

**STUDI ALIRAN DAYA TIGA FASA DENGAN MEMPERTIMBANGAN
TRASNFORMATOR DISTRIBUSI HUBUNG BELITAN *DELTA-WYE*
PADA PENYULANG KATU GARDU INDUK MENGGALA**

(Skripsi)

Oleh

RANI KUSUMA DEWI



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2016

ABSTRACT

THREE-PHASE POWER FLOW STUDY CONSIDERING DELTA-WYE DISTRIBUTION TRANSFORMER AT KATU FEEDER OF MENGGALA SUBSTATION

By

RANI KUSUMA DEWI

Power flow study is required to obtain information on voltage and power flow in power system. For an accurate power flow result, power system components need to be modeled as accurate as possible. Distribution transformer as a component in power system is modeled for sequence impedances in this study with connection windings of Dyn5 and Dyn11.

The developed model is then examined on two cases i.e. a simplified 21 buses and actual feeder of Katu Feeder in Menggala Substation by using ETAP software. Results show that different phase shift of the two windings does not lead to different voltage magnitude after power flow is solved. However, as expected, load phase angle is shifted in accordance with the amount of phase shift due to the transformer. Difference in power losses is observed to be insignificant between the two winding connections.

Having developed a three-phase transformer model for different winding connections, a conclusion can be drawn that the developed model as implemented in the software provide the results as expected.

Keyword : Power flow , Transformer connection windings of Dyn5 and Dyn11.

ABSTRAK

STUDI ALIRAN DAYA TIGA FASA DENGAN MEMPERTIMBANGKAN TRASNFORMATOR DISTRIBUSI HUBUNG BELITAN DELTA-WYE PADA PENYULANG KATU GARDU INDUK MENGGALA

Oleh

RANI KUSUMA DEWI

Studi aliran daya diperlukan untuk mendapatkan informasi mengenai tegangan dan aliran daya dalam sistem tenaga listrik. Untuk sebuah hasil aliran daya yang akurat, komponen sistem tenaga perlu dimodelkan seakurat mungkin. Tranformator distribusi sebagai sebuah komponen dalam sistem tenaga dimodelkan untuk urutan impedansi dalam penelitian ini dengan hubung belitan Dyn5 dan Dyn11.

Pengembangan model dalam skripsi ini selanjutnya diujikan pada dua kasus yaitu kasus sederhana 21 bus dan penyulang real dari penyulang Katu GI Menggala menggunakan perangkat lunak ETAP. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pergeseran fasa dari dua belitan tersebut tidak menyebabkan perbedaan besarnya tegangan setelah aliran daya diselesaikan. Namun, seperti yang diharapkan, sudut fasa beban bergeser sesuai dengan jumlah pergeseran fasa dari transformator. Rugi-rugi daya yang diamati memiliki hasil yang sama antara dua hubung belitan tersebut.

Setelah mengembangkan model transformator tiga fasa untuk hubung belitan yang berbeda, dapat disimpulkan bahwa pengembangan model seperti yang diterapkan dalam perangkat lunak tersebut memberikan hasil sesuai dengan yang diharapkan.

Kata kunci : Aliran daya, Transformator Hubung Belitan Dyn5 dan Dyn11.

**STUDI ALIRAN DAYA TIGA FASA DENGAN MEMPERTIMBANGAN
TRASNFORMATOR DISTRIBUSI HUBUNG BELITAN *DELTA-WYE*
PADA PENYULANG KATU GARDU INDUK MENGGALA**

**Oleh
RANI KUSUMA DEWI**

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2016

Judul Skripsi

: **STUDI ALIRAN DAYA TIGA FASA DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN TRANSFORMATOR
DISTRIBUSI HUBUNG BELITAN DELTA-WYE
PADA PENYULANG KATU GARDU INDUK
MENGGALA**

Nama Mahasiswa

: **Rani Kusuma Dewi**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1115031069

Jurusan

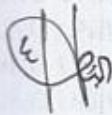
: Teknik Elektro

Fakultas

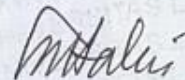
: Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

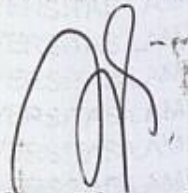


Herri Gusmedi, S.T., M.T.
NIP 19710810 199903 1 003



Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc.
NIP 19720923 200012 1 002

2. Ketua Jurusan Teknik Elektro



Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.
NIP 19731128 199903 1 005

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: **Herri Gusmedi, S.T., M.T.**



Sekretaris

: **Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc.**

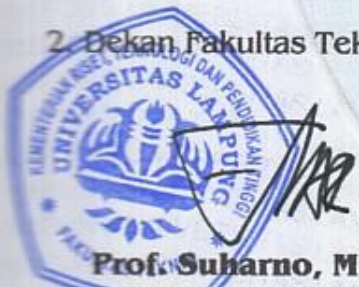


Penguji

Bukan Pembimbing : **Osea Zebua, S.T., M.T.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D.

NIP 19620717 198703 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 11 Agustus 2016

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan di dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 22 Agustus 2016



Rani Kusuma Dewi
NPM. 1115031069

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 29 Agustus 1993. Penulis merupakan anak kedua dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Edi Kusnaldi. dan Ibu Yuniarti.

Riwayat pendidikan penulis yaitu TK Diniyah Putri, pada tahun 1998 hingga tahun 1999, SDN 1 Bernung, Pesawaran, pada tahun 1999 hingga tahun 2007, SMPN 14 Bandar Lampung pada tahun 2007 hingga tahun 2008, dan SMAN 7 Bandar Lampung pada tahun 2008 hingga tahun 2011.

Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung, pada tahun 2011 melalui Ujian Mandiri (UM). Selama menjadi mahasiswa, penulis berkesempatan menjadi asisten dosen mata kuliah Material Elektroteknik dan Etika Profesi, serta menjadi asisten praktikum Transmisi Daya Listrik, Sistem Proteksi dan Analisa Sistem Tenaga. Penulis juga terdaftar menjadi Kepala Dept. Sosial dan Ekonomi Himatro Unila Periode 2013 – 2014. Penulis melaksanakan kerja praktik di PT Energi Management Indonesia (EMI) pada bulan Oktober - November 2014 dan mengambil judul “ Karakteristik Kualitas Daya Listrik pada Gedung E Fakultas Teknik Universitas Lampung ”



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

KARYA INI KUPERSEMBAHAN
UNTUK

Ayah Tercinta dan Ibu Tercinta

Edi Kusnaldi dan Yuniarti

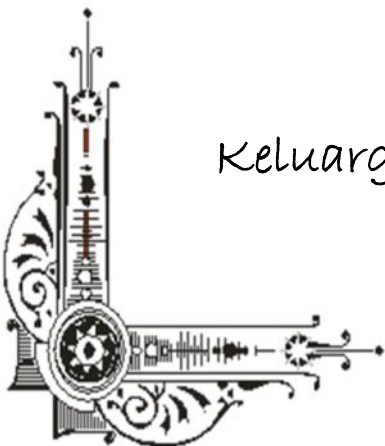
Kakak dan Adikku tersayang

Jaka Kesuma, S.T.

Albar Rifaldi Kusuma

Anisa Haq

Keluarga Besar, Dosen, Teman dan
Almamater





MOTTO

“Ilmu itu lebih baik daripada harta. Ilmu menjaga engkau dan engkau menjaga harta. Ilmu itu penghukum (hakim) dan harta terhukum. Harta itu kurang apabila dibelanjakan tapi ilmu bertambah bila dibelanjakan.”

(Ali bin Abi Talib RA)

“Mencari ilmu itu wajib bagi setiap muslim laki-laki maupun perempuan.”

(HR. Ibnu Abdil Barr)

“Hidup itu pilihan, harus dijalani bukan untuk diratapi. Lakukan yang terbaik maka hasil yang diraih pun akan baik.”

(Rani Kusuma Dewi)

SANWACANA

Segala puji bagi Allah SWT atas nikmat kesehatan dan kesempatan yang diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian Tugas Akhir ini. Sholawat serta salam selalu penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW sebagai suri teladan bagi umat manusia.

Tugas Akhir dengan judul “*Studi Aliran Daya Tiga Fasa dengan Mempertimbangkam Transformator Distribusi Hubung Belitan Delta-Wye pada Penyulang Katu Gardu Induk Menggala.*” ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Suharno, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Ing Ardian Ulvan, S.T., M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung..
3. Bapak Herri Gusmedi, S.T., M.T. selaku Pembimbing Utama yang selalu memberikan bimbingan, arahan, dan pandangan hidup kepada penulis di setiap kesempatan dengan baik dan ramah.

4. Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc. selaku Pembimbing Pendamping yang telah memberikan bimbingan, arahan dan nasehat kepada penulis dengan baik dan ramah.
5. Bapak Osea Zebua, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik yang membangun serta saran yang sangat baik kepada penulis dalam mengerjakan skripsi ini
6. Segenap Dosen di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat, wawasan, dan pengalaman yang sangat berarti bagi penulis.
7. Segenap Staff di Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik yang telah membantu penulis dalam hal administrasi terutama Mbak Dian Rustiningsih.
8. Ayah dan Ibu tercinta, Bapak Edi Kusnaldi dan Ibu Yuniarti. Kakak dan Adik tersayang, Jaka Kesuma, S.T., Albar Rifaldi Kusuma dan Anisa Haq, atas kasih sayang, cinta, dukungan moril, serta doa yang selalu diberikan kepada penulis.
9. Sepupu tercinta Chantika Anzarini yang selalu membantu penulis di setiap saat.
10. Segenap Penghuni Laboratorium Sistem Tenaga Elektrik, Mas Rahman, K'Abe, K' Afrizal, K' Agung, K' Aji, K' Seto, rekan Tim PLP (Pak Lukman *Project*) Fikri, Gusmau, Fanny, Richard, Alex, Bang Binsar, K' Rifqi, Master Beta, K' Toufik, Chandra dan Riza
11. Ten Sister Reta, Timbil, Nida, Supinah, Teteh, Inot, Enti, Eza dan Umi, yang senantiasa memberikan dukungan, doa dan canda gurau selama menjalani perkuliahan hingga akhir ini.

12. My Best Friend Devina Noreen dan Ajeng Mustika yang selalu bersama dengan penulis sejak SMP, yang selalu memberi dukungan dan doa untuk penulis hingga penulis menyelesaikan tugas akhir ini.
13. My Best Partener Arif Muliawan yang selalu bersama penulis dan selalu memberikan dukungan, doa dan bantuannya kepada penulis.
14. Partner Terbaik Mohamad Fikri Ibrahim , Fanny Simatupang, Richard Manuel yang selalu bersama baik suka dan cita dalam mengerjakan tugas akhir.
15. Eleveengineer Aditya RE, Adit hartanto, Adit Pratama, Agi , Aji, Alex, Alin, Anang, Andi, Andreas, Annida, iwan, (Alm) Arief, Arrosyiq, choirudin, Darma, Deden, Denny, Dirya, Iyon, Edi, Eza, Fadil, Fani, Faris, Fenti, Farid, Fikri, Havif, Pras, Najib, Habib, Bang Petrus, Rei, Gusmau, Gata, Nurhayati, Vina, Yunita, Rina, Ryan, Grienda, Friar , Hajar, Hajri, Reza, Restu, Randi, Abidin, Bastian, Oka, Maryo, Jerri, Rejani, Sigit,Yoga, Yazir, Imam, Made, Richard dan Frisky.
16. Penghuni Lab konversi,Bang Habib, Bang Iw, Denny dan mas Adit yang bersedia menjadi tempat curhat , canda gurau dan memberikan pencerahan.
17. Penghuni Lab Tegangan Tinggi , Bung Jeri, Maryo, Bang Hajri, Andreas, Friar yang bersedia menjadi tempat singgah, curhat dan membantu dalam segala hal.
18. Semua Pihak yang membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Penulis mengharapkan kritik dan saran konstruktif dari semua pihak demi kemajuan bersama. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 22 Agustus 2016

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI	xiii
-------------------------	------

DAFTAR GAMBAR	xv
----------------------------	----

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan	2
1.3. Rumusan Masalah	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Manfaat	4
1.6. Hipotesis	4
1.7. Sistematika Penulisan	5

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Distribusi Tenaga Listrik	6
2.2. Aliran Daya	7
2.3. Transformator	10
2.3.1 Prinsip Kerja Transformator	11
2.3.2 Pemodelan Transformator	12
2.3.3 Belitan Transformator Tiga Fasa.....	13

2.3.4 Vektor Group Transformator Hubung Belitan <i>Delta-wye</i>	17
--	----

2.4. Perangkat Lunak <i>ETAP</i>	24
--	----

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat	20
-----------------------------	----

3.2. Alat dan Bahan	20
---------------------------	----

3.3. Metode Penelitian.....	20
-----------------------------	----

3.4. Diagram Alir Penelitian	23
------------------------------------	----

3.5. Langkah Membuat Program	24
------------------------------------	----

3.6. Diagram Alir Program	25
---------------------------------	----

3.7. Metode Perhitungan.....	26
------------------------------	----

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Data Penyulang Katu GI Menggala	30
--	----

4.2. Skenario Simulasi	30
------------------------------	----

4.3. Hasil Simulasi	31
---------------------------	----

4.3.1. Hasil Simulasi dengan Menggunakan Transformator Hubung Belitan <i>Dyn5</i> dan <i>Dyn11</i> pada Kasus 21 Bus	32
---	----

4.3.2. Hasil Simulasi dengan Menggunakan Transformator Hubung Belitan <i>Dyn5</i> dan <i>Dyn11</i> pada Penyulang Katu GI Menggala ...	46
---	----

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan	75
-----------------------	----

5.2. Saran	76
------------------	----

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN A

LAMPIRAN B

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1. Gambar 2.1. Gardu Distribusi	6
2. Gambar 2.2. Diagram Jaringan Distribusi dengan Transformator Dyn .	7
3. Gambar 2.3. Sistem Distribusi ntara Dua Bus.....	9
4. Gambar 2.4. Aliran Daya pada Sistem Distribusi Dua Bus	10
5. Gambar 2.5. Rangkaian Transfomator	11
6. Gambar 2.6. Model Dasar Transformator dengan Rasio Tap	13
7. Gambar 2.7. Konstruksi Transformator tiga Fasa	13
8. Gambar 2.8. Rangkaian Hubung Belitan <i>Wye</i>	14
9. Gambar 2.9. Arah Vektor Tegangan Hubung Belitan <i>Wye</i>	14
10. Gambar 2.10. Rangkaian Hubung Belitan <i>Delta</i>	15
11. Gambar 2.11. Arah Vektor Arus Terhubung <i>Delta</i>	16
12. Gambar 2.12. Vektor Group / jam trafo	17
13. Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian.....	23
14. Gambar 3.2. Diagram Alir Pembuatan Program.....	25
15. Gambar 4.1. Profil Tegangan pada Fasa A (L-L) dengan menggunakan transformator hubung belitan <i>Dyn5</i> dan <i>Dyn11</i>	32
16. Gambar 4.2. Profil Tegangan pada Fasa B (L-L) dengan menggunakan transformator hubung belitan <i>Dyn5</i> dan <i>Dyn11</i>	33

17. Gambar 4.3. Profil Tegangan pada Fasa C (L-L) dengan menggunakan transformator hubung belitan <i>Dyn5</i> dan <i>Dyn11</i>	34
18. Gambar 4.4. Sudut Tegangan pada Fasa A (L-L) dengan menggunakan transformator hubung belitan <i>Dyn5</i> dan <i>Dyn11</i>	35
19. Gambar 4.5. Sudut Tegangan pada Fasa B (L-L) dengan menggunakan transformator hubung belitan <i>Dyn5</i> dan <i>Dyn11</i>	36
20. Gambar 4.6. Sudut Tegangan pada Fasa C (L-L) dengan menggunakan transformator hubung belitan <i>Dyn5</i> dan <i>Dyn11</i>	37
21. Gambar 4.7. Profil Tegangan pada Fasa A (L-N) dengan menggunakan transformator hubung belitan <i>Dyn5</i> dan <i>Dyn11</i>	38
22. Gambar 4.8. Profil Tegangan pada Fasa B (L-N) dengan menggunakan transformator hubung belitan <i>Dyn5</i> dan <i>Dyn11</i>	39
23. Gambar 4.9. Profil Tegangan pada Fasa C (L-N) dengan menggunakan transformator hubung belitan <i>Dyn5</i> dan <i>Dyn11</i>	40
24. Gambar 4.10. Sudut Tegangan pada Fasa A (L-N) dengan menggunakan transformator hubung belitan <i>Dyn5</i> dan <i>Dyn11</i>	41
25. Gambar 4.11. Sudut Tegangan pada Fasa B (L-N) dengan menggunakan transformator hubung belitan <i>Dyn5</i> dan <i>Dyn11</i>	42
26. Gambar 4.12. Sudut Tegangan pada Fasa C (L-N) dengan menggunakan transformator hubung belitan <i>Dyn5</i> dan <i>Dyn11</i>	43
27. Gambar 4.13. Daya Aktif Setiap Fasa <i>Line to Line</i> dan <i>Line to Netral</i> dengan menggunakan transformator hubung belitan <i>Dyn5</i> dan <i>Dyn11</i> ...	44
28. Gambar 4.14 Daya Reaktif Setiap Fasa <i>Line to Line</i> dan <i>Line to Netral</i> dengan menggunakan transformator hubung belitan <i>Dyn5</i> dan <i>Dyn11</i> ...	45

29. Gambar 4.15. Profil Tegangan pada Fasa A (L-L) dengan menggunakan transformator hubung belitan <i>Dyn5</i> dan <i>Dyn11</i>	47
30. Gambar 4.16. Profil Tegangan pada Fasa B (L-L) dengan menggunakan transformator hubung belitan <i>Dyn5</i> dan <i>Dyn11</i>	49
31. Gambar 4.17. Profil Tegangan pada Fasa C (L-L) dengan menggunakan transformator hubung belitan <i>Dyn5</i> dan <i>Dyn11</i>	51
32. Gambar 4.18. Sudut Tegangan pada Fasa A (L-L) dengan menggunakan transformator hubung belitan <i>Dyn5</i> dan <i>Dyn11</i>	53
33. Gambar 4.19. Sudut Tegangan pada Fasa B (L-L) dengan menggunakan transformator hubung belitan <i>Dyn5</i> dan <i>Dyn11</i>	55
34. Gambar 4.20. Sudut Tegangan pada Fasa C (L-L) dengan menggunakan transformator hubung belitan <i>Dyn5</i> dan <i>Dyn11</i>	57
35. Gambar 4.21. Profil Tegangan pada Fasa A (L-N) dengan menggunakan transformator hubung belitan <i>Dyn5</i> dan <i>Dyn11</i>	59
36. Gambar 4.22. Profil Tegangan pada Fasa B (L-N) dengan menggunakan transformator hubung belitan <i>Dyn5</i> dan <i>Dyn11</i>	61
37. Gambar 4.23. Profil Tegangan pada Fasa C (L-N) dengan menggunakan transformator hubung belitan <i>Dyn5</i> dan <i>Dyn11</i>	63
38. Gambar 4.24. Sudut Tegangan pada Fasa A (L-N) dengan menggunakan transformator hubung belitan <i>Dyn5</i> dan <i>Dyn11</i>	65
39. Gambar 4.25. Sudut Tegangan pada Fasa B (L-N) dengan menggunakan transformator hubung belitan <i>Dyn5</i> dan <i>Dyn11</i>	67
40. Gambar 4.26. Sudut Tegangan pada Fasa C (L-N) dengan menggunakan transformator hubung belitan <i>Dyn5</i> dan <i>Dyn11</i>	69

41. Gambar 4.27. Daya Aktif Setiap Fasa *Line to Line* dan *Line to Netral*
dengan menggunakan transformator hubung belitan *Dyn5* dan *Dyn11*.....71
42. Gambar 4.28 Daya Reaktif Setiap Fasa *Line to Line* dan *Line to Netral*
dengan menggunakan transformator hubung belitan *Dyn5* dan *Dyn11*.....73

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan energi listrik sangatlah penting pada era modern ini, baik dikawasan industri maupun dikalangan konsumen. Sistem pada jaringan distribusi tenaga listrik sangat besar perannya untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik. Bagian dari sistem tenaga yang paling dekat dengan konsumen adalah sistem distribusi yang merupakan suatu penyalur energi listrik dari pusat pembangkit sampai ke konsumen.

Permasalah dalam sistem tenaga dapat diselesaikan dengan studi aliran daya. Studi aliran daya merupakan studi yang dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai aliran daya atau tegangan sistem. Dengan melakukan studi aliran daya ini kita dapat mengetahui nilai daya aktif, daya reaktif, tegangan, dan sudut dari setiap fasa serta rugi-rugi yang mengalir pada sistem. Transformator berperan sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Transformator merupakan salah satu alat listrik yang banyak digunakan dalam jaringan transmisi dan jaringan distribusi tenaga listrik. Transformator berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan tegangan. Pada umumnya Transformator terdiri dari dua buah belitan yaitu belitan disisi

primer dan sisi sekunder. Rasio belitan kedua Transformator tersebut dapat menentukan besar rasio tegangan yang dihasilkan.

Transformator pada jaringan transmisi dan jaringan distribusi memiliki konfigurasi belitan delta dan wye. Adapun konfigurasi belitan tersebut adalah konfigurasi delta-delta, delta-wye, wye-wye , dan wye-delta. Pada umumnya transformator dilengkapi dengan tap changer yang merupakan alat perubah perbandingan tranformator untuk mendapatkan tegangan pada sisi sekunder yang lebih baik dari tegangan sisi primer yang berubah-ubah.

Pada tugas akhir ini penulis melakukan studi aliran daya tiga fasa pada jaringan distribusi dengan mempertimbangkan nilai tegangan setiap fasa, sudut tegangan setiap fasa, daya aktif dan daya reaktif ssetiap fasa pada transformator hubung belitan *delta-wye grounding (DYn)*. Transformator distribusi yang akan diteliti pada penelitian kali ini adalah tranformator yang memiliki hubung belitan dan vektor grup *Dyn5* dengan membandingkan tranformator yang memiliki hubung belitan dan vektor grup *Dyn11* dengan menggunakan *software ETAP*.

1.2 Tujuan

Penulisan tugas akhir ini memiliki beberapa tujuan yaitu:

1. Melakukan studi aliran daya tiga fasa dengan mempertimbangkan transformator hubung belitan *delta-wye*.
2. Melakukan pemodelan pada Transformator hubung belitan *Delta-Wye grounding* pada jaringan distribusi.

3. Membandingkan nilai tegangan , sudut tegangan, daya aktif dan daya reaktif setiap fasa pada trnsformator hubung belitan *Dyn5* dan *Dyn11*.

1.3 Rumusan Masalah

Dalam melakukan penelitian kali ini diperlukan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perbedaan dan pengaruh transformator hubung belitan *Dyn5* dengan transformator hubung belitan *Dyn11*.
2. Bagaimana perubahan tegangan, sudut tegangan, daya aktif dan daya reaktif setiap fasa ketika menggunakan transformator hubung belitan *Dyn5* dan *Dyn11*.
3. Membandingkan nilai tegangan, sudut tegangan, daya aktif dan daya reaktif setiap fasa pada kedua transformator hubung belitan *Dyn5* dan *Dyn11*.

1.4 Batasan Masalah

Tugas akhir ini memiliki batasan masalah, adapun batasan masalah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Tugas akhir ini hanya membahas bagaimana aliran daya pada pemodelan transformator dengan hubung belitan *Dyn5* dan *Dyn11* pada sistem jaringan distribusi.
2. Tugas akhir ini hanya membahas perbedaan nilai tegangan, sudut tegangan, daya aktif dan daya reaktif setiap fasa pada transformator hubung belitan *Dyn5* dan *Dyn11*.

3. Tugas akhir ini tidak membahas tentang konstruksi transformator distribusi.
4. Tugas akhir ini tidak membahas tentang gangguan yang terjadi pada sistem jaringan distribusi.

1.5 Manfaat

Tugas akhir ini memiliki beberapa manfaat yang dapat diperoleh yaitu:

1. Dapat mengetahui nilai tegangan, sudut tegangan, daya aktif dan daya reaktif setiap fasa yang dihasilkan dari transformator yang memiliki hubungan belitan *Dyn5* dan *Dyn11*.
2. Dapat mengetahui perbedaan transformator yang memiliki hubungan belitan *Dyn5* dan *Dyn11*.
3. Mahasiswa lain dapat mengembangkan tugas akhir ini agar lebih baik dan sempurna.

1.6 Hipotesis

Pada program yang dibuat ini menggunakan *software ETAP (Electrical Transient and Analysis Program)* yang memiliki tujuan untuk melihat perbedaan penggunaan transformator hubungan belitan *Dyn5* dengan transformator hubungan belitan *Dyn11*. Program yang dibuat kali ini untuk melihat hasil yang akan dibandingkan dengan kedua transformator ini adalah nilai tegangan, sudut tegangan, daya aktif dan daya reaktif setiap fasa. Penelitian kali ini dilakukan terlebih dahulu dengan menggunakan kasus yang sederhana, kemudian melakukan penelitian pada kasus Penyulang Katu Gardu Induk Menggala. Untuk menganalisa hasil lebih lanjut diperlukan data yang

berhubungan dengan data transformator seperti nilai tahanan, dan jenis hubung belitan *Dyn5* dan *Dyn11*

1.7 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini dibagi dalam lima bab dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Pada bab ini berisikan tentang latar belakang masalah, tujuan, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat, hipotesis serta sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisikan tentang teori pendukung yang diperlukan dalam penulisan tugas akhir ini.

BAB III. METODE PENELITIAN

Pada bab ini berisikan tentang waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan, metode yang digunakan dan diagram penelitian yang digunakan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisikan mengenai hasil dan pembahasan dari penelitian atau analisis yang telah dilakukan.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini yang merupakan bab terakhir ini berisikan tentang kesimpulan dan saran.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

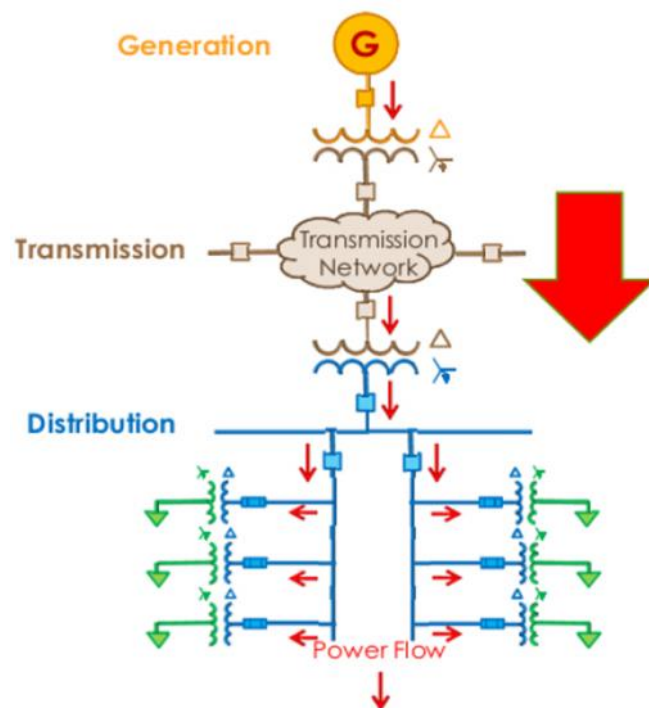
Sistem distribusi tenaga listrik merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar sampai ke konsumen. Sehingga fungsi distribusi tenaga listrik adalah sebagai pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat dan merupakan bagian sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban dilayani langsung melalui jaringan distribusi. Sistem distribusi terbagi 2 bagian :

- a. Sistem Distribusi Tegangan Menengah (1 Kv – 35 K)
- b. Sistem Distribusi Tegangan sisi sekunder (< 1Kv)



Gambar 2.1 Gardu Distribusi

Persoalan yang muncul pada sistem tenaga listrik antara lain aliran daya, operasi ekonomik, gangguan hubung singkat, kestabilan sistem, pengaturan daya aktif, frekuensi, pelepasan beban, pengetanahan netral sistem, pengamanan sistem arus lebih, tegangan lebih, keandalan dan interkoneksi sistem tenaga. Kali ini yang akan dibahas adalah aliran daya pada sistem distribusi



Gambar 2.2. Diagram Jaringan Distribusi dengan Transformator Dyn.

2.2 Aliran daya

Analisis aliran daya merupakan tahap awal bagi analisis selanjutnya dalam sistem tenaga. Persoalan aliran daya sesungguhnya adalah penghitungan atau komputasi magnitude tegangan dan sudut fasa pada masing-masing bus pada suatu sistem tenaga dalam keadaan tunak dan tiga fasa setimbang. Dari

perhitungan ini juga diperoleh aliran daya aktif dan reaktif pada peralatan seperti saluran transmisi dan transformator, juga rugi-rugi peralatan bisa dihitung. Karena operasi setimbang diasumsikan dalam kajian aliran daya, maka rangkaian urutan positif digunakan untuk analisis ini.

Dalam penyelesaian aliran daya, nilai-nilai elemen dari jaringan tenaga listrik diberikan dalam satuan per-unit. Meskipun demikian, solusi selalu dinyatakan dalam satuan yang beragam dimana satuan tegangan dalam per-unit, sementara daya dalam satuan kVA atau MVA. Data yang diperlukan untuk persoalan aliran daya bisa jadi dalam bentuk peta sistem dan tabel data untuk komponen jaringan yang terkait. Seringkali, struktur jaringan diberikan dalam bentuk one line diagram.

Dalam studi aliran daya seluruh bus yang terdapat pada suatu jaringan diklasifikasikan menjadi :

1. *Slack Bus* atau Bus Referensi (Bus SL).

Slack bus sering juga disebut dengan swing bus atau rel berayun. Adapun besaran yang diketahui dari bus ini adalah harga skalar tegangan $|V|$ dan sudut fasanya θ . Besaran yang dapat dihitung dari bus ini adalah daya aktif (P) dan daya reaktif (Q).

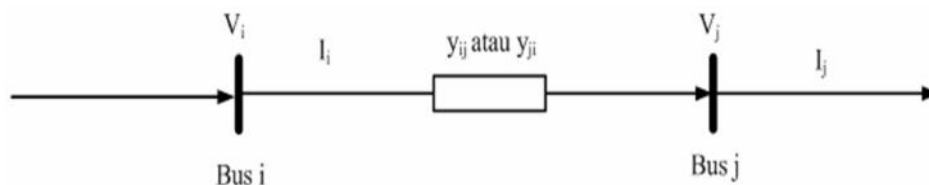
2. *Voltage Controlled Bus* atau Bus Generator (Bus PV)

Pada bus ini tegangan selalu dibuat konstan. Besaran yang dapat dihitung dari bus ini adalah daya reaktif (Q) dan sudut fasanya θ .

3. Load Bus atau Bus Beban (Bus PQ)

Setiap bus yang tidak memiliki generator disebut dengan load bus. Pada bus ini daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) diketahui sehingga sering juga disebut Bus PQ. Daya aktif dan reaktif yang disuplai ke dalam sistem tenaga adalah mempunyai nilai positif, sementara daya aktif dan reaktif yang dikonsumsi bernilai negatif. Besaran yang dapat dihitung pada bus ini adalah harga scalar tegangan $|V|$ dan sudut fasanya θ .^[4]

Langkah awal dalam menyelesaikan persamaan aliran daya yaitu dengan membentuk matriks admitansi Y_{bus} . Bentuk persamaan yang akan digunakan adalah persamaan dalam bentuk rectangular. Berikut adalah persamaan admitansi yang digunakan :



Gambar 2.3. Sistem Distribusi antara Dua Bus

$$y_{ij} = \frac{1}{z_{ij}} = \frac{1}{r_{ij} + jx_{ij}} \quad (1)$$

Sedangkan arus pada bus I pada gambar diatas adalah :

$$I_i = \sum_{j \in i}^n V_i \cdot Y_{ij} \quad (2)$$

Dimana :

$$Y_{ij} = G_{ij} + B_{ij} \quad (3)$$

Sedangkan tegangan kompleks pada bus i dalam bentuk rectangular yaitu :

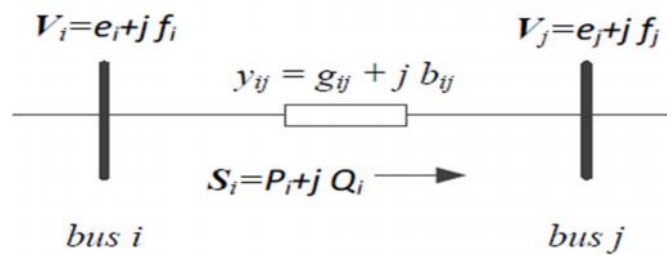
$$V_i = e_i + jf_i \quad (4)$$

Sehingga persamaan daya pada bus I pada gambar diatas adalah :

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (5)$$

$$S_i = V_i \sum_{j \in i}^n (V_j \cdot Y_{ij})^* \quad (6)$$

$$P_i + jQ_i = (e_i + jf_i) \sum_{j \in i} (G_{ij} - j \cdot B_{ij})(e_i - jf_i) \quad (7)$$



Gambar 2.4. Aliran Daya pada Sistem Distribusi Dua Bus

Untuk PQ bus :

$$P_i^{rect} = e_i \sum_{j \in i}^n (G_{ij} e_j - B_{ij} f_j) + f_i \sum_{j \in i}^n (G_{ij} f_j + B_{ij} e_j) \quad (8)$$

$$Q_i^{rect} = f_i \sum_{j \in i}^n (G_{ij} e_j - B_{ij} f_j) - e_i \sum_{j \in i}^n (G_{ij} f_j + B_{ij} e_j) \quad (9)$$

Sedangkan untuk PV bus, nilai Q_i diganti dengan V_i yaitu :

$$V_i^{rect} = e_i^2 + f_i^2 \quad (11)$$

2.3 Transformator

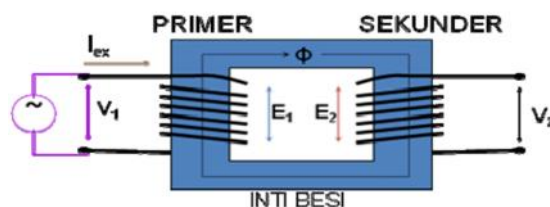
Transformator merupakan suatu alat listrik statis yang dapat mengubah energi listrik bolak-balik (arus dan tegangan) dari satu atau lebih rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lainnya dengan nilai frekuensi yang sama berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Pada umumnya transformator ini terdiri atas

sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan yaitu kumparan primer dan sekunder. Rasio perubahan tegangan akan tergantung dari rasio jumlah lilitan pada kedua kumparan tersebut.^[2]

2.3.1 Prinsip Kerja Transformator

Transformator terdiri dari dua kumparan primer dan kumparan sekunder yang bersifat induktif. Apabila kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik maka akan timbul fluks dalam inti yg dilaminasi, karena kumparan tersebut membentuk jaringan tertutup maka mengalirlah arus primer. Akibat adanya fluks dikumparan primer maka terjadilah proses induksi yang terjadi pula induksi dikumparan sekunder karena pengaruh induksi dari kumparan primer atau disebut juga sebagai induksi bersama.^[2]

Jika transformator menerima energi pada tegangan sisi sekunder dan mengubahnya menjadi tegangan yang lebih tinggi maka transformator tersebut adalah transformator penaik (*step-up*). Jika transformator menerima energi pada tegangan tinggi dan mengubahnya menjadi tegangan yang rendah maka transformator tersebut adalah transformator penurun (*step-down*).



Gambar 2.5. Rangkaian Transformator

Didalam tenaga listrik transformator dikelompokkan menjadi:

1. Transformator daya disebut juga transformator penarik tegangan (step-up) digunakan untuk menaikkan tegangan pembangkit menjadi tegangan transmisi.
2. Transformator distribusi disebut juga sebagai transformator penurun tegangan (step-down) digunakan untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan yang dapat disalurkan kekonsumen atau pemakai.
3. Transformator pengukuran yang terdiri dari transformator arus dan tegangan.

2.3.2 Pemodelan Transformator

Terdapat dua model transformator yang digunakan pada saat ini yaitu

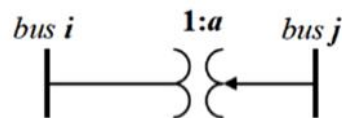
- *Tap-Changing Transformer* yang merupakan variasi perbandingan belitan untuk mendapatkan suatu tegangan sekunder tertentu pada saat tegangan primer berubah. Biasanya tap changer ditempatkan disisi tegangan tinggi (belitan primer) dari transformator karena pertimbangan arus lebih rendah dan variasi tegangannya lebih luas. Prinsip pengaturan tegangan sekunder berdasarkan perubahan jumlah belitan primer atau sekunder. V_1 , N_1 dan V_2 , N_2 adalah parameter primer dan sekunder. ^[5]

$$\frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2} \quad (12)$$

$$V_2 = \frac{V_1 \cdot N_2}{N_1} \quad (13)$$

- *Phase-Shifting Transformer* yang merupakan fase pergeseran transformator dalam bentuk khusus dari perubahan tap transformator.

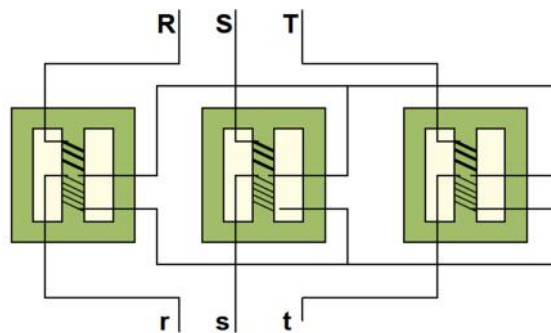
Pemodelanan keduanya memiliki perbedaan pada bilangan α yang merupakan rasio belitan primer dan sekunder. Pada transformer tap-changing bilangan α merupakan bilangan real, sedangkan pada transformer phase-shifting bilangan α merupakan bilangan kompleks. ^[3]



Gambar 2.6 Model Dasar Transformator dengan Rasio Tap

2.3.3 Belitan Transformator Tiga Fasa

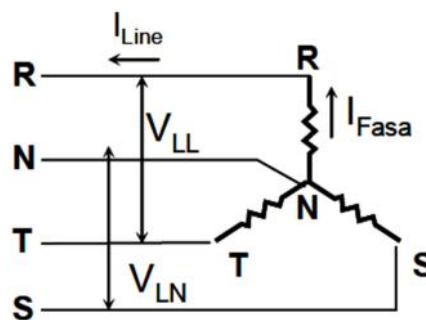
Konstruksi transformator tiga fasa terdiri dari tiga buah transformator satu fasa.



Gambar 2.7 Konstruksi Transformator tiga Fasa

1. Bila Transformator Terhubung Wye pada Belitan Primer Atau Sekunder

Pada transformator hubung wye merupakan hubungan transformator tiga fasa, dimana ujung-ujung awal atau akhir lilitan disatukan. Titik dimana tempat penyatuan dari ujung-ujung lilitan merupakan titik netral. Arus transformator tiga phasa dengan kumparan yang dihubungkan bintang yaitu; IR, IS, IT masing-masing berbeda 120° .

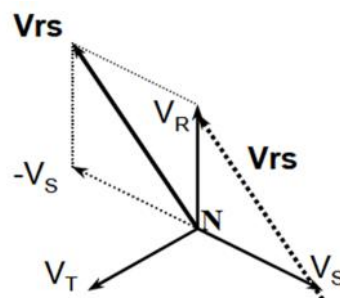


Gambar 2.8 Rangkaian Hubung Belitan Wye

$$I_{Line} = I_{Fasa}$$

$$V_{RS} = V_R - V_S \quad (14)$$

$$= V_R \sqrt{3} \quad (15)$$



Gambar 2.9 Arah Vektor Tegangan Hubung Belitan Wye

$$V_{RS} = V_{LL} \text{ (Voltage line to netral)}$$

$$V_R = V_S = V_T = V_{LN} \text{ (Voltage line to netral)}$$

$$P_3 \text{ Fasa} = \text{Daya Trafo Tiga Fsa}$$

$$V_{LL} = V_{LN} \sqrt{3} \text{ , maka } V_{LN} = V_{LL} / \sqrt{3} \quad (16)$$

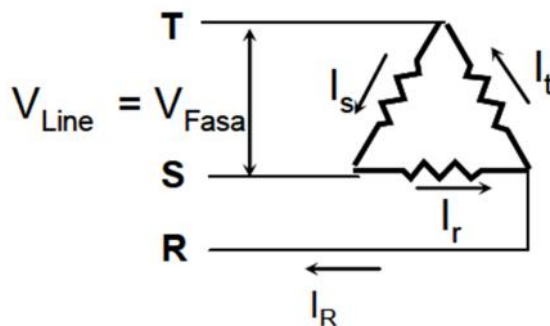
$$P_3 \text{ Fasa} = 3 \cdot I \cdot V_{LN} \quad (17)$$

$$= 3 \cdot I \cdot (V_{LL} / \sqrt{3}) \quad (18)$$

$$= 3 \cdot I \cdot \sqrt{3} \quad (19)$$

2. Bila Rangkaian Primer Atau Sekunder Trafo Terhubung Delta

Hubungan segitiga adalah suatu hubungan transformator tiga fasa, dimana cara penyambungannya ialah ujung akhir lilitan fasa pertama disambung dengan ujung mula lilitan fasa kedua, akhir fasa kedua dengan ujung mula fasa ketiga dan akhir fasa ketiga dengan ujung mula fasa pertama. Tegangan transformator tiga phasa dengan kumparan yang dihubungkan segitiga yaitu; V_R , V_S , V_T masing-masing berbeda 120° .

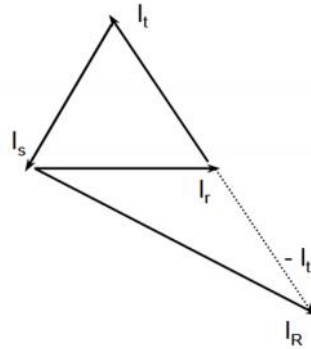


Gambar 2.10 Rangkaian Hubung Belitan *Delta*

$$V_{\text{Line}} = V_{\text{Fasa}}$$

$$I_R = I_r - I_t \quad (20)$$

$$= I_r \cdot \sqrt{3} \quad (21)$$



Gambar 2.11 Arah Vektor Arus Terhubung *Delta*

$$I_R = I_S = I_T = I_{\text{Line}} = \text{Arus line}$$

$$I_r = I_s = I_t = I_{\text{Fasa}} = \text{Arus Fasa}$$

$$V_{RS} = V_{ST} = V_{TR} = \text{Tegangan Line}$$

$$P_3 \text{ Fasa} = \text{Daya Trafo Tiga Fsa}$$

$$I_{\text{Line}} = I_{\text{Fasa}} \cdot \sqrt{3} \text{ , maka } I_{\text{Fasa}} = I_{\text{Line}} / \sqrt{3} \quad (22)$$

$$P_3 \text{ Fasa} = 3 \cdot I_{\text{Fasa}} \cdot V \quad (23)$$

$$= 3 (I_{\text{Line}} / \sqrt{3}) \cdot V \quad (24)$$

$$= I_{\text{Line}} \cdot V \cdot \sqrt{3} \quad (25)$$

Jadi daya trafo tiga fasa adalah:

$$P = V \times I \times \sqrt{3} \quad (26)$$

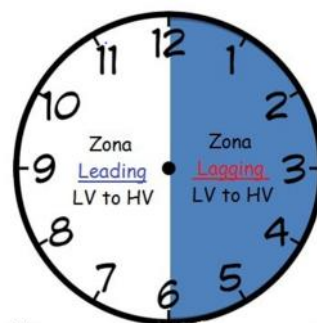
Bila bebannya impedansi maka :

$$P = V \times I \times \cos \theta \times \sqrt{3} \quad [8] \quad (27)$$

2.3.4 Vektor Group Transformator Hubung Belitan *Delta-Wye*

Dalam pelaksanaanya, tiga buah lilitan fasa pada sisi primer dan sisi sekunder dapat dihubungkan dalam bermacam-macam hubungan, seperti *Delta dan Wye*, dengan kombinasi Y-Y, YD, DY dan DD. Namun pada pembahasan kali ini adalah transformator distribusi hubung belitan *delta-wye grounding*. Transformator hubung belitan *delta-wye* digunakan untuk menurunkan tegangan dari tegangan menengah ke tegangan sisi sekunder pada jaringan distribusi.

Transformator jenis hubungan *delta-wye* ini memiliki vektor grup yang disimbolisasikan dengan angka jam(clock). Setiap angka pada jam memiliki perbedaan 30° .



Gambar 2.12 Vektor Group / jam trafo

Zona lagging berada pada jam 12 – jam 6 ($0 - 180^\circ$) LV tertinggal terhadap HV. Zona leading berada pada jam 6 – jam 12 ($180^\circ - 0$) LV mendahului terhadap HV.

LV adalah Low Voltage (tegangan rendah), sementara HV adalah High Voltage (tegangan tinggi)

Digit 0 = 0° bahwa fasor LV sefase dengan fasor HV

Digit 1 = 30° lagging (LV HV tertinggal sebesar 30°)

Digit 11 = 30° leading (LV mendahului HV sebesar 30°) atau bisa juga dibaca lagging 330° .

Digit 5 = 150° lagging (LV HV tertinggal sebesar 150°) atau bisa juga dibaca lagging 210° .

Digit 6 = 180° lagging (LV HV tertinggal sebesar 180°) atau bisa juga dibaca lagging 180° .

Dyn5 menyatakan bahwa transformator sisi primer memiliki hubung belitan *delta* dan transformator sisi sekunder memiliki hubung belitan *wye grounding* 5 yaitu sudut sisi sekunder tertinggal sebesar 150° terhadap sudut sisi primer. Sementara *Dyn11* menyatakan bahwa transformator sisi primer memiliki hubung belitan *delta* dan transformator sisi sekunder memiliki hubung belitan *wye grounding* 11 yaitu sudut sisi sekunder mendahului sebesar 30° terhadap sudut sisi primer.

2.4 Software ETAP (Electical Transient and Analysis Program)

Software ETAP merupakan suatu perangkat lunak yang dapat melakukan penggambaran *single line diagram* secara grafis dan mengadakan beberapa analisa/studi yaitu *Load Flow* (aliran daya), *Short Circuit* (hubung singkat), motor starting, harmonisa, *transcient stability*, *protective device coordination*, dan *cable derating*. Sistem tenaga listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat diedit langsung dari diagram satu garis dan atau jalur sistem pentanahan. Untuk kemudahan hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada diagram satu garis.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam bekerja dengan ETAP PowerStation adalah sebagai berikut:

1. *One line diagram*, menunjukan hubungan antar komponen/peralatan listrik sehingga membentuk suatu system kelistrika.
2. *Library*, informasi mengenai semua peralatan yang akan dipakai dalam system kelistrikan. Data elektris maupun mekanis dari peralatan yang detail/lengkap dapat mempermudah dan memperbaiki hasil simulasi/analisa.
3. Standar yang digunakan biasanya mengacu pada standar *IEC* atau *ANSI*, frekuensi system dan metode-metode yang digunakan.
4. *Study Case*, berisikan parameter-parameter yang berhubungan dengan metode studi yang akan dilakukan dan format hasil analisa.

III. METODELOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Waktu Penelitian tugas akhir ini dilaksanakan dari bulan November 2015 sampai bulan maret 2016 bertempat di Laboratorium Sistem Tenaga Elektrik (STE) Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung

3.2 Alat dan Bahan

Untuk melakukan penelitian ini diperlukan alat dan bahan penelitian. Adapun alat dan bahan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Satu unit laptop dengan spesifikasi intel Corei5 dengan processor 2.30 GHz.
2. *Software* Etap 12.6.0
3. Data penyulang katu GI Menggala
4. Data kasus 21 bus

3.3 Metode Penelitian

Penyusunan tugas akhir ini memiliki metode dan langkah-langkah penelitian. Adapun langkah-langkah penelitiannya sebagai berikut:

1. Studi Literatur.

Studi literatur ini dilakukan agar penulis mendapatkan ilmu dan informasi yang dapat membantu proses penelitian tugas akhir. Tahapan ini penulis mempelajari dan mengumpulkan literatur mengenai cara perhitungan belitan transformer tiga fasa pada jaringan distribusi. Literatur tersebut diperoleh dari berbagai sumber dan referensi ilmiah, seperti jurnal ilmiah, buku tentang transformer dan artikel dari website yang bisa dipertanggung jawabkan informasinya.

2. Studi Bimbingan.

Pada tahapan ini penulis melakukan studi bimbingan dengan cara berdiskusi berupa tanya jawab atau menyelesaikan masalah mengenai belitan transformer dengan dosen pembimbing agar penulis mendapatkan ilmu dan wawasan untuk menyelesaikan tugas akhir.

3. Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pada tahapan ini, penulis mengumpulkan data yang dibutuhkan dalam penelitian ini kemudian data yang telah didapatkan tersebut diolah untuk mendapatkan hasil yang diharapkan. Adapun data yang akan dikumpulkan dan diolah yaitu:

- a. Data Penyulang Katu GI Menggala
- b. Data *one-line* diagram.

Kemudian data yang telah dikumpulkan tersebut diolah dan hasilnya akan dibandingkan dengan hasil yang didapat dengan program lain.

4. Pemodelan Simulasi

Pada tahapan pemodelan simulasi adalah proses menjalankan program setelah mendapatkan data-data yang diinginkan. Tahapan ini penulis melihat proses perhitungan data yang diitung dalam program dan menyelesaikan kendala apabila dalam menjalankan program terjadi *error* atau tidak sesuai harapan. Tahapan untuk melakukan simulasi sebagai berikut:

- a. Mengetahui parameter dalam menuntaskan permasalahan belitan transformer.
- b. Menjalankan pemodelan transformer hubung belitan *Dyn5* dan *Dyn11* *software ETAP 12.6.0*.
- c. Mendapatkan hasil yang kemudian akan dianalisa lebih anjut.

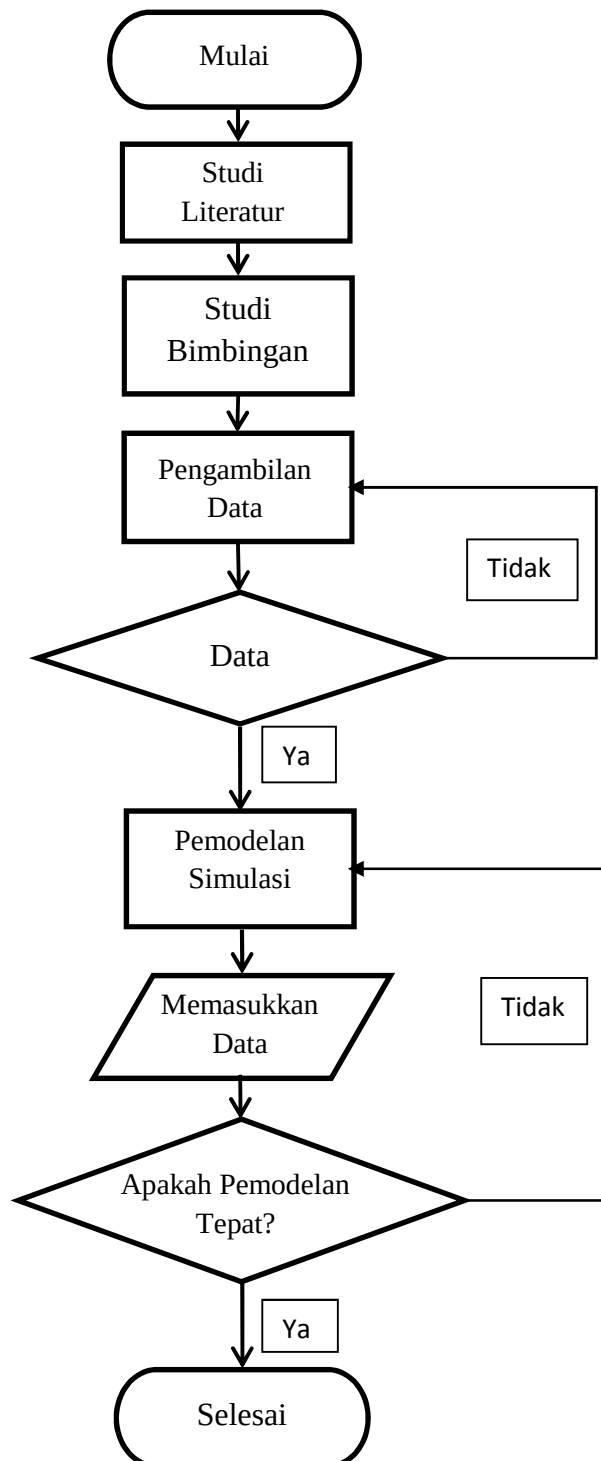
5. Pembuatan Laporan

Pada tahapan ini yaitu penulis menuliskan laporan mengenai perencanaan yang digunakan untuk laporan proposal dan hasil yang digunakan untuk laporan akhir yang telah didapat dengan melalui tahapan sebelumnya.

Laporan ini dapat digunakan sebagai bentuk pertanggung jawaban penulis terhadap tugas akhir yang telah dilakukan.

3.4 Diagram Alir Penelitian

Dibawah ini merupakan diagram alir penelitian pada tugas akhir.



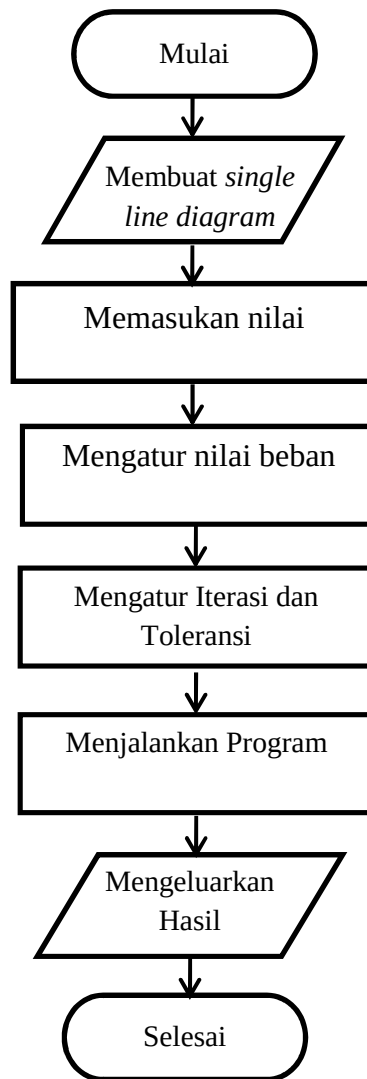
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.5 Langkah-langkah membuat program

Langkah – langkah yang perlu dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat *single line diagram* pada *Software ETAP 12.6.0* dengan menggunakan kasus sederhana 21 bus dan kasus pada Penyulang Katu GI Menggala.
2. Memasukan data yang diperlukan untuk proses menjalankan program, seperti data pada kasus 21 bus dan penyulang katu GI menggala.
3. Program akan membaca dan menghitung data yang telah dimasukan.
4. Mengatur iterasi apabila pada program terjadi kesalahan atau tidak konvergen.
5. Mengatur penggunaan beban, adapun penggunaan beban pada kasus 21 bus adalah beban *full* malam (100%) dan pada penyulang katu GI menggala adalah beban siang (100 %).
6. Mengatur pemodelan beban yaitu konstan power 100%.

3.6 Diagram Alir Program



Gambar 3.2 Diagram Alir Program

3.6 Metode Perhitungan

Metode perhitungan yang diperlukan dalam penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan perumusan pemodelan transformator hubung belitan *delta-wye* untuk menentukan matriks admitansi urutan nol, positif dan negatif. Adapun perumusan transformator yang dibuat adalah sebagai berikut:

- a. Menentukan Y_{012}^p

Y_{012}^p adalah matriks zeros (0)

$$Y_{012}^p = \begin{bmatrix} Y_0 & & \\ & Y_1 & \\ & & Y_2 \end{bmatrix} \quad (28)$$

$$Y_{012}^{node-p} = \begin{bmatrix} Y_0 & & & -Y_0 & & \\ & Y_1 & & & -Y_1 & \\ & & Y_2 & & & -Y_2 \\ -Y_0 & & & Y_0 & & \\ & -Y_1 & & & Y_1 & \\ & & -Y_2 & & & Y_2 \end{bmatrix} \quad (29)$$

$$Y_{012} = \begin{bmatrix} Y_{A'A'012} & Y_{A'a012} \\ Y_{aA'012} & Y_{aa012} \end{bmatrix} \quad (30)$$

- b. Menentukan rasio *tap* pada model Phase Shift

$$\text{Dimana, nilai } \underline{t} = t e^{j\alpha} \quad (31)$$

$$\alpha = -n \times 30^\circ, n = 1,2,3,7,9,11 \text{ (vector grup)} \quad (32)$$

c. Menghitung matriksadmitansi urutan

$$Y_{012} = \begin{bmatrix} T^* & \\ & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{A'A'012} & Y_{A'a012} \\ Y_{aA'012} & Y_{aa012} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} T & \\ & 1 \end{bmatrix} \quad (33)$$

$$= \begin{bmatrix} T^* Y_{A'A'012} T & T^* Y_{A'a012} \\ Y_{aA'012} T & Y_{aa012} \end{bmatrix} \quad (34)$$

$$= \begin{bmatrix} Y_{AA012} & Y_{Aa012} \\ Y_{aA012} & Y_{aa012} \end{bmatrix} \quad (35)$$

d. Menghitung satu persatu matriks Y_{012}

$$Y_{AA012} = [T^* Y_{A'A'012} T] \quad (36)$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{1}{t} & & \\ & \frac{1}{t^*} & \\ & & \frac{1}{t} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} Y_0 & & \\ & Y_1 & \\ & & Y_2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \frac{1}{t} & & \\ & \frac{1}{t^*} & \\ & & \frac{1}{t} \end{bmatrix} \quad (37)$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{Y_0}{t^2} & & \\ & \frac{Y_1}{t^* t} & \\ & & \frac{Y_2}{t t^*} \end{bmatrix} \quad (38)$$

$$Y_{Aa012} = [T^* Y_{A'a012}] \quad (39)$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{1}{t} & & \\ & \frac{1}{t^*} & \\ & & \frac{1}{t} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} -Y_0 & & \\ & -Y_1 & \\ & & -Y_2 \end{bmatrix} \quad (40)$$

$$= \begin{bmatrix} -\frac{Y_0}{t} & & \\ & -\frac{Y_1}{t^*} & \\ & & -\frac{Y_2}{t} \end{bmatrix} \quad (41)$$

$$Y_{aA012} = [Y_{aA'012}T] \quad (42)$$

$$= \begin{bmatrix} -Y_0 & & \\ & -Y_1 & \\ & & -Y_2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \frac{1}{t} & & \\ & \frac{1}{t} & \\ & & \frac{1}{t^*} \end{bmatrix} \quad (43)$$

$$= \begin{bmatrix} -\frac{Y_0}{t} & & \\ & -\frac{Y_1}{t} & \\ & & -\frac{Y_2}{t^*} \end{bmatrix} \quad (44)$$

$$Y_{aa012} = [Y_{aa012}] \quad (45)$$

$$= \begin{bmatrix} Y_0 & & \\ & Y_1 & \\ & & Y_2 \end{bmatrix} \quad (46)$$

2. Membuat program sesuai perumusan yang sudah dibuat ke dalam software python
3. Memasukan data yang diperlukan untuk proses menjalankan program, seperti data pada penyulang katu Gardu Induk Menggala.
4. Program akan membaca dan menghitung data yang telah dimasukan. Adapun tahapan pembacaan dan perhitungan pada program yaitu :
 - a. Menghitung Formulasi transformator yang telah dibuat bertujuan untuk mendapatkan hasil matriks admitansi urutan nol, positif dan negatif Y_{012} .
 - b. Mendapatkan nilai matriks admitansi bus (Y_{bus})

$$Y = \begin{bmatrix} AY_{AA012}A^{-1} & AY_{Aa012}A^{-1} \\ AY_{aA012}A^{-1} & AY_{aa012}A^{-1} \end{bmatrix} \quad (47)$$

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan pada hasil simulasi yang telah dilakukan yaitu:

1. Sudut tegangan sisi sekunder pada transformator hubung belitan *Dyn5* bergeser sebesar 150° (lagging) terhadap sudut tegangan sisi primer. Pada fasa A (*line to line*) terlihat pada bus 38 besar sudut yang dihasilkan adalah 28.1° dan pada bus 120 sebesar -122.2° .
2. Sudut tegangan sisi sekunder pada transformator hubung belitan *Dyn11* bergeser sebesar 30° (leading) terhadap sudut tegangan sisi primer. Pada fasa A (*line to netral*) terlihat pada bus 28 besar sudut yang dihasilkan adalah -1.6° dan pada bus 121 sebesar 28.4° .
3. Besar magnitude tegangan transformator hubung belitan *Dyn5* sama dengan magnitude tegangan transformator hubung belitan *Dyn11*. Pada bus 91 keduanya memiliki magnitude tegangan sebesar 0.6756 Pu.
4. Pada kasus penyulang katu GI menggala besar daya aktif transformator hubung belitan *Dyn5* sama dengan daya aktif transformator hubung belitan *Dyn11*. Daya aktif maksimum terdapat pada bus 1 ke bus 2 yaitu pada fasa A sebesar 1,198 MW, fasa B sebesar 1,229 MW dan fasa C sebesar 1,320

MW. Besar daya aktif minimum terdapat pada bus 116 ke bus 119 yaitu pada fasa A, fasa B dan fasa C masing-masing sebesar 0 MW.

5. Pada kasus penyulang katu GI menggal besar daya reaktif transformator hubung belitan *Dyn5* sama dengan daya reaktif transformator hubung belitan *Dyn11*. Daya reaktif maksimum terdapat pada bus 4 ke bus 5. Besar daya reaktif maksimum pada fasa A sebesar 0.737 MVar, fasa B sebesar 0.618 MVar dan fasa C sebesar 0.703 MVar. Daya reaktif minimum terdapat pada bus 116 ke bus 119. Besar daya reaktif minimum pada fasa A, fasa B dan fasa C masing-masing sebesar 0 MVar.
6. Tidak ditemukan adanya perbedaan rugi-rugi daya aktif maupun daya reaktif untuk penggunaan kedua jenis transformator hubung belitan *Dyn5* dan transformator hubung belitan *Dyn11*.

5.2 Saran

saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Memperbaiki tegangan yang turun akibat rugi-rugi saluran dan pembebanan yang berlebih dengan menggunakan tap agar tegangan sisi sekunder mendapatkan hasil yang lebih maksimal.
2. Meneliti lebih lanjut mengenai vektor grup dari setiap hubung belitan yang ada pada transformator distribusi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A.Jabr,Rabih. Dzafic, Zudin. Theo Neisius, Hans.2014.*Transformer Modeling for Three-Phase Distribution Network Analysis*.IEEE
- [2] Lumbanraja,H. 2008. *Pengaruh Beban Tidak Seimbang Terhadap efisiensi Transformator Tiga Fasa*.Universitas Sumatera Utara.Medan
- [3] Hakim,L. 2013.*Buku Ajar Mata Kuliah Sistem Tenaga*.Universitas Lampung.Bandar Lampung
- [4] Wahidi, M. 2014. *Analisa Aliran Daya Tiga Fasa Tak Seimbang Pada Penyulang Kangkung PT. PLN (Persero) Distribusi Lampung*.Bandar Lampung. Universitas Lampung
- [5] Bayu T. Sianipar, Ir. Panusur S.M. L.Tobing.2015. *Studi Perbandingan Belitan Transformator Distribusi Tiga Fasa pada saat Penggunaan Tap Changer*. Universitas Sumatera Utara.Medan
- [6] F.L.Alvardo,1982.*Formation of Y-node using the primitive Y-node Concept*.IEEE Trans.Power App.Syst., vol.PAS-101, no. 12, pp.4563-4571.

- [7] Kersting, W.H.2007. *Distribbution System Modeling and Analysis*,CRC Press,
Boca Raton,FL.
- [8] Prayoga,A. Nahar, N. 2010.*Transformator*.Universitas Indonesia.Depok
- [9] Weisgerber, E. Sen, P.K. Malmedal, K.2013.*Application Guide Lines for
Transformer Conection and Grounding for Distribution Generation*. IEEE. No.
ESW 2013-14.USA