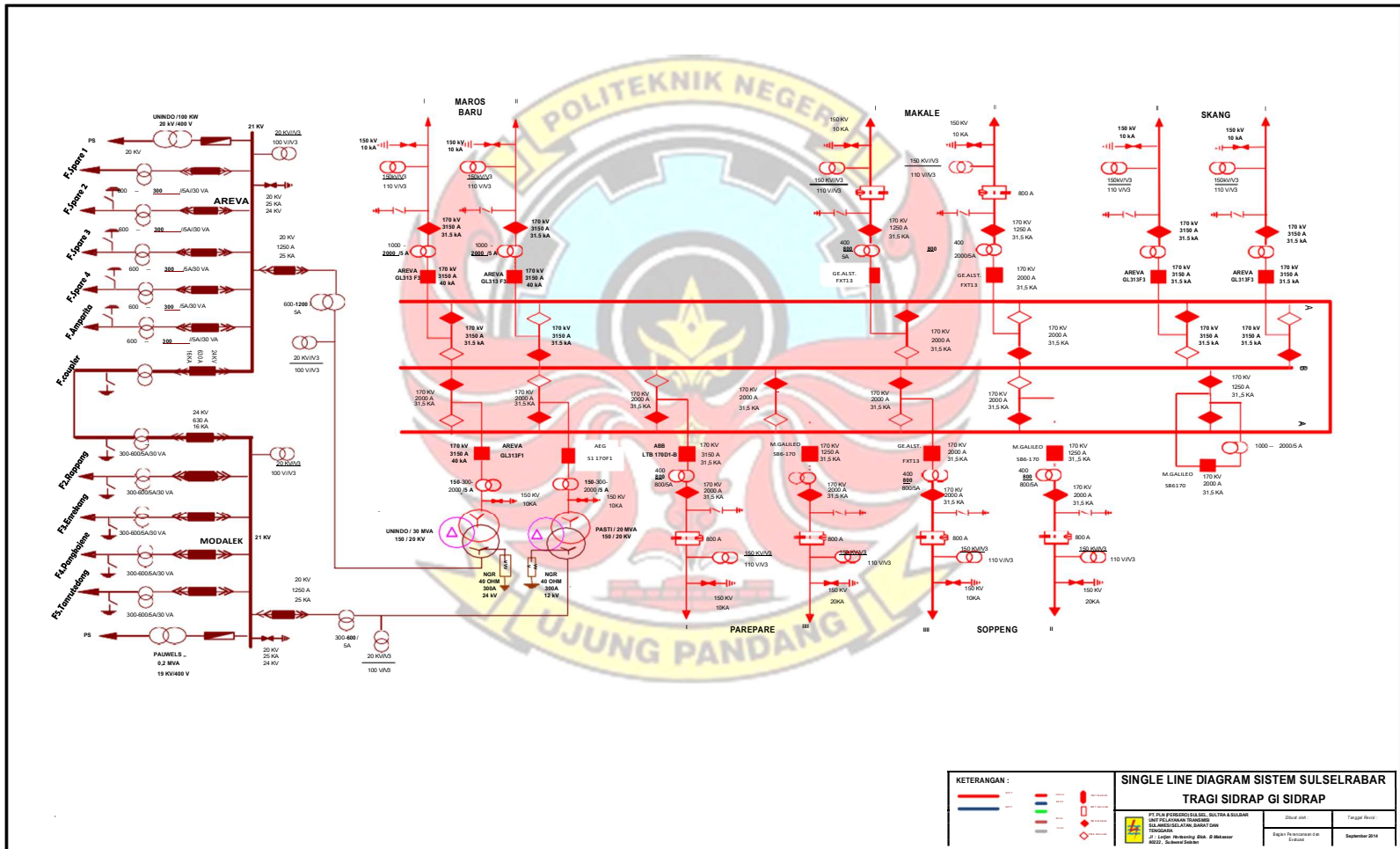
Gambar 32. Hubungan antara faktor ketidakseimbangan metode koefisien tidakseimbang (U_{FI}) dan Rugi daya pada grounding (P_G) hari ketujuh



KETERANGAN :

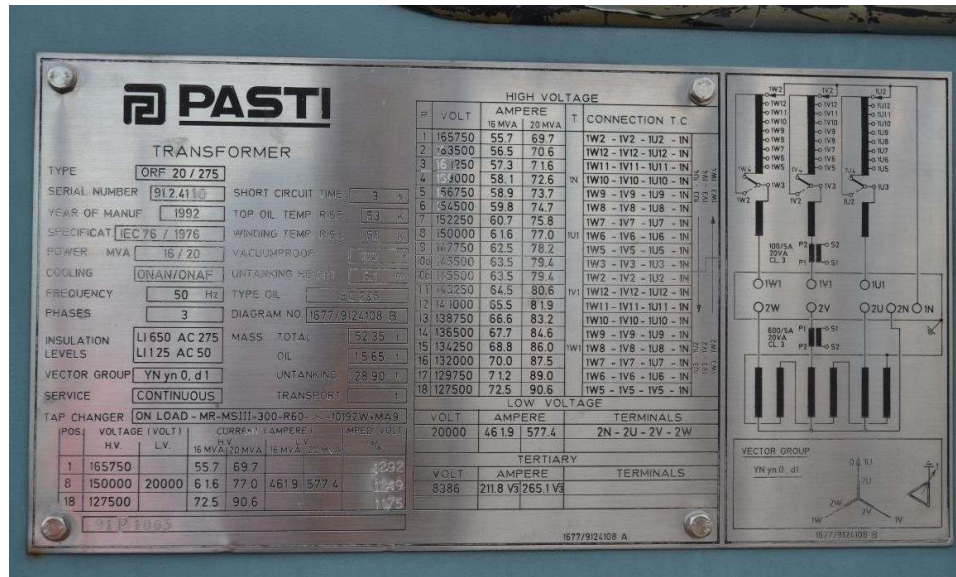
SINGLE LINE DIAGRAM SISTEM SULSELBAR TRAGI SIDRAP

PT. PLN (PERSERO) SULSELBAR, PT. TIGA SIKAR UNIT PELAYANAN KUNYAS SULSELBAR (ULK) KUNYAS KUNYAS Jl. Jendral Sudirman Blok B, Makassar 90022, Sulawesi Selatan	Disusun oleh : Tanggal Revisi :
Revisi Perencanaan oleh : Tanggal :	September 2014

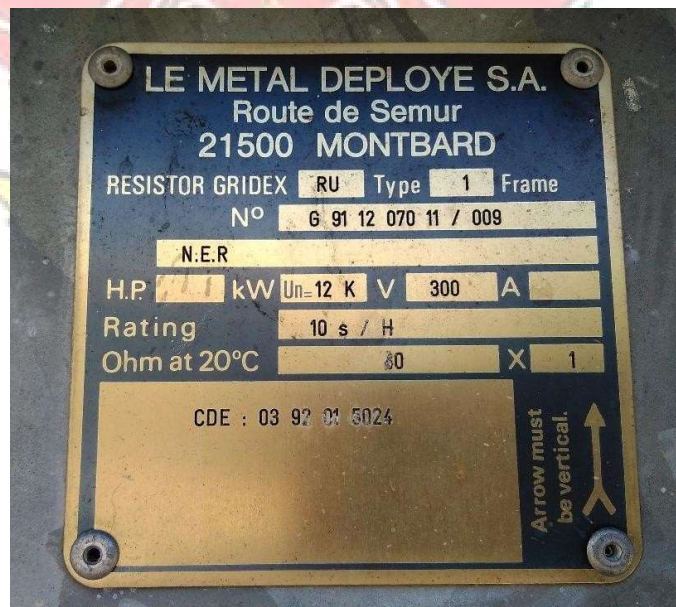


LAMPIRAN 5

FOTO-FOTO DOKUMENTASI KEGIATAN



Gambar 25. Name Plate Transformator 20 MVA



Gambar 26. Name plate NGR transformator 20 MVA



Gambar 27. Pengukuran arus netral transformator



Gambar 28. Transformator 20 MVA gardu induk Kabupaten Sidrap



Gambar 29. Nilai pengukuran arus netral





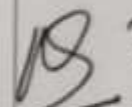
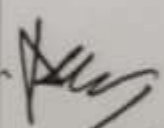
Gambar 30. Aliran arus transformator

LEMBAR REVISI JUDUL SKRIPSI / TUGAS AKHIR

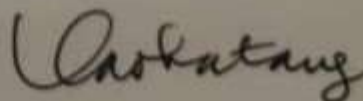
Nama Mahasiswa : Sapamuddin

Stambuk : 49212025

Catatan Penguji :

No	Nama	Uraian	Tanda Tangan
1		tesah kesimpulan (EMS)	 11/1/2017
2		Analisis Daerah yg banyak belan (ES)	 11/1/2017
3		Validasi Data (Emp)	→ 7/2/17
4		Compare beban harian perphasa } Validasi per (AS), } hal 26, hal 27, hal 28 }	 30/5/17
5		Kurva beban harian } Analisis kedua metode } yg digunakan, mana } yg lebih bagus. }	dr. Faridul Laitung EMS  20/5/2017

Ketum / Sekretaris
Penguji Ujian Sidang,



NIP. 99911720212102