ANALISIS PEMBEBANAN 3 FASA SEIMBANG DAN TIDAK SEIMBANG TERHADAP TEGANGAN KELUARAN TRANSFORMATOR HUBUNGAN TEASER (T-T)

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

PANJI BINTANG PAMUNGKAS
NIM. 125060300111012

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG

2018

ANALISIS PEMBEBANAN 3 FASA SEIMBANG DAN TIDAK SEIMBANG TERHADAP TEGANGAN KELUARAN TRANSFORMATOR HUBUNGAN TEASER (T-T)

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

PANJI BINTANG P.
NIM. 125060300111012

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PEMBEBANAN 3 FASA SEIMBANG DAN TIDAK SEIMBANG TERHADAP TEGANGAN KELUARAN TRANSFORMATOR HUBUNGAN TEASER (T-T)

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ENERGI ELEKTRIK

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

PANJI BINTANG P.
NIM. 125060300111012

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 9 Januari 2019

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Ir. Hery Purnomo, M. T.	**Ir. Teguh Utomo, M. T.**
NIP. 19550708 198212 1 001	**NIP. 19650913 199103 1 003**

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Elektro

Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19730520 200801 1 013

JUDUL SKRIPSI:

ANALISIS PEMBEBANAN 3 FASA SEIMBANG DAN TIDAK SEIMBANG TERHADAP TEGANGAN KELUARAN TRANSFORMATOR HUBUNGAN TEASER (T-T)

Nama Mahasiswa : Panji Bintang P.

NIM : 125060300111012

Program Studi : Teknik Elektro

Konsentrasi : Teknik Energi Elektrik

KOMISI PEMBIMBING:

Pembimbing I : Ir. Hery Purnomo, M.T. .....

Pembimbing II : Ir. Teguh Utomo, M.T. .....

TIM DOSEN PENGUJI:

Dosen Penguji I : Ir. Moch Dhofir, Drs., M.T. .....

Dosen Penguji II : Ir. Soeprapto, M.T. .....

Dosen Penguji III : Ir. Machfudz Shidiq, M.T. .....

Tanggal Ujian : 27 Desember 2018

SK Penguji : No. 2933 Tahun 2018

Teriring Ucapan Terima Kasih kepada:
Ayahanda dan Ibunda tercinta

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penulusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas didalam Naskah Skripsi adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik disuatu perguruan tinggi dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata didalam naskah Skripsi ini dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No.20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 9 Januari 2019

Mahasiswa,

PANJI BINTANG P.

NIM. 125060300111012

RINGKASAN

Panji Bintang P., Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Desember 2015, ***Analisis Pembebanan 3 Fasa Seimbang dan Tidak Seimbang Terhadap Tegangan Keluaran Transformator Hubungan Teaser (T-T)***, Dosen Pembimbing: Ir. Hery Purnomo, M.T. dan Ir. Teguh Utomo, M.T..

Pada transformator tiga fasa terdapat hubungan khusus untuk pengoperasian transformator tiga fasa hanya menggunakan dua buah transformator, sebagai contohnya transformator teaser (T-T). Transformator ini memakai 2 buah transformator satu fasa yang sama serta dihubung khusus dengan tap pusatnya. Kumparan primer maupun sekunder transformator T2 di tap sebesar 86,6% dan tap ini terhubung ke tap pusat pada kumparan yang sesuai di transformator T1. Dalam hubungan ini T1 disebut transformator utama dan T2 disebut transformator teaser. Tegangan masukan sistem tiga fasa nantinya akan menghasilkan dua buah tegangan tertinggal 90° pada kumparan primer transformator. Tegangan fasa kumparan primer ini menghasilkan tegangan keluaran kedua yang juga berbeda 90°. Tegangan keluaran kedua ini akan digabung ulang menjadi tegangan keluaran tiga fasa. Pada umumnya beban yang dilayani suatu transformator diusahakan seimbang. Dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik terjadi pembagian beban yang pada awalnya merata, tetapi karena ketidak serempakan waktu penyalaan beban maka menimbulkan ketidakseimbangan beban yang berdampak pada penyediaan tenaga listrik, dimana ketidakseimbangan beban ini akan mempengaruhi tegangan keluaran pada transformator. Dalam pengujian didapatkan hasil bila transformator teaser dibebani seimbang 3 fasa maka tegangan keluaran per fasanya turun. Bila dibebani beban tidak seimbang 3 fasa, dengan menghitung rata-rata ketidakseimbangan bebannya maka tegangan keluaran per fasanya cenderung konstan.

Kata kunci: teaser, Tegangan keluaran, Beban seimbang, Beban tidak seimbang

SUMMARY

Panji Bintang P., *Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, December 2015,* ***Analysis of 3 Balanced and Unbalanced Phase Loads on Output Voltage of the Scott-T Transformer (T-T)****, Academic Supervisor: Ir. Hery Purnomo, M.T. and Ir. Teguh Utomo, M.T..*

In a three-phase transformer there is a particular connection for the operation of a three-phase transformer using only two transformers, in example Scott-T connected transformers. This transformer uses 2 identical single-phase transformers and is connected specifically to the center tap. The primary and secondary T2 transformer coils are taped at 86.6% and this tap is connected to the center tap (50%) on the appropriate coil in the T1 transformer. In this connection T1 is called the main transformer and T2 is called the teaser transformer. The input voltage of the three-phase system will produce two voltages left behind 90 ° on the transformer primary coil. The phase voltage of this primary coil produces a second output voltage which also differs 90°. This second output voltage will be recombined into a three-phase output voltage. Mostly the load that is served by a transformer is balanced. In supplying the demand for electricity there is an equal distribution of the load at first, but because of the unequal load ignition time, it causes an imbalance of the load which affects the supply of electricity, which is this imbalance load will affect the output voltage of the transformer. In *the test results obtained when the Scott-T transformer is balanced with 3 phase, the output voltage per phase decreases. When loaded with a 3 phase unbalanced load, by calculating the average load imbalance the output voltage per phase tends to be constant.*

Keyword: Scott-T connected, Output voltage, Balance load, Unbalanced load

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT dengan rahmat dan hidayah-Nya skripsi berjudul "Analisis Pembebanan Tiga Fasa Seimbang dan Tidak Seimbang Terhadap Tegangan Keluaran Transformator Hubungan Teraser (T-T)" dapat terselesaikan. Dalam kesempatan ini diucapkan terima kasih kepada yang telah berkenan memberikan bantuan secara langsung maupun tidak langsung kepada:

1. Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D. dan Ir. Nurussa'adah, M.T. selaku Ketua dan Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
2. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, S.T., M.Sc. dan Bapak Ali Mustofa S.T., M.T. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Teknik Energi Elektrik dan Ketua Program Studi Sarjana Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Ir. Hery Purnomo, M.T. dan Bapak Ir. Teguh Utomo, M.T. selaku dosen pembimbing atas segala bimbingan, kritik, saran, dan motivasi yang telah diberikan.
4. Bapak Akhmad Zainuri, S.T, M.T. selaku dosen pembimbing akademik beserta seluruh jajaran dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro yang selalu membantu penulis selama perkuliahan.
5. Keluarga tercinta Ayah Ir. Hariyanto, Ibu Alfiyati dan Saudara Mas Albert, Mas Dimas, Stefana atas segala macam dukungan yang telah diberikan kepada penulis hingga terselesaikannya skripsi ini.
6. Asisten Laboratorium Elektronika Daya 2011-2013 yang telah turut andil memberikan memberikan waktu, tenaga, pikiran, kebersamaan, semangat, dan saling mendukung dalam pengerjaan skripsi.
7. Seluruh teman-teman Voltage 2012, terutama teman-teman kelas A, HME, FORSITEK, dan konsentrasi Teknik Energi Elektrik (POWER 2012) yang telah berbagi suka dan duka dari awal probinmaba hingga empat tahun menjalani perkuliahan.
8. Semua pihak yang telah membantu dan tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, terimakasih banyak atas semua bantuannya.

Pada akhirnya, disadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, sangat diharapkan kritik dan saran yang membangun. Dan diharapkan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi bagi masyarakat.

Malang, Desember 2018

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR ..... **i**

DAFTAR ISI ..... **ii**

DAFTAR TABEL ..... **vi**

DAFTAR GAMBAR ..... **vii**

DAFTAR LAMPIRAN ..... **ix**

BAB I PENDAHULUAN **1**

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 2

1.3 Batasan Masalah 2

1.4 Tujuan 3

1.5 Manfaat 3

1.6 Sistematika Pembahasan 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA **5**

2.1 Transformator 5

2.2 Transformator Tiga Fasa 6

2.3 Hubungan Tiga Fasa dalam Transformator 7

2.3.1 Hubungan Bintang (Y) 7

2.3.2 Hubungan Delta (Δ) 8

2.4 Jenis-jenis Hubungan Belitan Transformator Tiga Fasa 8

2.4.1 Hubungan Bintang-Bintang (Y-Y) 9

2.4.2 Hubungan Bintang-Delta (Y-Δ) 9

2.4.3 Hubungan Delta-Bintang (Δ-Y) 10

2.4.4 Hubungan Delta-Delta (Δ-Δ) 11

2.5 Hubungan Transformator Tiga Fasa Menggunakan Dua Transformator 12

2.5.1 Hubungan Scott 13

2.5.2 Hubungan Scott T (transformator teaser) 14
2.6 Rangkaian beban tiga fasa seimbang 16
2.7 Rangkaian beban tiga fasa tidak seimbang 17
2.8 Pengujian transformator tiga fasa 18
2.8.1 Pengujian tegangan keluaran 18
2.8.2 Pengujian berbeban 18
BAB III METODE PENELITIAN 21
3.1 Studi Literatur 22
3.2 Pengujian transformator 22
3.2.1 Pengujian tegangan keluaran 22
3.2.2 Pengujian berbeban 22
3.3 Peralatan yang digunakan 22
3.4 Rangkaian Pengujian 24
3.5 Prosedur Pengujian 25
3.4.1 Prosedur Pengujian Tegangan keluaran 25
3.4.2 Prosedur Pengujian berbeban 25
3.6 Pengambilan Data dan Analisis 25
3.7 Kesimpulan dan Saran 26
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN 27
4.1 Pengujian tegangan keluaran 27
4.2 Pengujian berbeban 3 fasa seimbang 28
4.3 Pengujian berbeban 3 fasa tidak seimbang 31
4.3.1 Pengujian pembebanan 2 fasa seimbang fasa lain dibebani berbeda 32
4.3.2 Pengujian masing-masing fasa dibebani berbeda 36
4.4 Analisis rata-rata ketidakseimbangan beban terhadap tegangan keluaran 40
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 44
5.1 Kesimpulan 44

5.2 Saran 44

DAFTAR PUSTAKA 45

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 3.1 Peralatan yang digunakan untuk pengujian 22

Tabel 4.1 Data rating tegangan keluaran 27

Tabel 4.2 Data hasil pengujian tegangan keluaran 27

Tabel 4.3 Data hasil pengujian beban seimbang 28

Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Dengan 2 Fasa Dibebani Sama Sedangkan 1 Fasa Dibebani Berbeda 31

Tabel 4.5 Data Hasil Pengujian masing-masing fasa dibebani berbeda 36

Tabel 4.5 Data Arus beban, Rata-rata Ketidakseimbangan Beban dan tegangan keluaran . 40

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1 Hubungan bintang 7
Gambar 2.2 Hubungan delta 8
Gambar 2.3 Hubungan bintang-bintang (Y-Y) 9
Gambar 2.4 Hubungan bintang-delta (Y-Δ) 10
Gambar 2.5 Hubungan delta-bintang (Δ-Y) 11
Gambar 2.6 Hubungan delta-delta (Δ-Δ) 12
Gambar 2.7 Diagram garis transformator terhubung scott T. 13
Gambar 2.8 Tegangan masukan tiga fasa 13
Gambar 2.9 Tegangan masukan transformator 13
Gambar 2.10 Tegangan keluaran sistem (satu fasa) 14
Gambar 2.11 Diagram garis transformator tiga fasa hubungan Scott T. 14
Gambar 2.12 Tegangan masukan tiga fasa 14
Gambar 2.13 Tegangan masukan transformator 15
Gambar 2.14 Tegangan masukan transformator 15
Gambar 2.15 Tegangan keluaran sistem (tiga fasa) 15
Gambar 2.16 Sistem beban tiga phasa seimbang hub Y beserta diagram fasornya 16
Gambar 2.17 Sistem beban tiga fasa seimbang hub Δ beserta diagram fasornya 16
Gambar 2.18 Transformator teaser tanpa beban 18
Gambar 2.19 Transformator teaser berhubung beban Y 19
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian 21
Gambar 3.2 Rangkaian pengujian tegangan keluaran (titik R-S dengan R'-S') 24
Gambar 3.3 Rangkain pengujian berbeban 24
Gambar 4.1 Grafik perbandingan tegangan keluaran transformator berdasarkan pengujian dan berdasarkan rating 28

Gambar 4.2 Grafik hubungan antara tegangan keluaran fasa R terhadap arus beban 29
Gambar 4.3 Grafik hubungan antara tegangan keluaran fasa S terhadap arus beban 29
Gambar 4.4 Grafik hubungan antara tegangan keluaran fasa T terhadap arus beban 30
Gambar 4.5 Grafik hubungan antara tegangan keluaran terhadap arus beban beban tiga fasa seimbang pada hubungan transformator teaser 31
Gambar 4.6 Perbedaan tegangan keluaran fasa R, S, T pada rata-rata ketidakseimbangan 2.6% 33
Gambar 4.7 Perbedaan tegangan keluaran fasa R', S', T' pada rata-rata ketidakseimbangan 2.4% 34
Gambar 4.8 Perbedaan tegangan keluaran fasa R', S', T' pada rata-rata ketidakseimbangan 2.293% 36
Gambar 4.9 Perbedaan tegangan keluaran fasa R', S', T' pada rata-rata ketidakseimbangan 3.7% 38
Gambar 4.10 Perbedaan tegangan keluaran fasa R', S', T' pada rata-rata ketidakseimbangan 3.5% 39
Gambar 4.11 Grafik hubungan tegangan keluaran fasa R' terhadap rata-rata ketidakseimbangan beban 40
Gambar 4.12 Grafik hubungan tegangan keluaran fasa S' terhadap rata-rata ketidakseimbangan beban 41
Gambar 4.13 Grafik hubungan tegangan keluaran fasa T' terhadap rata-rata ketidakseimbangan beban 41
Gambar 4.14 Grafik hubungan antara rata-rata ketidakseimbangan dengan tegangan keluaran 42
Gambar 4.14 Grafik hubungan tegangan keluaran V0-0' terhadap rata-rata ketidakseimbangan beban 43

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

Lampiran 1 Gambar Percobaan 46

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini Indonesia sedang melaksanakan pembangunan di segala bidang. Seiring dengan laju pertumbuhan pembangunan maka dituntut adanya sarana dan prasarana yang mendukungnya seperti tersedianya tenaga listrik. Saat ini tenaga listrik merupakan kebutuhan yang utama, baik untuk kehidupan sehari-hari maupun untuk kebutuhan industri. Hal ini disebabkan karena tenaga listrik mudah untuk ditransportasikan dan dikonversikan ke dalam bentuk tenaga yang lain. Penyediaan tenaga listrik yang stabil dan kontinyu merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik.

Dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik tersebut, terjadi pembagian beban yang awalnya merata, tetapi karena ketidakserempakan waktu penyalaan beban-beban tersebut maka menimbulkan ketidakseimbangan beban yang berdampak pada penyediaan tenaga listrik. Ketidakseimbangan beban antar tiap fasa (fasa R, fasa S, fasa T) inilah yang menyebabkan mengalirnya arus pada netral trafo. (Setiadji et al, 2006:68-73)

Transformator hubungan teaser adalah hubungan khusus dari dua buah transformator satu fasa di mana transformator satu ditap 50% tegangan sisi primer dan sekundernya sementara transformator dua bertegangan (sisi primer dan sekunder) sebesar 0,866 dari transformator satu. Keduanya dihubungkan di mana tap tegangan 50% transformator satu terhubung ke sisi nol transformator dua (sisi primer dan sekunder). Kedua hubungan transformator tersebut lalu dicatu tegangan tiga fasa dan sisi keluarannya dihubung beban yang nantinya juga akan bertegangan keluar tiga fasa.

Pada umumnya beban yang dilayani suatu transformator diusahakan seimbang, tetapi dalam kenyataannya sering beban yang dilayani oleh suatu transformator seringtidak seimbang. Beban seimbang adalah kondisi dalam suatu hubungan transformator besar vektor arus/tegangannya sama dan membentuk sudut 120º. Beban tidak seimbang adalah suatu kondisi dalam suatu hubungan transformator dimana kedua syarat salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi. Beban tidak seimbang menyebabkan arus beban berubah-ubah, karena arus beban yang berubah-ubah maka rugi-rugi tembaga transformator juga berubah bergantung pada beban. Sehingga beban yang tidak seimbang akan mempengaruhi tegangan keluaran dari transformator. (Stevenson, 1984 :261)

Penelitian tentang transformator hubungan teaser sudah pernah dilakukan sebelumnya oleh Adi Sulaiman Nahayat berjudul "*Perancangan dan Pembuatan Transformator Konverter Satu Fasa Menjadi Sumber Tiga Fasa"* bertempat di Universitas Jember tahun 2014. Hanya saja penelitian masih terbatas dalam skala desain dan berkapasitas daya kecil 5VA. Berangkat dari hal tersebut, penulis ingin mewujudkan penelitian guna mengetahui tegangan keluaran transformator teaser dibebani 3 fasa seimbang dan 3 fasa tidak seimbang dalam skala yang lebih besar (penelitian laboratorium dan tegangan uji 220-380V).

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mesin Elektrik dengan membuat hubungan transformator teaser setelah itu dilakukan pengujian awal untuk mengetahui apakah tegangan keluaran sudah sesuai ratingnya. Selanjutnya dilakukan pengujian pembebanan dengan kondisi seimbang dan tidak seimbang. Beban yang dipakai adalah tahanan geser yang berisifat resistif terhubung Y. Objek yang diamati adalah nilai tegangan keluaran tiap fasanya. Data dari pengujian ini nantinya diolah lebih lanjut.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana analisis dan metode uji rangkaian trafo-beban pada transformator teaser.
2. Berapa nilai tegangan keluaran transformator teaser bila dibebani resistif 3 fasa seimbang dan tiga fasa tidak seimbang.
3. Berapa nilai rata-rata ketidakseimbangan beban transformator teaser bila dibebani resistif tiga fasa tidak seimbang.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini sbb:

1. Transformator yang dipakai berada di Lab Mesin Elektrik JTE FT-UB dengan spesifikasi sbb:

T1 (Transformator utama)		T2 (transformator teaser)	
P_{maks}	= 1.520 W	P_{maks}	= 1.320 W
f	= 50 Hz	f	= 50 Hz
V_P	= 0 -190 – 380 V	V_P	= 0 – 330 V
V_S	= 0 – 110 - 220 V	V_S	= 0 – 190 V
I_{Pmaks}	= 5 A	I_{Pmaks}	= 5 A
I_{Smaks}	= 5 A	I_{Smaks}	= 5 A

2. Beban yang dipakai resistif terhubung Y
3. Tidak membahas masalah harmonisa dan kerugian secara ekonomis

1.4 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh beban seimbang dan tidak seimbang tiga fasa terhadap tegangan keluaran transformator hubungan teaser (T-T).

1.5 Manfaat

Penelitian ini diharapkan bermanfaat untuk:

1. Mahasiswa jurusan teknik elektro yang ingin memperdalam pengetahuan tentang transformator.
2. Penulis sendiri untuk memberikan pemahaman tentang cara pemakaian transformator tiga fasa hubungan teaser (T-T) untuk melayani penyaluran daya.
3. Mengetahui tentang pengaruh beban tiga fasa seimbang dan tidak seimbang terhadap tegangan keluaran transformator hubungan teaser (T-T).

1.6 Sistematika Pembahasan

Sistematika penulisan skripsi dengan judul "Analisis Pembebanan 3 Fasa Seimbang dan Tidak Seimbang Terhadap Tegangan Keluaran Transformator Hubungan Teaser (T-T)" adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Membahas tentang dasar teori yang digunakan sebagai landasan teori dalam penelitian yang dilakukan.

BAB III METODE PENELITIAN

Membahas tentang metode yang digunakan dalam penelitian ini seperti, studi literatur, obyek penelitian, variabel penelitian, pengumpulan data, analisis, serta penarikan kesimpulan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Melakukan perhitungan dan analisa data.

BAB V PENUTUP

Membahas tentang kesimpulan dan saran sehingga penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dan diaplikasikan dalam kehidupan.

DAFTAR PUSTAKA

Memaparkan tentang sumber-sumber literatur yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Transformator

Transformator adalah suatu alat listrik yang dapat memindahkan dan mengubah energy listrik dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lain, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya 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 dan untuk menghambat arus searah sambil tetap melakukan atau mengalirkan arus bolak-balik antara rangkaian. Berdasarkan frekuensi transformator dapat dikelompokkan sebagai berikut :

1. Frekuensi daya, 50-60 Hz.
2. Frekuensi pendengaran, 50-20 kHz.
3. Frekuensi radio, diatas 30 kHz.

Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi:

1. Transformator Daya
2. Transformator Distribusi
3. Transformasi Pengukuran

Kerja transformator yang berdasarkan induksi elektromagnet menghendaki adanya gandengan magnet antara rangkaian primer dan sekunder. Gandengan magnet ini berupa inti besi tempat melakukan fluks bersama. (Zuhal, 2000:43)

Prinsip Kerja Transformator

Transformator terdiri atas 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 tegangan bolak-balik maka akan muncul fluks bolak-balik di dalam inti laminasi, karena kumparan tersebut membentuk rangkaian 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 juga induksi bersama (*mutual induction*) yang menyebabkan timbulnya fluks magnet di kumparan sekunder, maka mengalirlah arus sekunder jika rangkaian sekunder di bebani, sehingga energi listrik dapat disalurkan keseluruhan (secara magnetisasi). (Wijaya, 2001:60-65)

$$e = -N\frac{d\emptyset}{dt}\ Volt \quad (2\text{-}1)$$

Dimana :

e = gaya gerak listrik (ggl)

N = jumlah lilitan

$\frac{d\emptyset}{dt}$ = perubahan fluks magnet

Dan pada transformator ideal yang di eksitasi dengan sumber sinusoidal berlaku persamaan:

$$E = 4{,}44\ \Phi maxNf \quad (2\text{-}2)$$

Dimana :

E = tegangan (rms)

N = jumlah lilitan

f = frekuensi

Φmax = fluks puncak

Atau :

$$\frac{E1}{E2} = \frac{N1}{N2} \quad (2\text{-}3)$$

Dengan mengabaikan rugi tahanan dan adanya fluks bocor didapatkan persamaan :

$$\frac{E1}{E2} = \frac{e1}{e2} = \frac{V1}{V2} = \frac{v1}{v2} = \frac{N1}{N2} = k \quad (2\text{-}4)$$

Dimana :

k = perbandingan transformasi

Apabila : k<1, maka transformator berfungsi untuk menaikkan tegangan (*step up transformer*). k>1, maka transformator berfungsi sebagai untuk menurunkan tegangan (*step down transformer*).

2.2 Transformator Tiga Fasa

Pada prinsipnya transformator tiga fasa sama dengan transformator satu fasa, perbedaannya adalah seperti perbedaan sistem listrik satu fasa dengan listrik tiga fasa, yaitu mengenal sistem bintang (Y) dan segitiga (Δ), serta sistem *zig-zag* (Z), dan juga sistem angka jam yang sangat menentukan untuk kerja paralel transformator tiga fasa. Untuk menganalisa

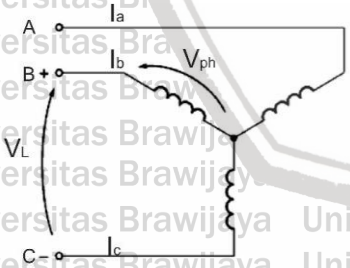
transformator daya tiga fasa dilakukan dengan memandang atau menganggap transformator tiga fasa sebagai transformator satu fasa, teknik perhitungannya pun sama, hanya untuk nilai akhir biasanya parameter tertentu (arus, tegangan dan daya) transformator tiga fasa dikaitkan dengan nilai √3. Transformator tiga fasa ini dikembangkan dengan alasan ekonomis,biaya lebih murah karena bahan yang digunakan lebih sedikit dibandingkan tiga buah transformator satu fasa dengan jumlah daya yang sama dengan satu buah transformator daya tiga fasa, lebih ringan dan lebih kecil sehingga mempermudah pengangkutan (menekan biaya pengiriman), pengerjaannya lebih cepat, serta untuk menangani operasinya hanya satu buah transformator yang perlu mendapatkan perhatian (meringankan pekerjaan perawatan). Selain itu transformator tiga fasa juga lebih banyak digunakan di sistem tenaga listrik di dunia sehingga untuk pemesanannya lebih mudah, sedangkan transformator satu fasa lebih jarang digunakan. (Wijaya, 2001:105).

2.3 Hubungan Tiga Fasa dalam Transformator

Secara umum hubungan belitan tiga fasa terbagi atas dua jenis, yaitu hubungan bintang (Y) dan hubungan delta (Δ). Masing-masing hubungan ini memiliki karakteristik arus tegangan yang berbeda-beda. Baik sisi primer maupun sekunder masing-masing dapat dihubungkan bintang, delta maupun zig-zag. (Sumanto ,1991:41).

2.3.1 Hubungan Bintang (Y)

Hubungan bintang ialah hubungan transformator tiga fasa dimana ujung-ujung awal atau akhir lilitan disatukan. Titik dimana tempat penyatuan dari ujung-ujung lilitan merupakan titik netral. (Sumanto ,1991:41).



Gambar 2.1 Hubungan bintang

Sumber : Lumbanraja (2008:31)

Dari gambar 2.1 dapat diketahui sebagai berikut,

$Ia = Ib = Ic = I_L$ (ampere)

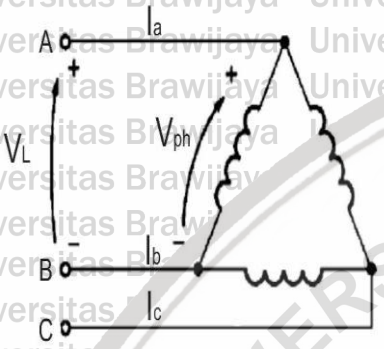
$I_L = I_{Ph}$ (ampere) (2-5)

$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = V_{L-L}$ (volt)

$V_{L-L} = \sqrt{3}\ V_{Ph}$ (volt) (2-6)

2.3.2 **Hubungan** Delta (Δ)

Hubungan delta ialah suatu hubungan transformator tiga fasa dimana cara penyambungannya ialah ujung akhir lilitan fasa pertama disambung dengan ujung mula lilitan kedua, akhir fasa kedua dengan ujung mula fasa ketiga dan akhir fasa ketiga dengan ujung mula fasa pertama. (Sumanto,,1991:42)



Gambar 2.2 Hubungan delta

Sumber : Lumbanraja (2008:31)

Dari gambar 2.2 dapat diketahui sebagai berikut,

$I_a = I_b = I_c = I_L$ (ampere)

$I_L = \sqrt{3}\ I_{Ph}$ (ampere) (2-7)

$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = V_{L-L}$ (volt)

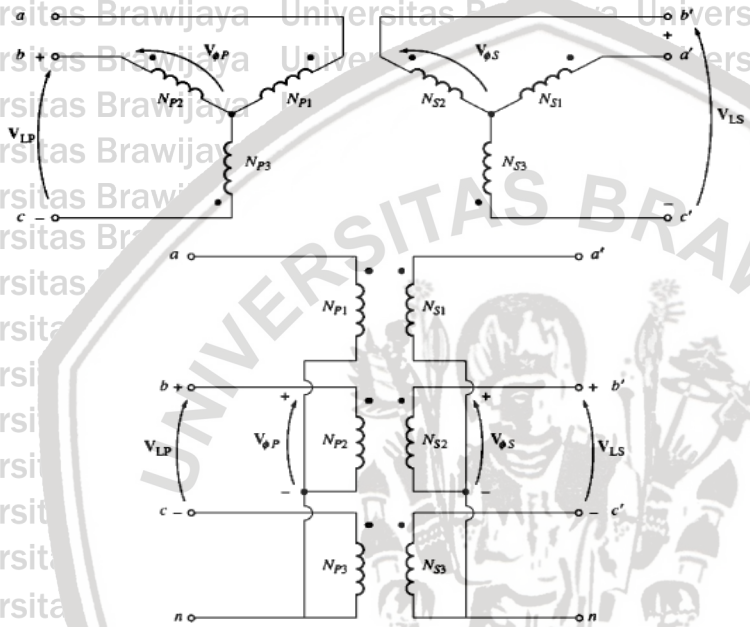
$V_{L-L} = V_{Ph}$ (volt) (2-8)

2.4 **Jenis-jenis Hubungan Belitan Transformator Tiga Fasa**

Pada transformator tiga fasa terdapat dua hubungan belitan utama yaitu hubungan delta dan hubungan bintang dengan konfigurasi Y – Y, Y - Δ, Δ - Y, Δ - Δ, bahkan untuk kasus tertentu belitan sekunder dapat dihubungkan secara berliku-liku (*zig-zag*), sehingga diperoleh kombinasi Δ - Z dan Y – Z. Hubungan *zig-zag* (Z) merupakan sambungan bintang "istimewa", hubungan ini dibuat dengan menambahkan kumparan yang dihubungkan secara segitiga pada kumparan sekunder yang dihubungkan secara bintang. Selain itu pada kondisi tertentu hubungan transformator tiga fasa dapat juga hanya dengan menggunakan dua buah transformator. Beberapa hubungan tansformator tiga fasa yang menggunakan dua transformator yaitu, hubungan delta terbuka (V-V), open-Y-open-Δ, hubungan Scott-T. (Wijaya, 2001:106)

2.4.1 Hubungan Bintang-Bintang (Y-Y)

Hubungan ini ekonomis digunakan untuk melayani beban yang kecil dengan tegangan transformasi yang tinggi. Hubungan Y-Y pada transformator tiga fasa dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Hubungan bintang-bintang (Y-Y)

Sumber : Chapman (2005:119)

Pada hubungan Y-Y tegangan primer pada masing-masing fasa adalah :

$$V_{\phi P}=V_{LP}/\sqrt{3} \quad (2\text{-}9)$$

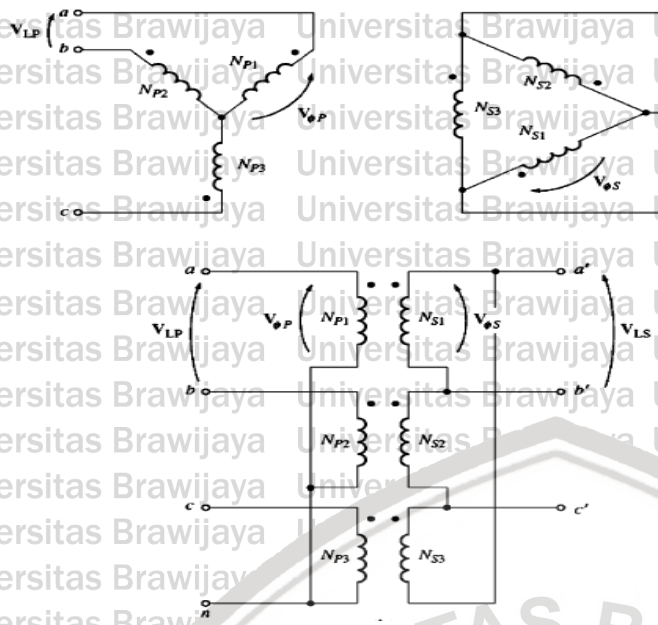
Tegangan fasa primer sebanding dengan tegangan fasa sekunder dan perbandingan belitan transformator. Maka diperoleh perbandingan tegangan pada transformator adalah :

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{\sqrt{3}V_{\phi P}}{\sqrt{3}V_{\phi S}} = a \quad (2\text{-}10)$$

Pada hubungan Y-Y ini jika beban transformator tidak seimbang maka tegangan pada fasa transformator tidak seimbang.

2.4.2 Hubungan Bintang-Delta (Y-Δ)

Digunakan sebagai penurun tegangan untuk sistem tegangan tinggi. Hubungan Y-Δ pada transformator tiga fasa dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Hubungan bintang-delta (Y-Δ)

Sumber : Chapman (2005:121)

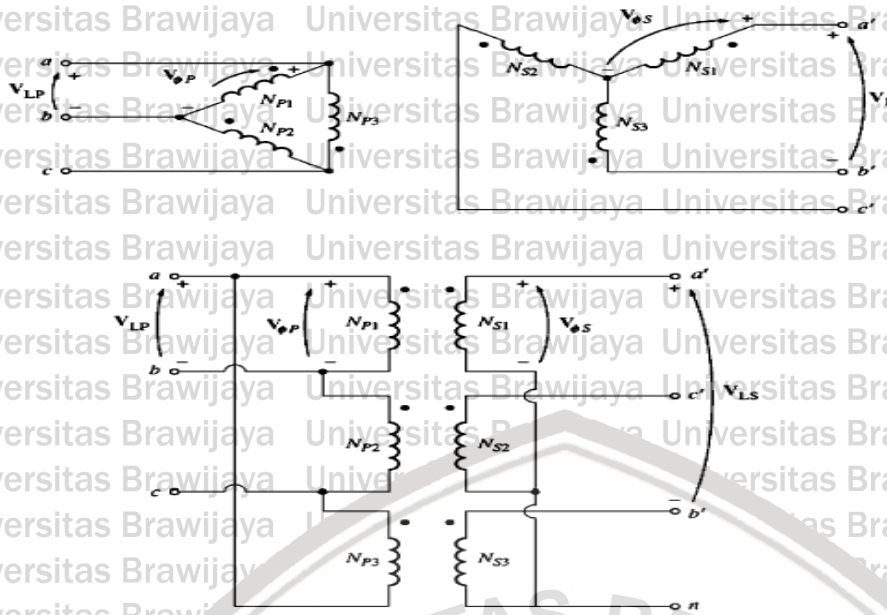
Pada hubungan ini, hubungan tegangan *line* primer dengan tegangan fasa primer $V_{LP}=\sqrt{3}V_{\phi P}$ dan hubungan tegangan *line* sekunder dan tegangan fasa sekunder $V_{LS}=V_{\phi S}$. Sehingga diperoleh perbandingan tegangan pada hubungan ini adalah :

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{\sqrt{3}V_{\phi P}}{V_{\phi S}} = \sqrt{3}a \qquad (2\text{-}11)$$

Hubungan ini lebih stabil dan tidak ada masalah dengan beban tidak seimbang dan harmonisa.

2.4.3 Hubungan Delta-Bintang (Δ-Y)

Umumnya hubungan ini digunakan untuk menaikkan tegangan dari tegangan pembangkitan ke tegangan transmisi. Hubungan Δ-Y pada transformator tiga fasa ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Hubungan delta-bintang (Δ-Y)

Sumber : Chapman (2005:122)

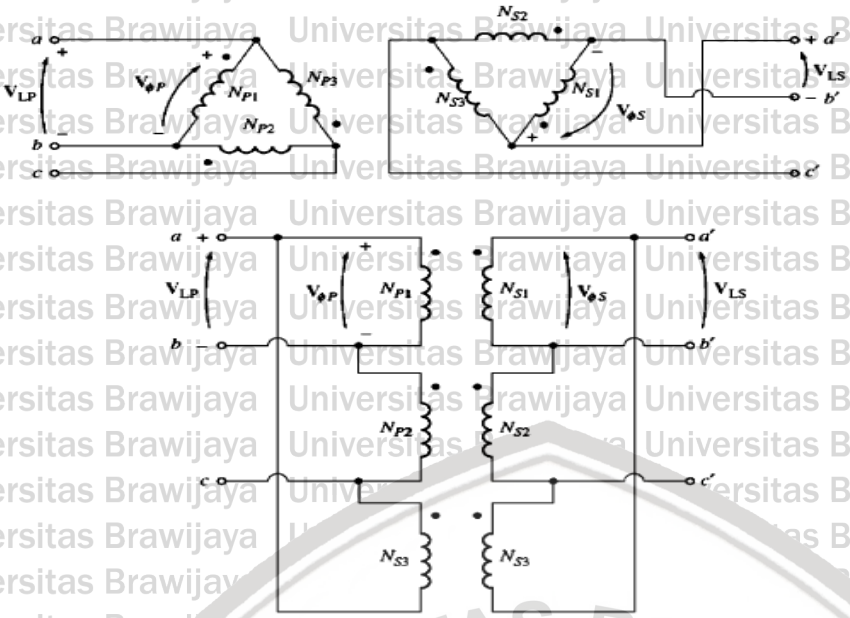
Pada hubungan ini, hubungan tegangan pada sisi primer $V_{LP}=V_{\emptyset S}$ dan hubungan tegangan pada sisi sekunder $V_{LS}=\sqrt{3}V_{\emptyset S}$. Maka perbandingan tegangan pada hubungan ini adalah:

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{\emptyset P}}{\sqrt{3}V_{\emptyset S}} = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (2\text{-}12)$$

Hubungan ini memberikan keuntungan yang sama dan beda fasa yang sama seperti pada hubungan Y-Δ.

2.4.4 Hubungan Delta-Delta (Δ-Δ)

Hubungan ini ekonomis digunakan untuk melayani beban yang besar dengan tegangan pelayanan yang rendah. Hubungan Δ-Δ pada transformator tiga fasa ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Hubungan delta-delta (Δ-Δ)

Sumber : Chapman (2005:123)

Pada hubungan ini tegangan *line* dan tegangan fasa sama untuk sisi primer dan sekunder

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{\emptyset P}}{V_{\emptyset S}} = a \qquad (2\text{-}13)$$

Salah satu keuntungan pemakaian transformator tiga fasa hubungan Δ-Δ adalah perbedaan fasa pada hubungan ini tidak ada dan stabil terhadap beban tidak seimbang dan harmonisa. Selain itu keuntungan lain yang dapat diambil adalah apabila transformator ini mengalami gangguan pada salah satu belitannya maka transformator ini dapat terus bekerja melayani beban walaupun hanya menggunakan dua buah belitan saja. Hubungan belitan yang dimaksud adalah hubungan Delta Terbuka. (Chapman, 2005:123)

2.5 Hubungan Transformator Tiga Fasa Menggunakan Dua Transformator

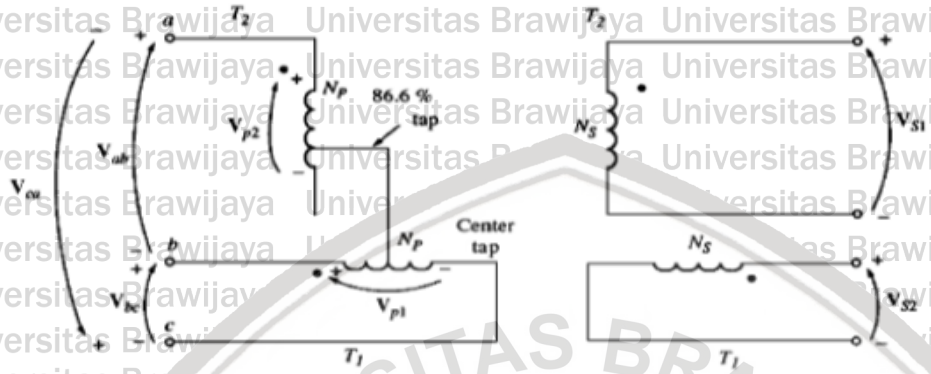
Selain koneksi transformator tiga fasa standar (hubungan Y dan Δ), ada cara untuk melakukan transformasi trafo tiga fase dengan dua trafo satu fasa. Semua cara ini akan menurunkan kemampuan daya transformer, tetapi diperbolehkan untuk situasi tertentu.

Beberapa hubungan transformator tersebut diantaranya:

1. open-delta (V- V)
2. open Y dan open Delta
3. Scott – T
4. Scott T tiga fasa (transformator teaser)

2.5.1 Hubungan Scott

Hubungan scott terdiri dari 2 buah trafo satu fasa dengan rating yang sama. Salah satu transformator mempunya tap pada kumparan primer dengan 86.6 % tegangan berbeban penuh. Nilai tap tegangan 86,6% pada transformator T2 dihubungkan pada tap tengah transformator T1.



Gambar 2.7 Diagram garis transformator terhubung scott T.

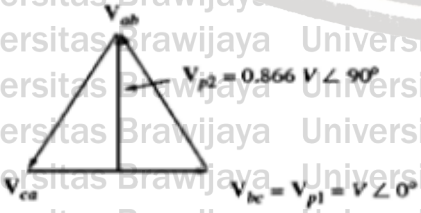
Sumber : Chapman, 1986 : 132

Tegangan masukan sistem ditunjukkan pada gambar:

Gambar 2.8 Tegangan masukan tiga fasa

Sumber : Chapman, 1986 : 132

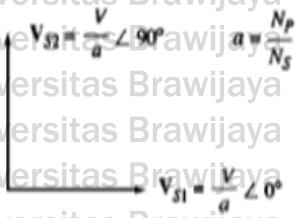
Tegangan masukan transformator ditunjukkan pada gambar



Gambar 2.9 Tegangan masukan transformator

Sumber : Chapman, 1986 : 132

Karena tegangan ini tertinggal 90°, hasilnya adalah tegangan keluaran satu fasa.

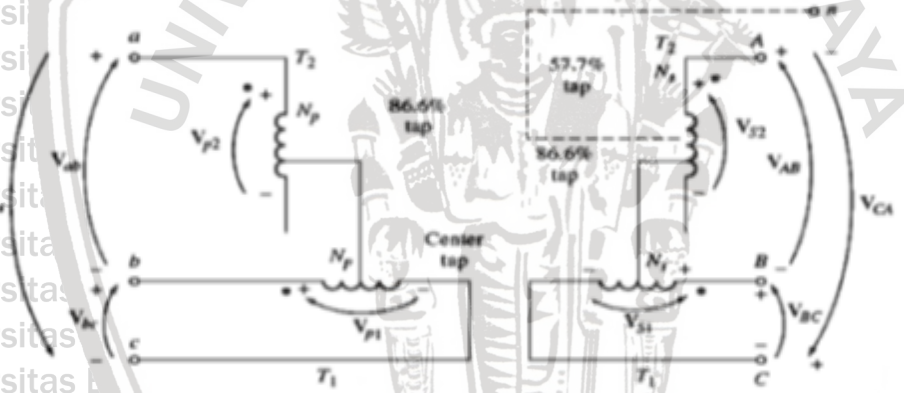


Gambar 2.10 Tegangan keluaran sistem (satu fasa)

Sumber : Chapman, 1986 : 132

2.5.2 Hubungan Scott T (transformator teaser)

Hubungan seperti ini ditunjukkan dalam gambar 2.11 di sini baik kumparan primer maupun sekunder transformator T2 di tap sebesar 86,6% dan tap ini terhubung ke tap pusat pada kumparan yang sesuai di transformator T1. Dalam hubungan ini T1 disebut transformator utama dan T2 disebut transformator teaser.



Gambar 2.11 Diagram garis transformator tiga fasa hubungan Scott T.

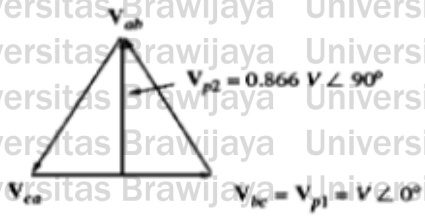
Sumber : Chapman, 1985: 133

Tegangan masukan sistem ditunjukkan pada gambar:

Gambar 2.12 Tegangan masukan tiga fasa

Sumber : Chapman, 1986 : 132

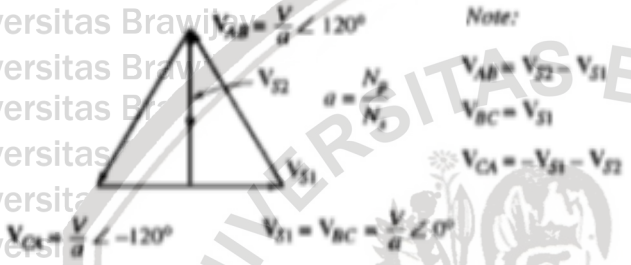
Tegangan primer transformator ditunjukkan pada gambar



Gambar 2.9 Tegangan masukan transformator

Sumber : Chapman, 1986 : 132

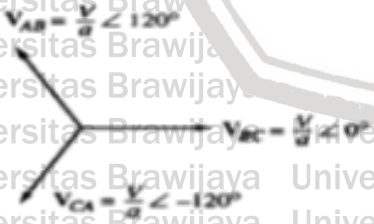
Tegangan sekunder transformator ditunjukkan pada gambar



Gambar 2.9 Tegangan masukan transformator

Sumber : Chapman, 1986 : 132

Sebagaimana hubungan transformator scott, tegangan masukan tiga fasa menghasilkan dua buah tegangan tertinggal 90° pada kumparan primer transformator. Tegangan fasa kumparan primer ini menghasilkan tegangan keluaran kedua yang juga berbeda 90°. Tidak seperti hubungan scott, tegangan keluaran kedua ini akan digabung ulang menjadi tegangan keluaran tiga fasa.



Gambar 2.8 Tegangan keluaran sistem (tiga fasa)

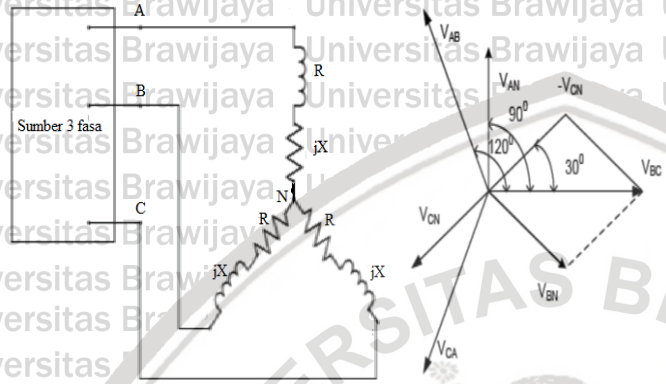
Sumber : Chapman, 1986 : 132

2.6 Rangkaian beban tiga fasa seimbang

Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan dimana:

1. Ketiga vektor arus atau tegangan sama besar
2. Ketiga vektor saling membentuk sudut 120º satu sama lain.

Rangkaian beban tiga phasa untuk hubungan Y dapat digambarkan seperti gambar dibawah ini:



Gambar 2.9 Sistem beban tiga phasa seimbang hub Y beserta diagram fasornya

Sumber: Eeng 224 Circuit Theory II, slide 6

Pada keadaan seimbang bahwa impedansi beban pada masing-masing phasanya adalah sama besarnya, sehingga dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\boldsymbol{Z_a = Z_b = Z_c = R + jX = |Z|\angle\theta}$$

(2.14)

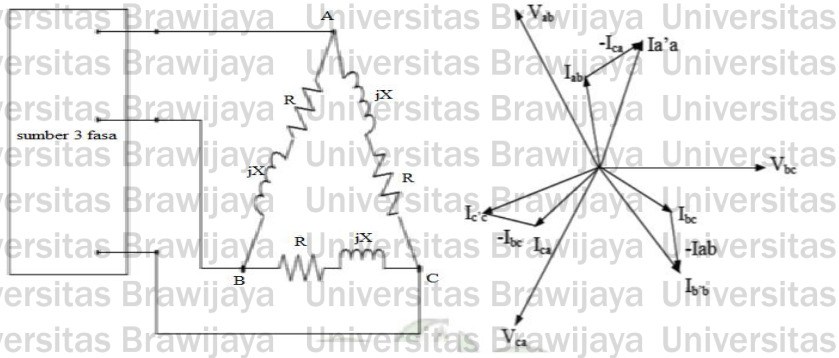
Dalam hubungan Y, arus line sama dengan arus phasa, dapat ditentukan dengan:

$$\boldsymbol{I_{a'a} = I_{an} = \frac{V_{an}}{Z_a}} \quad (2.15)$$

$$\boldsymbol{I_{b'b} = I_{b0n} = \frac{V_{bn}}{Z_b}} \quad (2.16)$$

$$\boldsymbol{I_{c'c} = I_{cn} = \frac{V_{cn}}{Z_c}} \quad (2.17)$$

Untuk rangkaian beban tiga phasa terhubung delta (Δ) dapat dilihat seperti gambar dibawah ini:



Gambar 2.10 Sistem beban tiga fasa seimbang hub Δ beserta diagram fasornya

Sumber: Eeng Circuit Theory II, slide 6

Pernyataan arus beban untuk hubungan Δ menjadi:

$$\boldsymbol{I_{ab} = \frac{V_{ab}}{Z_{ab}}} \quad (2.18)$$

$$\boldsymbol{I_{bc} = \frac{V_{bc}}{Z_{bc}}} \quad (2.19)$$

$$\boldsymbol{I_{ca} = \frac{V_{ca}}{Z_{ca}}} \quad (2.20)$$

Arus saluran $I_{a'a}$, $I_{b'b}$, $I_{c'c}$ diperoleh dengan menerapkan hukum arus Kirchoff yaitu :

$$\mathbf{I_{a'a} = I_{ab} + I_{ac} = I_{ab} - I_{ca}} \quad (2.21)$$

$$\mathbf{I_{b'b} = I_{ba} + I_{bc} = I_{bc} - I_{ab}} \quad (2.22)$$

$$\mathbf{I_{c'c} = I_{ca} + I_{cb} = I_{ca} - I_{bc}} \quad (2.23)$$

2.7 Rangkaian beban tiga fasa tidak seimbang

Yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi. Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada tiga yaitu:

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

Penyelesaian beban tiga fasa tidak seimbang adalah dengan mengacu pada komponen simetris.

Metode komponen simetris digunakan untuk memahami dan menganalisis operasi sistem tenaga listrik pada kondisi tidak seimbang. Berbagai jenis ketidakseimbangan pada sistem tenaga listrik disebabkan oleh gangguan antara phasa dan/atau ke bumi (fasa ke

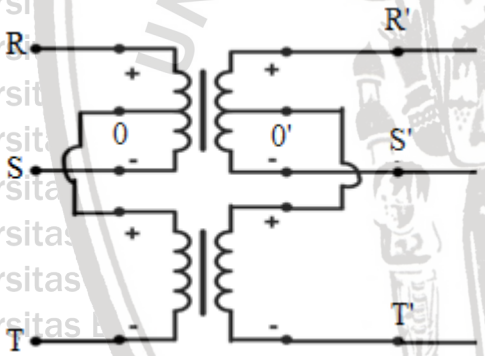
fasa, dua fasa ke tanah, satu fasa ke tanah), fasa terbuka, impedansi tidak seimbang dan kombinasinya.

2.8 Pengujian transformator tiga fasa

Pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan keluaran per fasa apakah sesuai rating atau tidak dan nilai tegangan keluaran per fasa saat dibebani seimbang dan tidak seimbang.

2.8.1 Pengujian tegangan keluaran

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai rating tegangan keluaran tiap fasa transformator saat tidak dibebani apakah sesuai rating atau tidak. Metodenya adalah dengan mengukur tegangan tiap fasa primer dan sekunder T1 dan T2 lalu membandingkannya dengan rating aslinya. Jika hasilnya sesuai dengan rating aslinya maka transformator yang kita buat sudah berhasil dan boleh dilanjutkan ke pengujian selanjutnya.

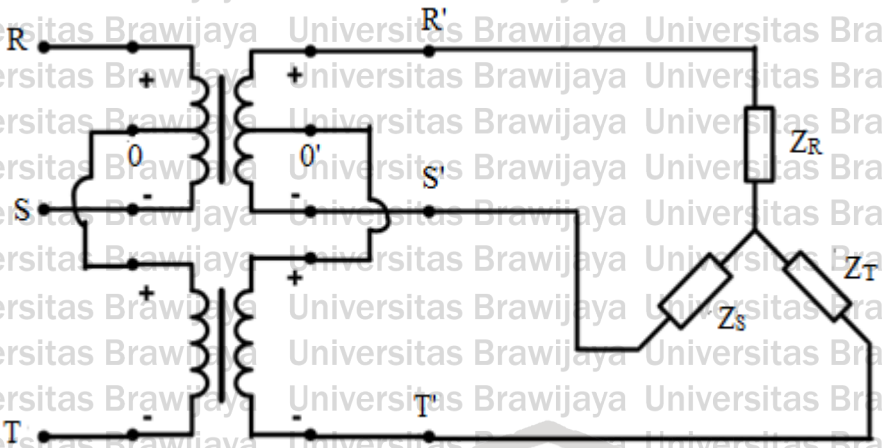


Gambar 2.11 Transformator teaser tanpa beban

Sumber: penulis

2.8.2 Pengujian berbeban

Percobaan ini bertujuan untuk mendapatkan nilai tegangan keluaran dari transformator teaser. Perhitungan yang digunakan untuk mendapatkan karakteristik sbb:



Gambar 2.12 Transformator teaser berhubung beban Y
Sumber: PPT Trafo 3 fasa Ir. Heri Purnomo, MT slide 18

Daya input dari rangkaian di atas berupa 2 buah transformator satu fasa, Transformator u-v yang memiliki tap tegangan penuh dan transformator o-w di mana $V_{ow} = 0{,}866V_{uv}$ nilianya adalah sbb:

$$\boldsymbol{Pin = PTrafo_{uv} + PTrafo_{ow}}$$

$$= \boldsymbol{V_f I_f Cos_\varphi + 0,866 V_f I_f Cos_\varphi} \text{ watt}$$

$$= \boldsymbol{1,866\, V_f I_f Cos_\varphi} \quad (2.24)$$

Daya outputnya karena beban terhubung Y dimana $V_L = \sqrt{3}V_f$ dan $I_L = I_f$ nilainya sbb:

$$\boldsymbol{P_{out} = V_L I_L Cos_\varphi}$$

$$= \boldsymbol{\sqrt{3} V_f I_f Cos_\varphi} \text{ watt} \quad (2.25)$$

Berarti daya output lebih rendah daripada daya input, dikarenakan adanya rugi-rugi didalam transformator tersebut. Maka efisiensi transformator:

$$\boldsymbol{\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} x100\%} \quad (2.26)$$

$$= \frac{\sqrt{3} V_f I_f Cos_\varphi}{1{,}866\, V_f I_f Cos_\varphi} x100\%$$

Untuk perhitungan rugi-rugi daya adalah:

$$\mathbf{P_{loss} = P_{in} - P_{out}} \quad (2.27)$$

Karena If adalah besar arus fasa beban pada keadaan seimbang, maka untuk daya yang sama tetapi dengan keadaan tidak seimbang, besarnya arus-arus fasa beban dapat dinyatakan dengan koefisien-koefisien a, b, dan c sebagai berikut:

$$\boldsymbol{[I_{AB}] = a[I]} \quad (2.28)$$

$$\boldsymbol{[I_{BC}] = a[I]} \quad (2.29)$$

$$[\boldsymbol{I_{CA}}] = \boldsymbol{a}[\boldsymbol{I}] \quad (2.30)$$

Bila faktor daya pada ketiga fasa sama walaupun besarnya arus berbeda, besar dayanya dapat dinyatakan sebagai:

$$\boldsymbol{P} = \sqrt{(\boldsymbol{a} + \boldsymbol{b} + \boldsymbol{c})}\boldsymbol{V_2 I}\cos\emptyset \quad (2.31)$$

Diperoleh ketentuan umum bahwa:

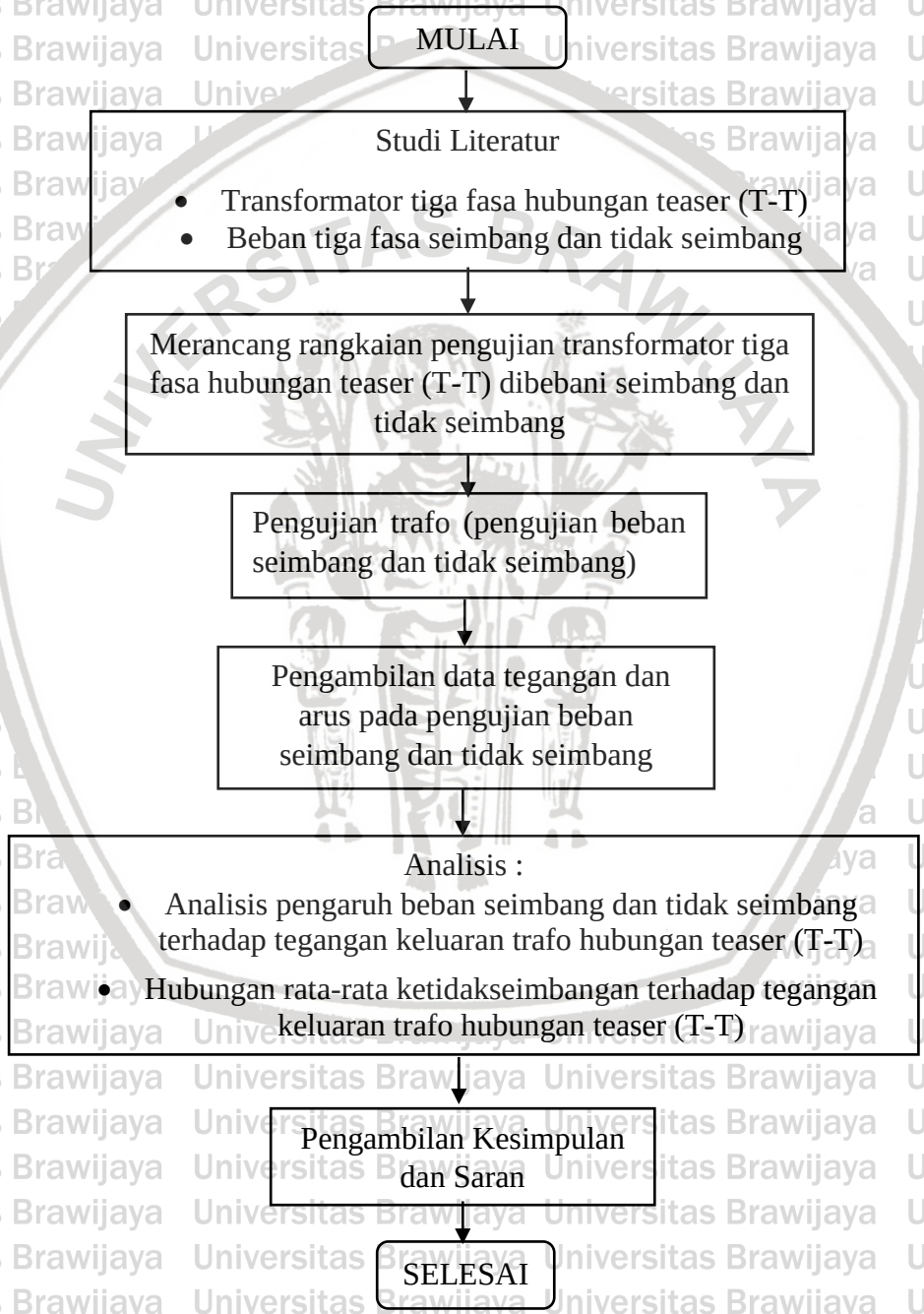
$$\boldsymbol{a}+\boldsymbol{b}+\boldsymbol{c}=\boldsymbol{3} \quad (2.32)$$

Sehingga rata-rata ketidak seimbangan dapat dihitung:

$$= \frac{\{|\boldsymbol{a}-\boldsymbol{1}|+|\boldsymbol{b}-\boldsymbol{1}|+|\boldsymbol{c}-\boldsymbol{1}|\}}{\boldsymbol{3}}\boldsymbol{x}\ \boldsymbol{100}\ \% \quad (2.33)$$

BAB III
METODE PENELITIAN

Untuk mencapai tujuan penelitian dibutuhkan cara atau metode penelitian. Metode penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh pembebanan tiga fasa seimbang dan tidak seimbang pada tegangan keluaran transformator hubungan teaser. Metodologi yang digunakan untuk pembahasan dalam skripsi ini yaitu sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Sumber: penulis

3.1 Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan dalam hal ini adalah memahami konsep tentang transformator hubungan delta terbuka, beban seimbang dan tidak seimbang serta pengaruhnya terhadap tegangan keluaran pada transformator hubungan delta terbuka. Untuk memahami hal-hal tersebut digunakan jurnal ilmiah, buku, skripsi, jurnal dan sumber relevan lainnya.

3.2 Pengujian transformator

Ada dua pengujian yang dilakukan dalam penelitian, yaitu pengujian tegangan keluaran dan pengujian berbeban.

3.2.1 Pengujian tegangan keluaran

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai rating tegangan keluaran tiap fasa transformator saat tidak dibebani apakah sesuai rating atau tidak.

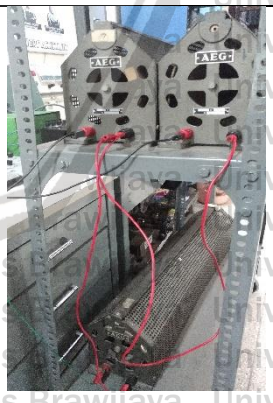
3.2.2 Pengujian berbeban

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan karakteristik tegangan keluaran dari transformator tiga fasa tersebut dengan kondisi beban yang berbeda yaitu seimbang dan tidak seimbang.

3.3 Peralatan yang digunakan

Tabel 3.1 Peralatan yang digunakan untuk pengujian

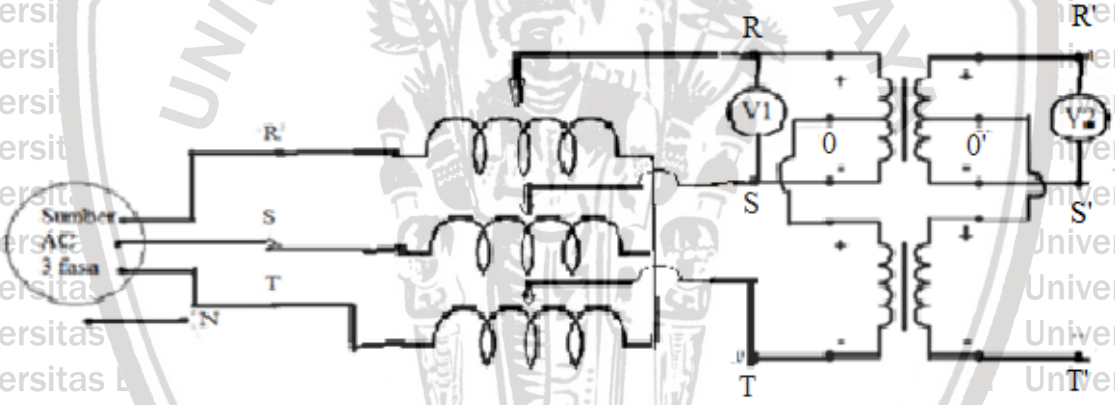
No	Nama	Spesifikasi	Jumlah	Gambar
1	Transformator hubungan teaser (T-T)	T1 (Transformator utama) P_{maks} = 1.520 W F = 50 Hz V_P = 0 -190-380V V_S = 0-110-220 V I_{Pmaks} = 5 A I_{Smaks} = 5 A T2 (transformator teaser) P_{maks} = 1.320 W f = 50 Hz V_P = 0 – 330 V V_S = 0 – 190 V I_{Pmaks} = 5 A I_{Smaks} = 5 A	1	

2	Pengatur Tegangan AC 3 fasa	Pengatur tegangan AC 3 fasa 0-480 V	1	
3.	Multimeter	CD 772 3 unit untuk mengukur arus beban 1 unit untuk mengukur tegangan keluaran	4	
4	Voltmeter analog	Mengukur tegangan masukan transformator (di set 380 V)	1	
5	Tahanan geser	Beban rangkain transformator hubungan teaser (di set terhubung Y)	3	

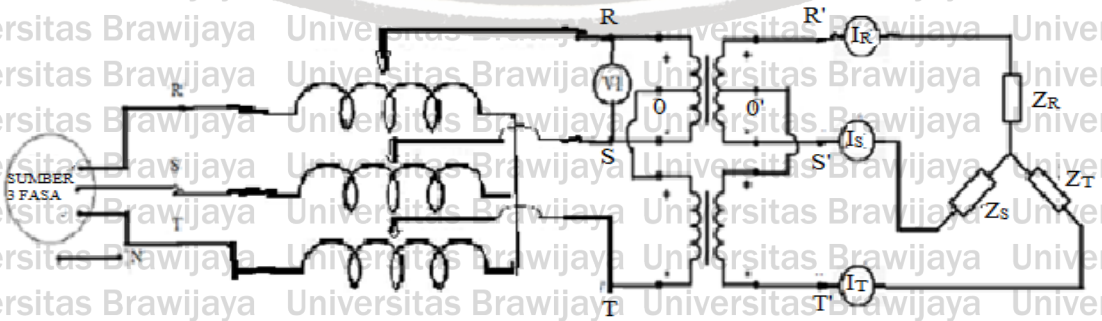
6	Kabel penghubung	Kabel pengubung antar komponen dalam rangkaian pengujian	Sck.	

3.4 Rangkaian Pengujian

Pengujian yang akan dilakukan ada dua yaitu pengujian tegangan keluaran dan pengujian dengan berbeban. Pengujian tegangan keluaran bertujuan untuk menguji apakah transformator yang dibuat apakah sudah sesuai ratingnya. Pengujian berbeban diuji dengan mengubah arus beban sesuai dengan kondisi bebannya (seimbang atau tidak seimbang). Rangkaian pengujian ditunjukkan pada Gambar 3.2



Gambar 3.2 Rangkaian pengujian tegangan keluaran (titik R-S dengan R'-S')
Sumber: penulis



Gambar 3.3 Rangkain pengujian berbeban
Sumber: penulis

3.5 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan 2 kali, yaitu pengujian awal tegangan keluaran untuk mengetahui apakah transformator teaser yang dibuat sudah sesuai dengan ratingnya dan pengujian berbeban seimbang/tidak seimbang. Langkah pengujian sbb:

3.4.1 Prosedur Pengujian Tegangan keluaran

Langkah uji

1. Rangkai peralatan pengujian sesuai gambar.
2. Naikkan tegangan sesuai rating transformator (R-S = 380 V, R-0 = 190 V, dan 0-S = 190 V)
3. Untuk setiap tegangan titik ukur primer transformator 1 catat nilai tegangan sekundernya (R'-S', R'-0', dan 0'-S')
4. Lanjutkan dengan transformator 2 untuk titk (0-T). Atur regulator kenilai 330V. Lihat hasil ukur titik sekundernya (0'-T'), lalu catat hasil ukurnya
5. Jika sudah selesai, atur regulator AC ke nol. Penelitian selesai.

3.4.2 Prosedur Pengujian berbeban

Langkah uji

1. Rangkai peralatan pengujian sesuai gambar.
2. Atur regulator AC senilai 380 V. Sett tahanan geser ke nilai maksimum.
3. Atur arus beban I_R, I_S, dan I_T dengan cara mengubah nilai tahanan geser. Untuk beban seimbang ($I_R=I_S=I_T$). Untuk beban tidak seimbang ($I_R=I_S\neq I_T$ dan $I_R\neq I_S\neq I_T$).
4. Catat nilai penunjukan arus beban. Untuk setiap pengujian, gunakan multimeter lalu ukurlah tegangan keluaran per fasa dan line-line nya. Titik pengukuran sbb: R'-0', S'-0',0'-T' dan R'-S', S'-T', R'-T' serta titik 0-0'.
5. Dokumentasikan pengujian dengan seksama
6. Jika sudah selesai, atur regulator AC ke nol. Penelitian selesai.

3.6 Pengambilan Data dan Analisis

Pengambilan data dilakukan untuk memperoleh data-data yang diperlukan dalam menyelesaikan penelitian. Data-data yang di kumpulkan adalah data dari masing-masing pengujian dengan mencatat hasil tegangan keluaran dan arus dari tansformator yang tertera

pada alat ukur. Setelah data-data didapatkan selanjutnya menganalisis data berdasarkan dari teori yang sudah di dapat dari referensi.

3.7 Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan diambil berdasarkan teori, hasil perhitungan dan analisis, terutama hasil saat pengujian sistem. Kesimpulan ini ditarik berdasarkan kinerja bagian-bagian dari pengujian. Saran diberikan untuk memberikan masukan kepada pembaca yang akan meneliti lebih lanjut mengenai topik skripsi ini. Saran diberikan berdasarkan kesulitan-kesulitan yang dialami selama penelitian dan hal-hal lain yang perlu dikaji lebih mendalam.

BAB IV
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini disajikan data-data hasil dari pengujian pada transformator hubungan teaser yang di bebani tiga fasa seimbang dan tidak seimbang. Data yang diambil melalui percobaan berupa data tegangan (V) dan arus (I), serta data yang akan disajikan melalui perhitungan rumus adalah data rata-rata ketidakseimbangan beban.

4.1 Pengujian tegangan keluaran

Hasil pengujian tegangan keluaran transformator diperoleh data sbb:

Tabel 4.1 Data rating tegangan keluaran

Trafo Utama

Primer	V	Sekunder	V
R-0	190	R'-0'	110
S-0	190	S'-0'	110
R-S	380	R'-S'	220

Trafo Teaser

Primer	V	Sekunder	V
0-T	330	0'-T'	190

Tabel 4.2 Data hasil pengujian tegangan keluaran

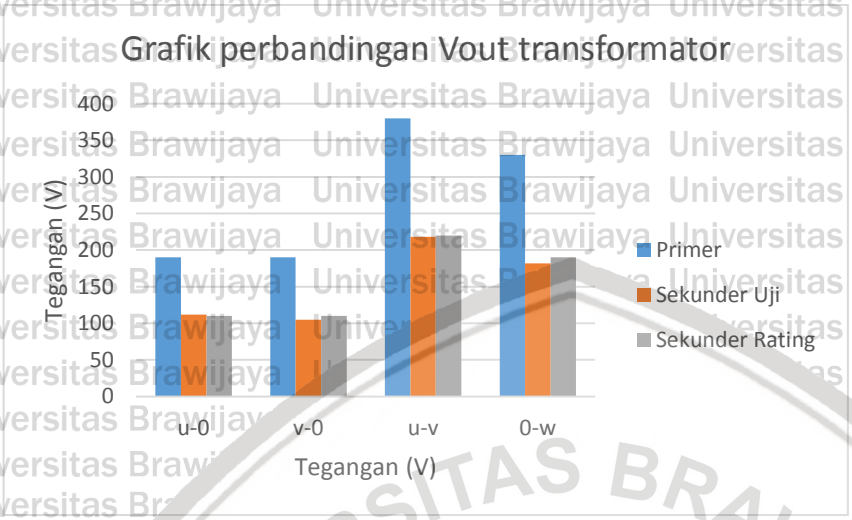
Trafo Utama

Primer	V	Sekunder	V
R-0	190	R'-0'	112
S-0	190	S'-0'	105
R-S	380	R'-S'	218

Trafo Teaser

Primer	V	Sekunder	V
0-T	330	0'-T'	182

Dari kedua tabel di atas dibuat kurva perbandingan sbb:



Gambar 4.1 Grafik perbandingan tegangan keluaran transformator berdasarkan pengujian dan berdasarkan rating

Sumber: penulis

Analisis grafik

Dari gambar 4.1 terlihat bahwa perbedaan antara tegangan keluaran hasil uji dan sesuai rating sangat sedikit. Perbedaan terjadi karena kesalahaan pemabacaan alat ukur, adanya loses dalam proses pembuatan lilitannya, dll. Bisa disimpulkan bahwa dalam hasil pengujian transformator yang dibuat sudah sesuai ratingnya dan siap digunakan dalam pengujian selanjutnya.

3.2 Pengujian berbeban 3 fasa seimbang

Dari hasil pengujian beban tiga fasa seimbang diperoleh data sebagai berikut:

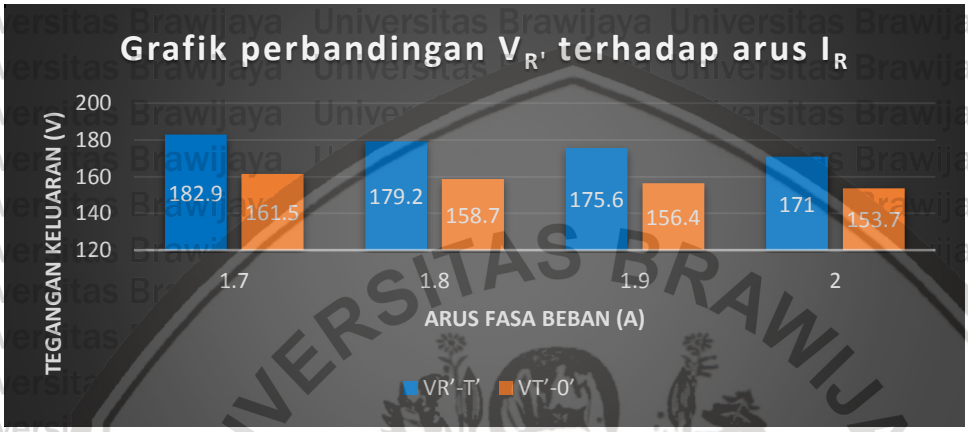
V_1 = 380 V

Tabel 4.3 Data hasil pengujian beban seimbang

No	I_{load} (A)			$V_{out\ L\text{-}L}$ (V)			$V_{out\ L\text{-}N}$ (V)			$V_{out\ 0\text{-}0'}$ (V)
	I_R	I_S	I_T	$V_{R'\text{-}S'}$	$V_{S'\text{-}T'}$	$V_{R'\text{-}T'}$	$V_{R'\text{-}0'}$	$V_{S'\text{-}0'}$	$V_{T'\text{-}0'}$	$V_{0\text{-}0'}$
1	1,7	1,7	1,7	189,5	183	182,9	97,9	93,7	161,5	51
2	1,8	1,8	1,8	186	179,1	179,2	95,7	91,2	158,7	54

3	1,9	1,9	1,9	182	175,4	175,6	93,9	89,5	156,4	55,8
4	2	2	2	177	171,4	171	91,1	87	153,7	58

Dari data hasil pengujian yang tertera pada Tabel 4.1 maka dapat digambarkan grafik hubungan antara tegangan keluaran ($Vout$) transformator terhadap kenaikan arus beban pada tiap-tiap fasa.

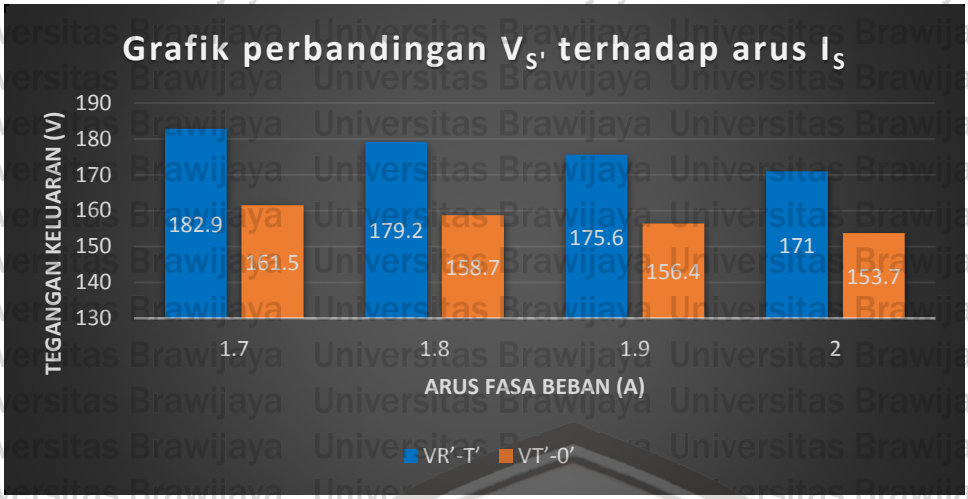


Gambar 4.2 Grafik hubungan antara tegangan keluaran fasa R terhadap arus beban

Sumber: penulis

Analisis grafik

Dari Gambar 4.1 Terlihat bahwa perubahan tegangan keluaran pada fasa R terhadap arus beban turun secara linier. Semakin besar arus beban maka akan mengakibatkan tegangan keluaran tansformator semakin menurun.

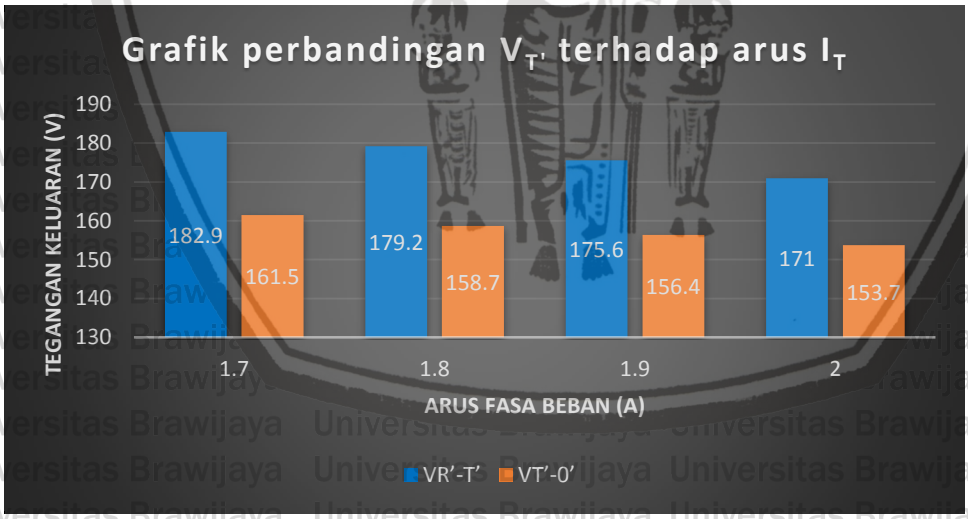


Gambar 4.3 Grafik hubungan antara tegangan keluaran fasa S terhadap arus beban

Sumber: penulis

Analisis grafik

Dari Gambar 4.2 Terlihat bahwa perubahan tegangan keluaran pada fasa S terhadap arus beban turun secara linier. Semakin besar arus beban maka akan mengakibatkan tegangan keluaran tansformator semakin menurun.



Gambar 4.4 Grafik hubungan antara tegangan keluaran fasa T terhadap arus beban

Sumber: penulis

Analisis grafik

Dari Gambar 4.4 Terlihat bahwa perubahan tegangan keluaran pada fasa T terhadap arus beban turun secara linier. Semakin besar arus beban maka akan mengakibatkan tegangan keluaran tansformator semakin menurun.

Setelah didapatkan grafik hubungan antara tegangan keluaran terhadap arus fasa beban untuk masing-masing fasa, maka grafik akan di gabungkan untuk melihat perbedaan yang terjadi pada setiap kenaikan arus beban. Kita hitung gradien tiap arus fasanya sbb:

$V_{R'\text{-}S'}$: $m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{177 - 189.5}{2 - 1{,}7} = -41{,}667$

$y - y_1 = m(x - x_1)$

$y - 189{,}5 = -41{,}667(x - 1{,}7)$

$\mathbf{y = -41{,}667x + 260{,}34}$

$V_{S'\text{-}T'}$: $m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{171{,}4 - 183}{2 - 1{,}7} = -38{,}667$

$y - y_1 = m(x - x_1)$

$y - 183 = -38{,}667(x - 1{,}7)$

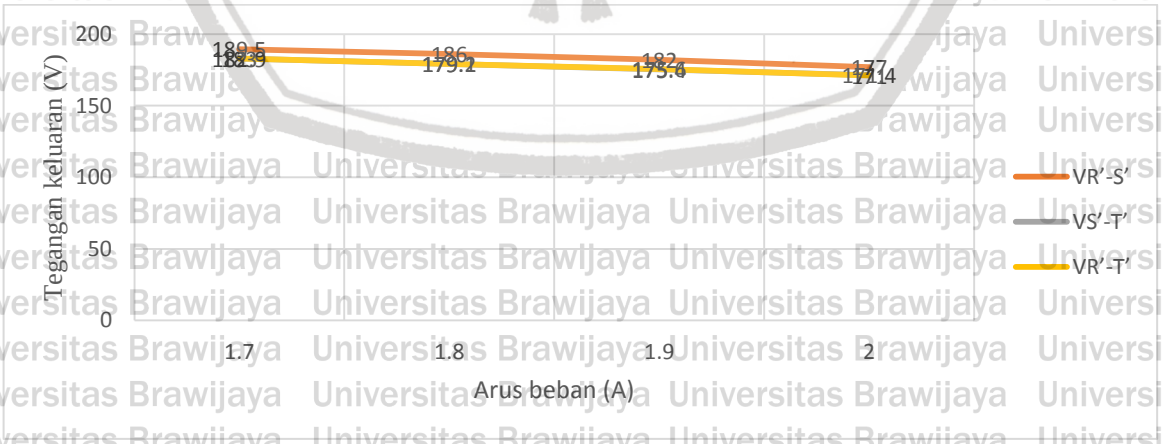
$\mathbf{y = -38{,}667x + 248{,}74}$

$V_{R'\text{-}T'}$: $m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{171 - 182{,}9}{2 - 1{,}7} = -39{,}667$

$y - y_1 = m(x - x_1)$

$y - 182{,}9 = -39{,}667(x - 1{,}7)$

$\mathbf{y = -39{,}667x + 250{,}334}$



Gambar 4.5 Grafik hubungan antara tegangan keluaran terhadap arus beban beban tiga fasa seimbang pada hubungan transformator teaser

Sumber: penulis

Analisis grafik

Dari Gambar 4.5 dapat kita ketahui bahwa pada pegujian beban seimbang dengan menaikkan arus beban maka tegangan keluaran pada transformator teaser akan semakin menurun. Untuk nilai gradien tiap fasa tegangan sbb: untuk $V_{R'-S'}$, y=-41,667x+260,34 untuk $V_{S'-T'}$, y=-38,667x+248,74 dan untuk $V_{R'-T'}$, y=-39,667x+250,334

4.3 Pengujian berbeban 3 fasa tidak seimbang

Pembebanan 3 fasa tidak seimbang dilakukan dalam dua keadaan, yaitu pengujian dua fasa seimbang fasa lain dibebani berbeda dan masing-masing fasa dibebani berbeda.

4.3.1 Pengujian pembebanan 2 fasa seimbang fasa lain dibebani berbeda

V_1 = 380 V

Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Dengan 2 Fasa Dibebani Sama Sedangkan 1 Fasa Dibebani Berbeda

No	I_{load} (A)			$V_{out\ L\text{-}L}$ (V)			$V_{out\ L\text{-}N}$ (V)			$V_{out\ 0\text{-}0'}$ (V)
	I_R	I_S	I_T	$V_{R'-S'}$	$V_{S'-T'}$	$V_{R'-T'}$	$V_{R'-0'}$	$V_{S'-0'}$	$V_{T'-0'}$	$V_{0-0'}$
1	1,7	1,7	1,8	185,5	177,9	177,3	95,4	90	157,3	46,5
2	1,8	1,8	1,9	182,7	173,8	174,2	94,1	89,8,2	154,9	46
3	1,9	1,9	2	179,8	171,1	171	92,7	88,5	153	45,8

Dari data pada tabel 4.4 selanjutnya akan dilakukan perhitungan untuk mencari rata-rata ketidakseimbangan beban.

- Untuk beban tidak seimbang arus beban (1.7 A;1.7 A;1.8 A)

Dari data pengujian dicari arus rata-ratanya (Irata-rata), yaitu

$$Irata-rata = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{1.7 + 1.7 + 1.8}{3} = \frac{5.2}{3} = 1.733\ A$$

Dengan menggunakan persamaan koefisien a, b, dan c dapat diketahui besarnya, dimana besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang (I) sama besarnya dengan arus rata-rata ($Irata-rata$).

I_R = a x I maka,

$$a = \frac{I_R}{I} = \frac{1.7}{1.733} = 0.98$$

I_S= b x I maka,

$$b = \frac{I_S}{I} = \frac{1.7}{1.733} = 0.98$$

I_T = c x I maka,

$$c = \frac{I_T}{I} = \frac{1.8}{1.733} = 1.038$$

Rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam %) adalah:

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

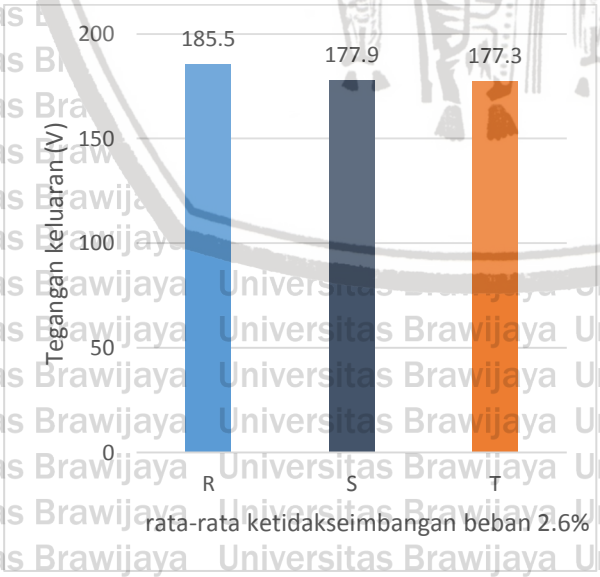
$$= \frac{\{|0.98-1| + |0.98-1| + |1.038-1|\}}{3}$$

$$= \frac{\{|-0.02| + |-0.02| + |0.038|\}}{3} = \frac{\{0.02 + 0.02 + 0.038\}}{3} = \frac{0.078}{3} = 0.026$$

$$= 0.026\ x\ 100\%$$

$$= 2.6\ \%$$

Berdasarkan dari hasil perhitungan rata-rata ketidakseimbangan beban dengan perbedaan arus fasa beban 1.7 A, 1,7 A, 1,8 A didapatkan hasil rata-rata ketidakseimbangan sebesar 2.6%. Untuk beban tidak seimbang dengan rata-rata ketidakseimbangannya 2.6% pengaruhnya pada tegangan keluaran trafo hubungan teaser dapat dilihat pada gambar 4.6



Gambar 4.6 Perbedaan tegangan keluaran fasa R, S, T pada rata-rata ketidakseimbangan 2.6%

Sumber: penulis

- Untuk beban tidak seimbang arus beban (1.8 A;1.8 A;1.9 A)

Dari data pengujian dicari arus rata-ratanya (Irata-rata), yaitu

$$Irata-rata = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{1.8 + 1.8 + 1.9}{3} = \frac{5.5}{3} = 1.833\ A$$

Dengan menggunakan persamaan koefisien a, b, dan c dapat diketahui besarnya, dimana besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang (I) sama besarnya dengan arus rata-rata ($Irata-rata$).

I_R = a x I maka,

$$a = \frac{I_R}{I} = \frac{1.8}{1.833} = 0.982$$

I_S= b x I maka,

$$b = \frac{I_S}{I} = \frac{1.8}{1.833} = 0.982$$

I_T = c x I maka,

$$c = \frac{I_T}{I} = \frac{1.9}{1.833} = 1.036$$

Rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam %) adalah:

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

$$= \frac{\{|0.982-1| + |0.982-1| + |1.036-1|\}}{3}$$

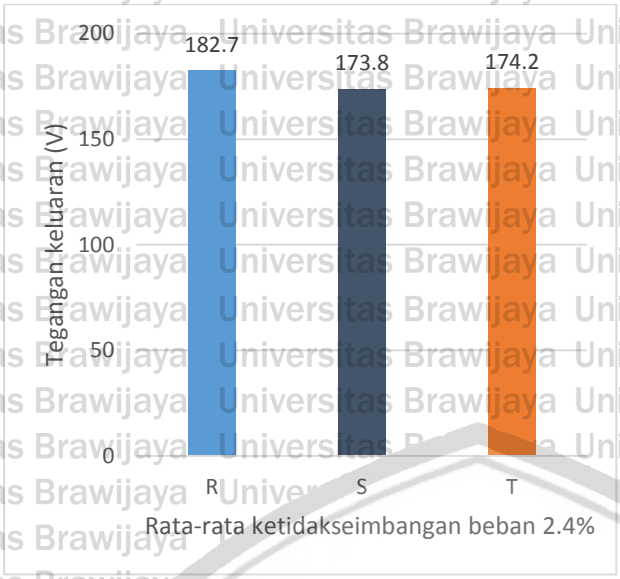
$$= \frac{\{|-0.018| + |-0.018| + |0.036|\}}{3} = \frac{\{0.018 + 0.018 + 0.036\}}{3} = \frac{0.072}{3}$$

$$= 0.024$$

$$= 0.024\ x\ 100\%$$

$$= 2.4\ \%$$

Berdasarkan dari hasil perhitungan rata-rata ketidakseimbangan beban dengan perbedaan arus fasa beban 1.8 A, 1,8 A, 1,9 A didapatkan hasil rata-rata ketidakseimbangan sebesar 2.4%. Untuk beban tidak seimbang dengan rata-rata ketidakseimbangannya 2.4% pengaruhnya pada tegangan keluaran trafo hubungan teaser dapat dilihat pada gambar 4.7



Gambar 4.7 Perbedaan tegangan keluaran fasa R', S', T' pada rata-rata ketidakseimbangan 2.4%

Sumber: penulis

- Untuk beban tidak seimbang arus beban (1.9 A;1.9 A;2 A)

Dari data pengujian dicari arus rata-ratanya (Irata-rata), yaitu

$$Irata-rata = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{1.9 + 1.9 + 2}{3} = \frac{5.8}{3} = 1.933\ A$$

Dengan menggunakan persamaan koefisien a, b, dan c dapat diketahui besarnya, dimana besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang (I) sama besarnya dengan arus rata-rata ($Irata-rata$).

I_R = a x I maka,

$$a = \frac{I_R}{I} = \frac{1.9}{1.933} = 0.983$$

I_S= b x I maka,

$$b = \frac{I_S}{I} = \frac{1.9}{1.933} = 0.98293$$

I_T = c x I maka,

$$c = \frac{I_T}{I} = \frac{2}{1.933} = 1.03466$$

Rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam %) adalah:

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

$$= \frac{\{|0.98293 - 1| + |0.98293 - 1| + |1.03466 - 1|\}}{3}$$

$$= \frac{\{|-0.01707| + |-0.01707| + |0.03466|\}}{3}$$

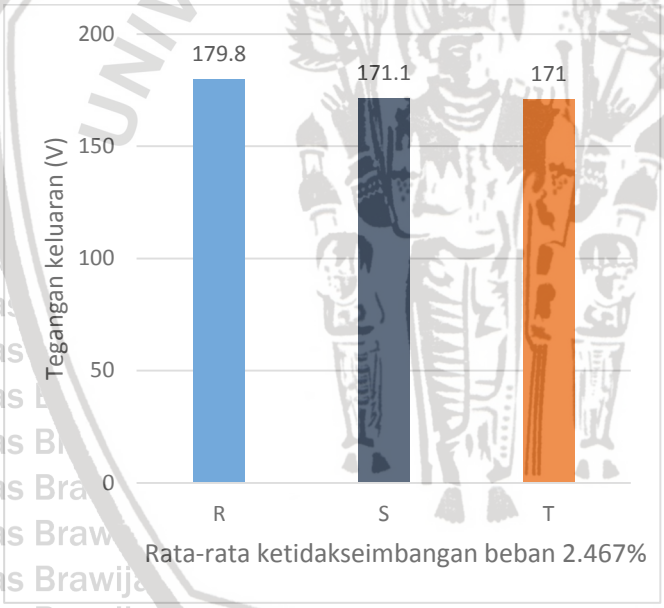
$$= \frac{\{0.01707 + 0.01707 + 0.03466\}}{3} = \frac{0.068}{3}$$

$$= 0.02293$$

$$= 0.02293\ x\ 100\%$$

$$= 2.293\ \%$$

Berdasarkan dari hasil perhitungan rata-rata ketidakseimbangan beban dengan perbedaan arus fasa beban 1.9 A, 1,9 A, 2 A didapatkan hasil rata-rata ketidakseimbangan sebesar 2.293%. Untuk beban tidak seimbang dengan rata-rata ketidakseimbangannya 2.293% pengaruhnya pada tegangan keluaran trafo hubungan teaser dapat dilihat pada gambar 4.8



Gambar 4.8 Perbedaan tegangan keluaran fasa R', S', T' pada rata-rata ketidakseimbangan 2.293%

Sumber: penulis

Analisis grafik

Dari ketiga grafik diatas ditarik kesimpulan semakin besar rata-rata ketidakseimbangan beban maka tegangan keluaran tiap fasa semakin besar pula.

4.3.2 Pengujian masing-masing fasa dibebani berbeda

V_1 = 380 V

Tabel 4.5 Data Hasil Pengujian masing-masing fasa dibebani berbeda

No	I_{load} (A)			$V_{out\ L\text{-}L}$ (V)			$V_{out\ L\text{-}N}$ (V)			$V_{out\ 0\text{-}0'}$ (V)
	I_R	I_S	I_T	$V_{R'\text{-}S'}$	$V_{S'\text{-}T'}$	$V_{R'\text{-}T'}$	$V_{R'\text{-}0'}$	$V_{S'\text{-}0'}$	$V_{T'\text{-}0'}$	$V_{0\text{-}0'}$
1	1,7	1,8	1,9	181,2	172	173,2	93,3	88,9	153,9	46,9
2	1,8	1,9	2	179,5	168,8	171,4	92,6	88	152,4	48,9

Dari data pada tabel 4.5 selanjutnya akan dilakukan perhitungan untuk mencari rata-rata ketidakseimbangan beban.

- Untuk beban tidak seimbang arus beban (1.7 A;1.8 A;1.9 A)

Dari data pengujian dicari arus rata-ratanya (Irata-rata), yaitu

$$Irata-rata = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{1.7 + 1.8 + 1.9}{3} = \frac{5.4}{3} = 1.8\ A$$

Dengan menggunakan persamaan koefisien a, b, dan c dapat diketahui besarnya, dimana besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang (I) sama besarnya dengan arus rata-rata ($Irata{-}rata$).

I_R = a x I maka,

$$a = \frac{I_R}{I} = \frac{1.7}{1.8} = 0.944$$

I_S= b x I maka,

$$b = \frac{I_S}{I} = \frac{1.8}{1.8} = 1$$

I_T = c x I maka,

$$c = \frac{I_T}{I} = \frac{1.9}{1.8} = 1.055$$

Rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam %) adalah:

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

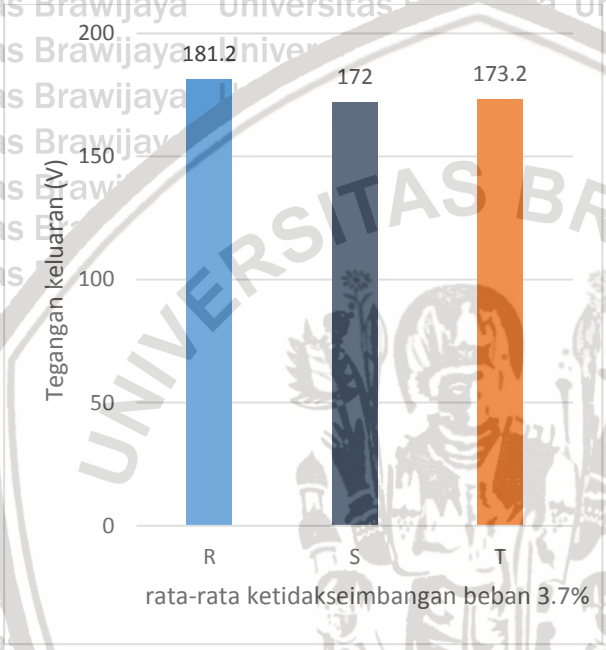
$$= \frac{\{|0.944-1| + |1-1| + |1.055-1|\}}{3}$$

$$= \frac{\{|-0.056| + |0| + |0.055|\}}{3} = \frac{\{0.056 + 0 + 0.055\}}{3} = \frac{0.111}{3} = 0.037$$

$$= 0.037\ x\ 100\%$$

$$= 3.7\ \%$$

Berdasarkan dari hasil perhitungan rata-rata ketidakseimbangan beban dengan perbedaan arus fasa beban 1.7 A; 1,8 A; 1,9 A didapatkan hasil rata-rata ketidakseimbangan sebesar 3.7%. Untuk beban tidak seimbang dengan rata-rata ketidakseimbangannya 3.7% pengaruhnya pada tegangan keluaran trafo hubungan teaser dapat dilihat pada gambar 4.9



Gambar 4.9 Perbedaan tegangan keluaran fasa R', S', T' pada rata-rata ketidakseimbangan 3.7%

Sumber: penulis

- Untuk beban tidak seimbang arus beban (1.8 A;1.9 A;2 A)

Dari data pengujian dicari arus rata-ratanya (Irata-rata), yaitu

$$Irata-rata = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{1.8 + 1.9 + 2}{3} = \frac{5.7}{3} = 1.9\ A$$

Dengan menggunakan persamaan koefisien a, b, dan c dapat diketahui besarnya, dimana besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang (I) sama besarnya dengan arus rata-rata ($Irata–rata$).

I_R = a x I maka,

$$a = \frac{I_R}{I} = \frac{1.8}{1.9} = 0.947$$

I_S= b x I maka,

$$b = \frac{I_S}{I} = \frac{1.9}{1.9} = 1$$

I_T = c x I maka,

$$c = \frac{I_T}{I} = \frac{2}{1.9} = 1.052$$

Rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam %) adalah:

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

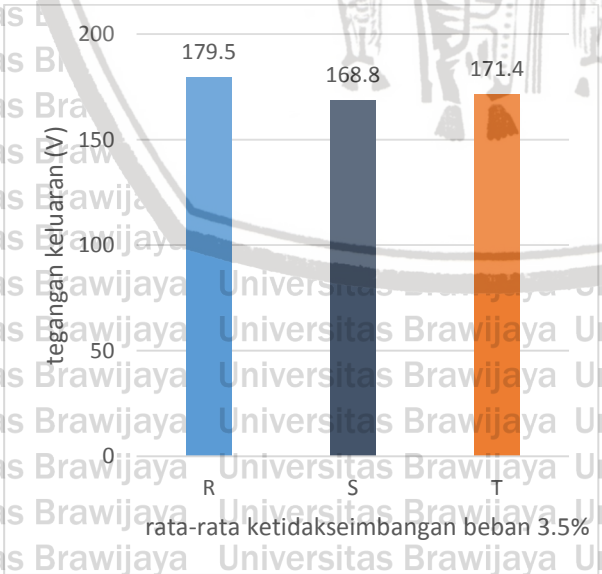
$$= \frac{\{|0.947-1| + |1-1| + |1.052-1|\}}{3}$$

$$= \frac{\{|-0.053| + |0| + |0.052|\}}{3} = \frac{\{0.053 + 0 + 0.052\}}{3} = \frac{0.105}{3} = 0.035$$

$$= 0.035\ x\ 100\%$$

$$= 3.5\ \%$$

Berdasarkan dari hasil perhitungan rata-rata ketidakseimbangan beban dengan perbedaan arus fasa beban 1.8 A; 1,9 A; 2 A didapatkan hasil rata-rata ketidakseimbangan sebesar 3.5%. Untuk beban tidak seimbang dengan rata-rata ketidakseimbangannya 3.5% pengaruhnya pada tegangan keluaran trafo hubungan teaser dapat dilihat pada gambar 4.10



Gambar 4.10 Perbedaan tegangan keluaran fasa R', S', T' pada rata-rata ketidakseimbangan 3.5%

Sumber: penulis

Analisis grafik

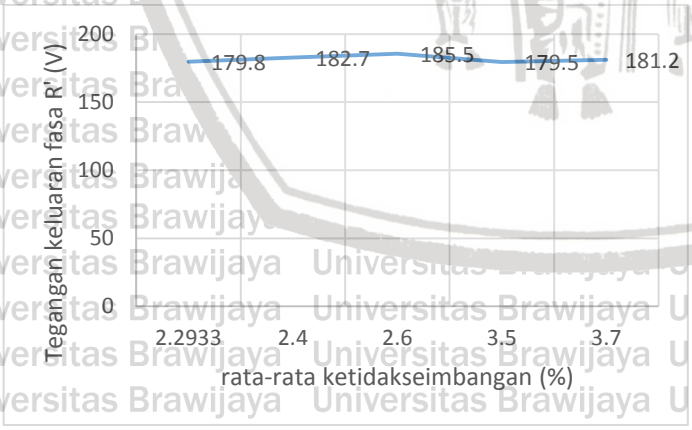
Dari kedua grafik diatas ditarik kesimpulan semakin besar rata-rata ketidakseimbangan beban maka tegangan keluaran tiap fasa cenderung konstan.

4.4 Analisis rata-rata ketidakseimbangan beban terhadap tegangan keluaran

Tabel 4.5 Data Arus beban, Rata-rata Ketidakseimbangan Beban dan tegangan keluaran

No	I_{load} (A)			rata-rata ketidakseimbangan beban (%)	$V_{out\ L\text{-}L}$ (V)			$V_{out\ 0\text{-}0'}$ (V)
	I_R	I_S	I_T		$V_{R\text{-}S}$	$V_{S\text{-}T}$	$V_{R\text{-}T}$	
1	1.9	1.9	2	2.2933	179.8	171.1	171	45.8
2	1.8	1.8	1.9	2.4	182.7	173.8	174.2	46
3	1.7	1.7	1.8	2.6	185.5	177.9	177.3	46.5
4	1.8	1.9	2	3.5	179.5	168.8	171.4	48.9
5	1.7	1.8	1.9	3.7	181.2	172	173.2	46.9

Berdasarkan data pada tabel 4.5 Telah didapatkan hasil perhitungan rata-rata ketidakseimbangan beban dan data tegangan keluaran transformator yang di dapatkan dari hasil pengujian, maka dari data tersebut dapat di gambarkan grafik hubungan antara tegangan keluaran tiap fasa terhadap rata-rata ketidakseimbangan beban.

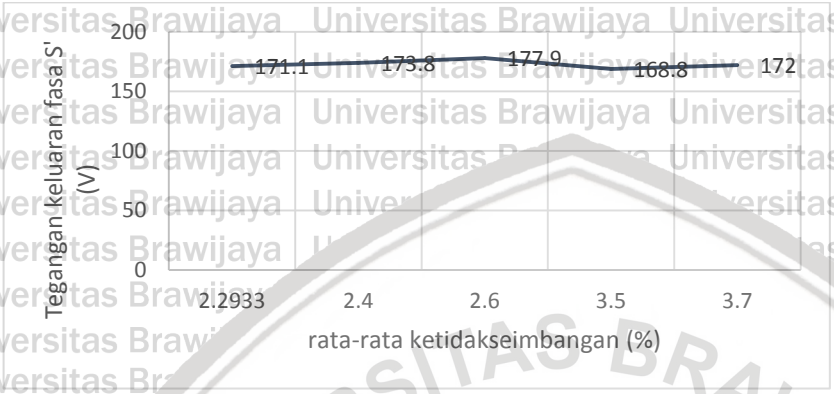


Gambar 4.11 Grafik hubungan tegangan keluaran fasa R' terhadap rata-rata ketidakseimbangan beban.

Sumber: penulis

Analisis grafik

- Dari gambar 4.11 disimpulkan semakin besar rata-rata ketidakseimbangan beban maka tegangan keluaran fasa R' cenderung konstan.

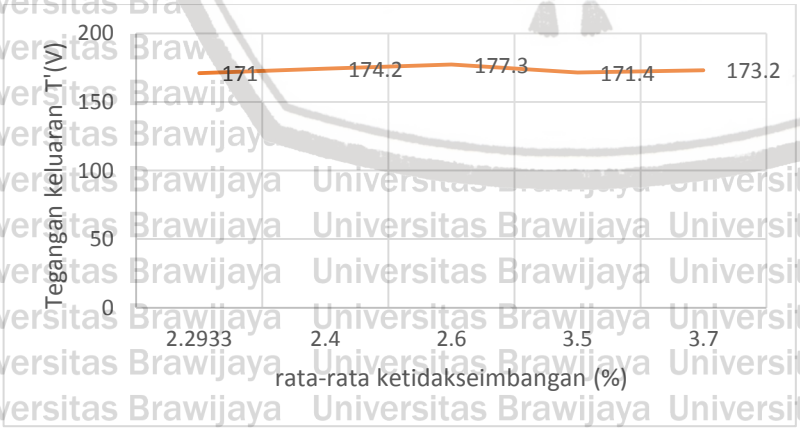


Gambar 4.12 Grafik hubungan tegangan keluaran fasa S' terhadap rata-rata ketidakseimbangan beban.

Sumber: penulis

Analisis grafik

- Dari gambar 4.12 disimpulkan semakin besar rata-rata ketidakseimbangan beban maka tegangan keluaran fasa S' cenderung konstan



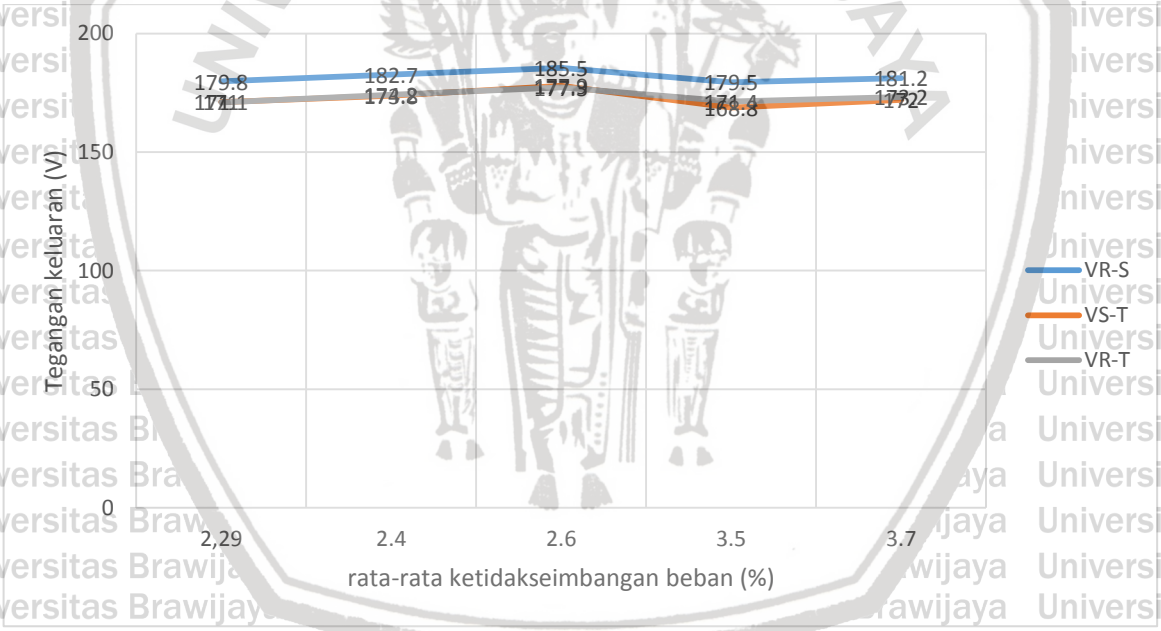
Gambar 4.13 Grafik hubungan tegangan keluaran fasa T' terhadap rata-rata ketidakseimbangan beban.

Sumber: penulis

Analisis grafik

- Dari gambar 4.13 disimpulkan semakin besar rata-rata ketidakseimbangan beban maka tegangan keluaran fasa T' cenderung konstan.

Setelah didapatkan grafik hubungan antara tegangan keluaran terhadap rata-rata ketidakseimbangan beban untuk masing-masing fasa, maka grafik akan di gabungkan untuk melihat perbedaan yang terjadi pada setiap kenaikan rata-rata ketidakseimbangan beban.



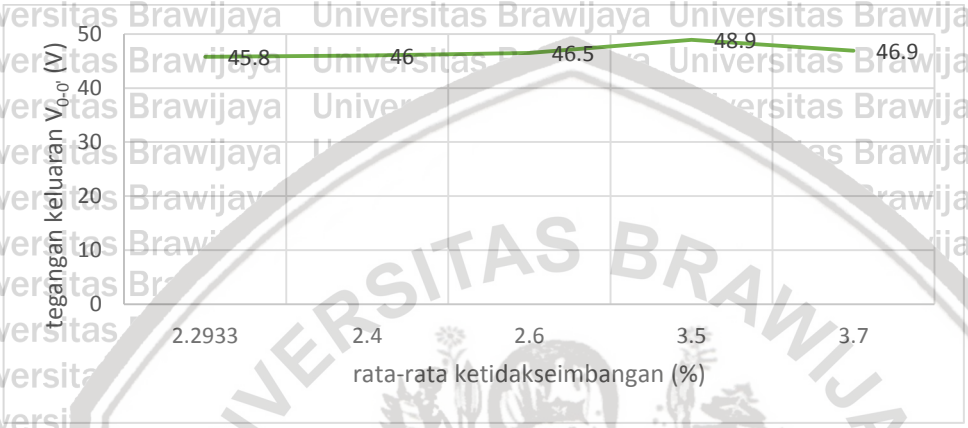
Gambar 4.14 Grafik hubungan antara rata-rata ketidakseimbangan dengan tegangan keluaran.

Sumber: penulis

Analisis grafik

- Dari Gambar 4.14 disimpulkan semakin besar rata-rata ketidakseimbangan beban maka tegangan keluaran tiap fasa cenderung konstan.

Adapun grafik rata-rata ketidakseimbangan beban terhadap tegangan keluaran $V_{0\text{-}0'}$ adalah sbb.



Gambar 4.14 Grafik hubungan tegangan keluaran $V_{0\text{-}0'}$ terhadap rata-rata ketidakseimbangan beban.

Sumber: penulis

Analisa grafik

- Dari gambar 4.13 disimpulkan semakin besar rata-rata ketidakseimbangan beban maka tegangan keluaran $V_{0\text{-}0'}$ cenderung konstan.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis pengaruh beban seimbang dan tidak seimbang terhadap tegangan keluaran transformator tiga fasa hubungan teaser, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Transformator hubungan teaser adalah hubungan khusus dari dua buah transformator satu fasa di mana transformator satu ditap 50% tegangan sisi primer dan sekundernya sementara transformator dua bertegangan (sisi primer dan sekunder) sebesar 0,866 dari transformator satu. Keduanya dihubungkan di mana tap tegangan 50% transformator satu terhubung ke sisi nol transformator dua (sisi primer dan sekunder). Kedua hubungan transformator tersebut lalu dicatu tegangan tiga fasa dan sisi keluarannya dihubung beban yang nantinya juga akan bertegangan keluar tiga fasa.
2. Pada saat dibebani dengan beban tiga fasa seimbang, semakin besar arus beban maka tegangan keluaran tiap fasa transformator hubungan teaser akan semakin menurun. Untuk nilai gradien tegangan tiap fasa sbb: untuk $V_{R'-S'}$, y=-41,667x+260,34 untuk $V_{S'-T'}$, y=-38,667x+248,74 dan untuk $V_{R'-T'}$, y=-39,667x+250,334
3. Pada saat dibebani dengan beban tiga fasa tidak seimbang, semakin besar rata-rata ketidakseimbangan beban maka tegangan keluara tiap fasanya cenderung konstan.

5.2 Saran

Berdasarkan pada hasil analisis yang telah dilakukan, saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah memasukkan unsur harmonisa dan memvariasikan beban agar hasil yang didapat lebih bervariasi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Chapman, Stephen J, *"Electric Machinery Fundamentals"*, 3rd Edition, Mc Graw – Hill Book Company, Singapore, 1999.

2. ELE B7 Power Systems Engineering, "Slide PPT *Symmetrical Components*"

3. Heri Purnomo, MT, Ir, "*Slide PPT Transformator 3 fasa untuk Mesin Elektrik ABB*"

4. Zuhal, *"Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya"*, Edisi ke-5, Penerbit Gramedia, Jakarta, 1995.

5. Stevenson, William D., Jr, "*Elements of Power Systems Analysis, 4th Edition*", 4th Edition, Mc Graw – Hill, US, 1994

6. Sumanto, MA, Drs., *"Teori Transformator"*, Penerbit Andi Offset, Yogyakarta, 1997.

7. Wijaya, Mochtar, *"Dasar-Dasar Mesin Listrik"*, Penerbit Djambatan, Jakarta, 2001.

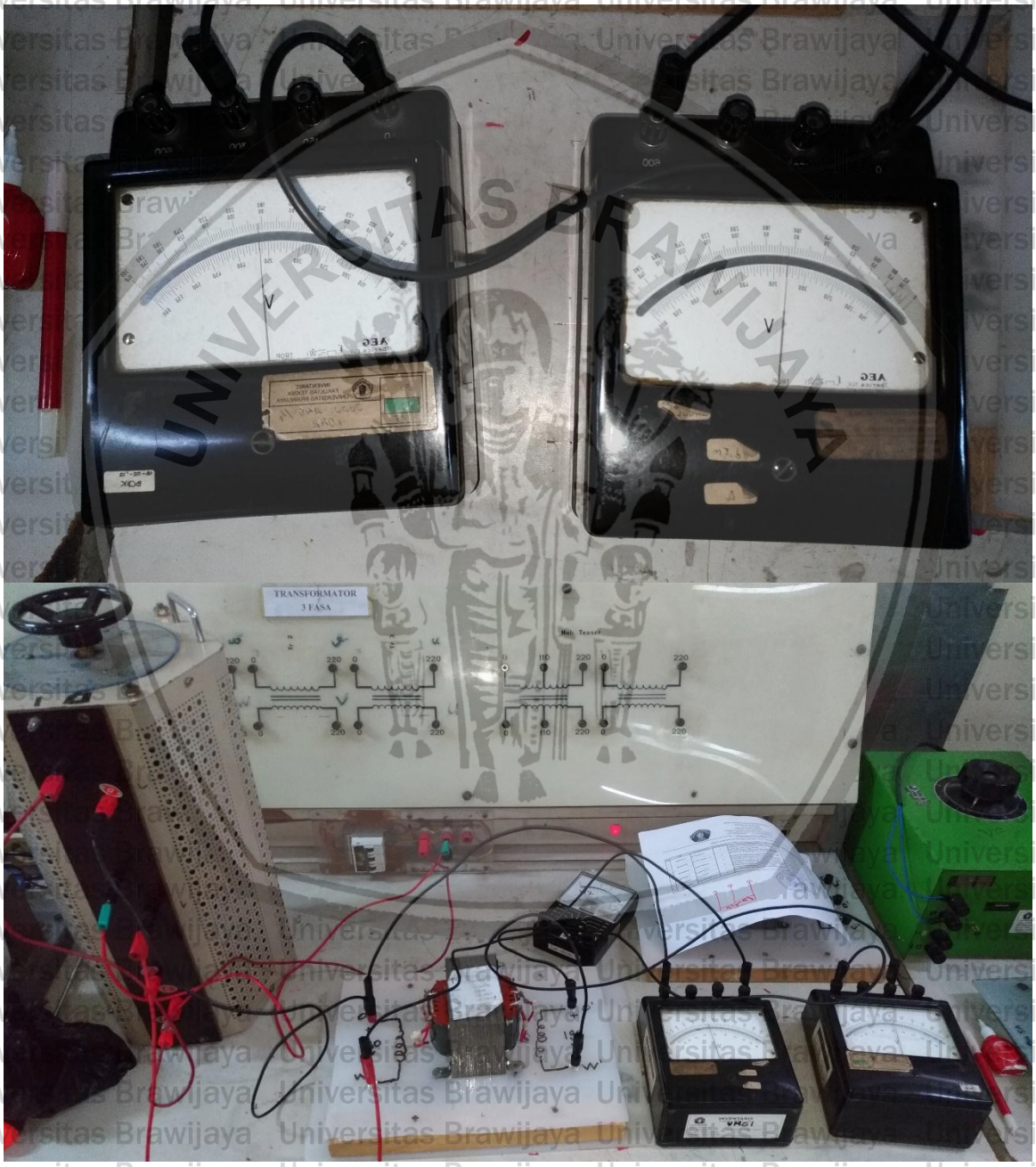
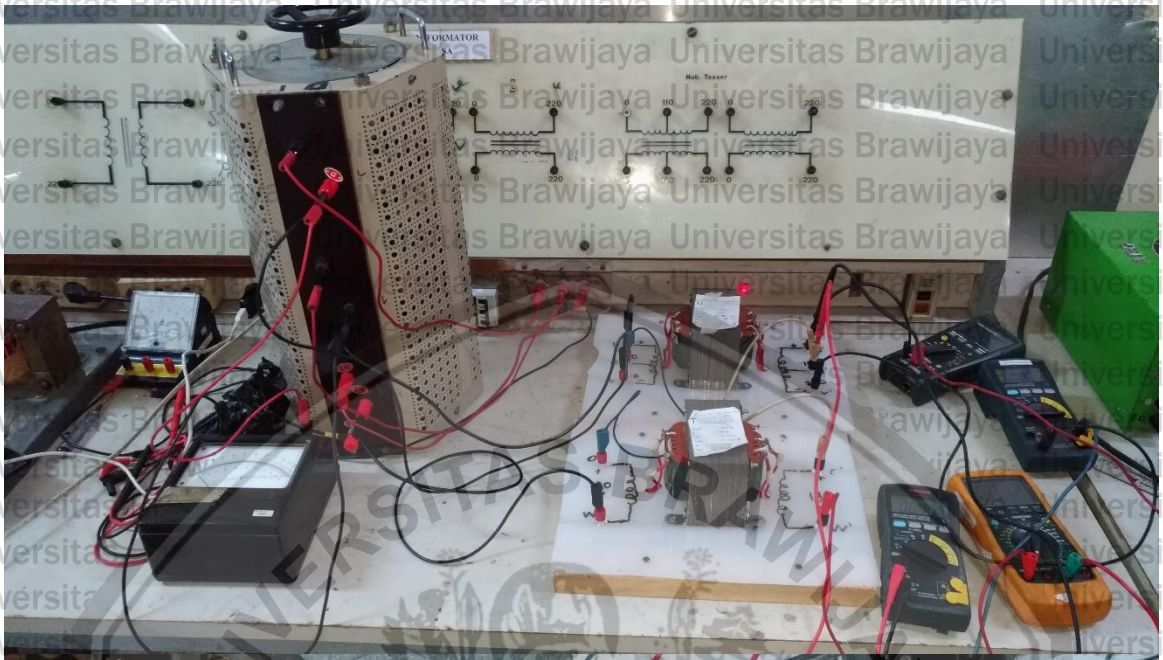
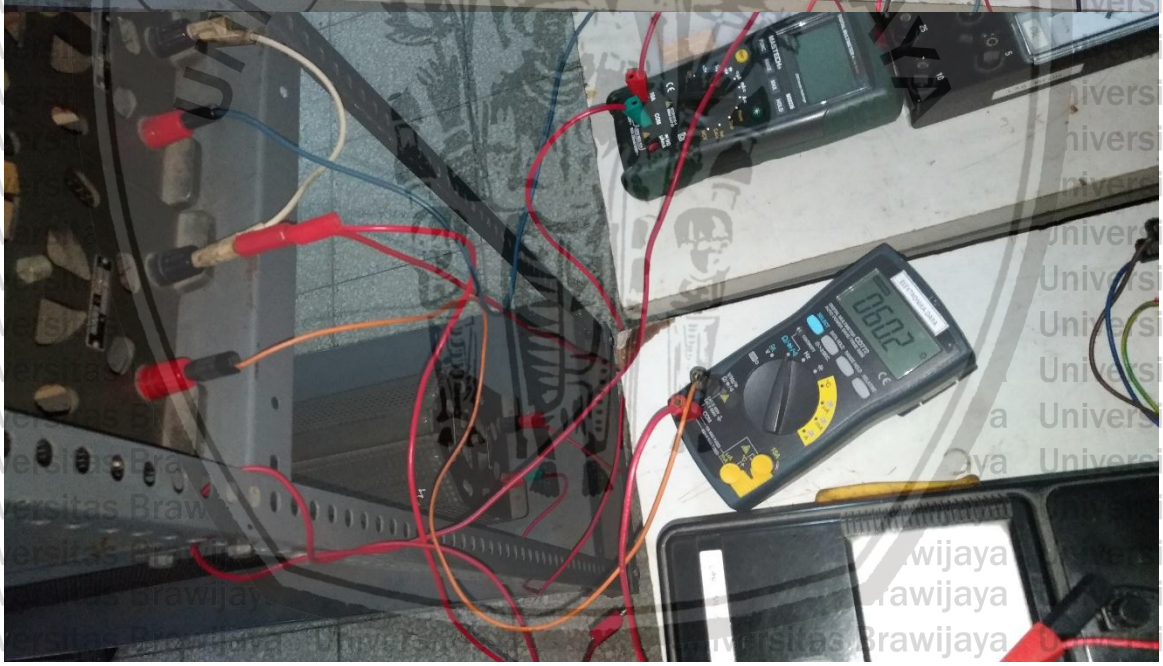
8. Hotdes Lumbanraja, "*Pengaruh Beban Tidak Seimbang Terhadap Efisiensi Transformator Tiga Fasa Hubungan Open-Delta"*, USU Repository © 2009, 2008.

9. Adi Sulaiman Nahayat, "*Perancangan dan Pembuatan Transformator Konverter Satu Fasa Menjadi Sumber Tiga Fasa"*, Universitas Jember, 2014

LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar Percobaan

Pengujian Tegangan keluaran



Pengujian Berbeban