

PEMODELAN SALURAN UDARA UNTUK MENGHITUNG
IMPEDANSI URUTAN DENGAN METODE CARSON PADA
PENYULANG KATU GARDU INDUK MENGGALA PT. PLN
(PERSERO) DISTRIBUSI LAMPUNG

(Skripsi)

Oleh
Rifqi Annora Mulya



FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016

ABSTRAK

PEMODELAN SALURAN UDARA UNTUK MENGHITUNG IMPEDANSI URUTAN DENGAN METODE CARSON PADA PENYULANG KATU GARDU INDUK MENGGALA PT. PLN (PERSERO) DISTRIBUSI LAMPUNG

Oleh

Rifqi Annora Mulya

Impedansi urutan saluran merupakan data masukan penting dalam analisa aliran daya tiga fasa. Berbagai metode telah dikembangkan untuk memodelkan saluran udara tegangan menengah dan menentukan impedansi urutannya. Dalam tugas akhir ini, Metode *Modified* Carson digunakan untuk menghitung impedansi urutan pada Penyulang Katu GI Manggala PT. PLN (PERSERO) Distribusi Lampung. Hasil perhitungan kemudian dibandingkan dengan data impedansi urutan sesuai SPLN yang dimasukkan di dalam perangkat lunak ETAP. Untuk mengetahui urutan impedansi pada suatu saluran atau penyulang, diperlukan data data diantaranya adalah : resistivitas tanah, resistansi penghantar, GMR, frekuensi, dan jarak antar konduktor.

Saluran udara tegangan menengah 20 kV PLN di Penyulang Katu menggunakan konduktor AAAC dengan variasi luas penampang 35 mm², 70 mm², dan 150 mm². Berdasarkan perhitungan dengan Metode Modified Carson diperoleh impedansi urutan nolnya adalah $1,0697+j1,6178$ /Km (35 mm²), $0,6088+j1,644$ /Km (70 mm²), $0,3642+j1,6178$ /Km (150 mm²). Untuk impedansi urutan positifnya adalah $0,9217+j0,3305$ /Km (35 mm²), $0,4608+j0,3572$ /Km (70 mm²), $0,2162+j0,3789$ /Km (150 mm²). Jika dibandingkan dengan data SPLN di perangkat lunak ETAP, maka terdapat selisih pada luas penampang 35 mm² berturut turut; R urutan nol 3,328% dan X urutan nol 0,15%. Pada hasil selisih impedansi urutan positif pada ETAP dengan Python: R urutan positif 3,63% dan X urutan positif 0,19%. Pada luas penampang 70 mm², selisih impedansi R urutan nol sebesar 2,582% dan X urutan nol sebesar 2,52%, pada impedansi R urutan positif 2,28% dan pada X urutan positif 2,504%. Pada luas penampang 150 mm², selisih impedansi R urutan nol 0,93% dan X urutan nol 2,94%, pada impedansi R urutan positif 0,62% dan X urutan positif 2,905%.

Dari prosentase selisih nilai urutan yang diperoleh antara 0.19% sampai dengan 3,63% (kecil dari 5%), dapat disimpulkan bahwa metode Carson dapat digunakan untuk menghitung impedansi urutan pada Penyulang Katu, Gardu Induk Manggala, PT. PLN (PERSERO) Distribusi Lampung.

Kata kunci : sistem distribusi, kabel, impedansi urutan, metode Carson, Penyulang Katu

ABSTRACT

OVERHEAD MODELING TO COMPUTING SEQUENCE IMPEDANCE WITH CARSON METHOD ON FEEDER KATU GI MENGGALA PT. PLN (PERSERO) DISTRIBUTION LAMPUNG

By

Rifqi Annora Mulya

Sequence impedance is an important input data in three-phase power flow analysis. Various methods have been developed to model the overhead medium voltage and determine the sequence impedance. In this undergraduate thesis, Carson Modified Method used to calculate the sequence impedance on feeder Katu GI Menggala PT. PLN (Persero) Distribution Lampung. The calculation result is then compared with the corresponding sequence impedance data SPLN entered in the software ETAP. Soil resistivity, the resistance conductor, GMR, frequency, and spacing between conductors are required in calculating the sequence impedance for the overhead medium voltage line.

The studied overhead medium voltage 20 kV line uses AAAC conductors with a variation of cross-sectional area 35 mm², 70 mm² and 150 mm². The obtained zero sequence impedances are $1.0697 + j1,6178$ / Km (35 mm²), $0.6088 + j1,644$ / Km (70 mm²), $0.3642 + j1,6178$ / km (150 mm²) from the Modified Carson Method. The positive sequence impedances are $0.9217 + j0,3305$ / Km (35 mm²), $0.4608 + j0,3572$ / Km (70 mm²), $0.2162 + j0,3789$ / Km (150 mm²). Comparison with those impedances of SPLN as entered in ETAP, the following differences are observed. For 35 mm² conductor, about 3.328% of differences for zero sequence resistance and about 0.15% difference for zero sequence reactance are observed. About similar differences are also observed for the positive sequence impedances. For 70 mm² conductor, zero sequence resistance yields about 2.582% difference and 2.52% for the reactance. Interestingly, the positive sequence resistance shows 2,28% difference and 2.504% difference for positive sequence reactance. For the 150 mm² conductor, the differences between the zero sequence impedance are 0.93% and 2.94%, and the positive sequence impedance shows differences of 0.62% and 2.905%.

These percentage differences are observed to within the range of 12.19% to 3.63%. It can be concluded that Carson method can be used to calculate the impedance of the order of the feeder Katu, GI Mangala, PT. PLN (Persero) Distribution Lampung.

Keywords: distribution system, cable, sequence impedance, Carson method, feeders Katu

**PEMODELAN SALURAN UDARA UNTUK MENGHITUNG IMPEDANSI
URUTAN DENGAN METODE CARSON PADA PENYULANG KATU
GARDU INDUK MENGGALA PT. PLN (PERSERO) DISTRIBUSI
LAMPUNG**

**Oleh
RIFQI ANNORA MULYA**

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

**: PEMODELAN SALURAN UDARA UNTUK
MENGHITUNG IMPEDANSI URUTAN
DENGAN METODE CARSON PADA
PENYULANG KATU GARDU INDUK
MENGGALA PT. PLN (PERSERO)
DISTRIBUSI LAMPUNG**

Nama Mahasiswa

: Rifqi Annora Mulya

Nomor Pokok Mahasiswa : 0915031071

Jurusan

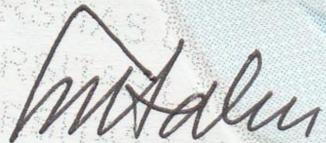
: Teknik Elektro

Fakultas

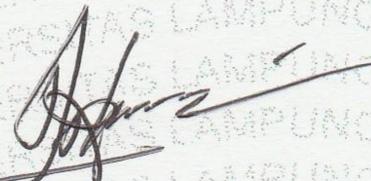
: Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

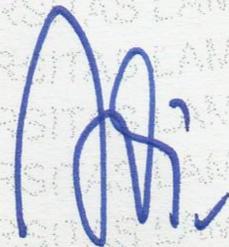


Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc.
NIP 19720923 200012 1 002



Dr. Eng. Dikpride Despa, S.T., M.T.
NIP 19720428 199803 2 001

2. Ketua Jurusan Teknik Elektro



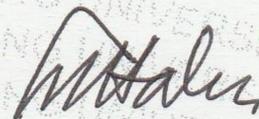
Dr. Ing. Ardian Ulvan, S.T., M.Sc.
NIP 19731128 199903 1 005

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

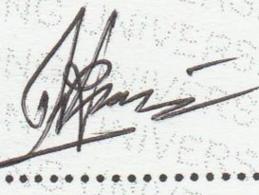
Ketua

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



Sekretaris

: Dr. Eng. Dikpride Despa, S.T., M.T.

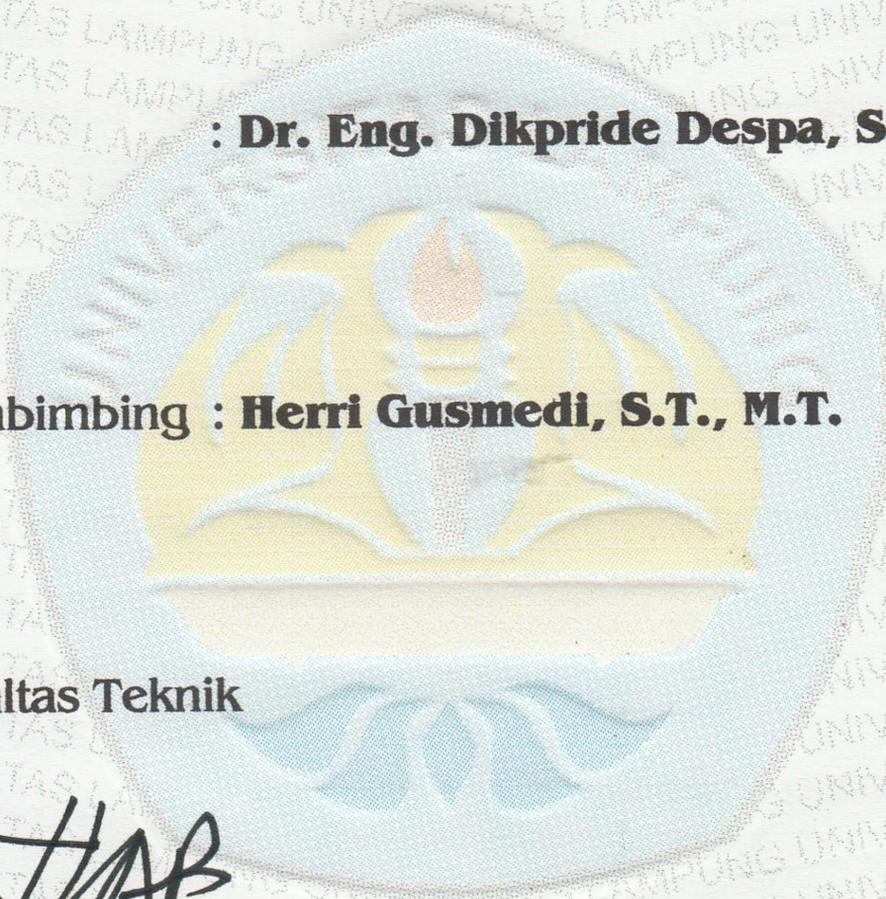


Penguji

Bukan Pembimbing : Herri Gusmedi, S.T., M.T.



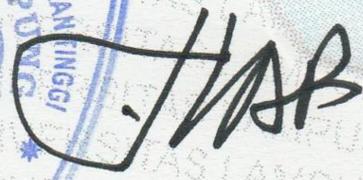
.....



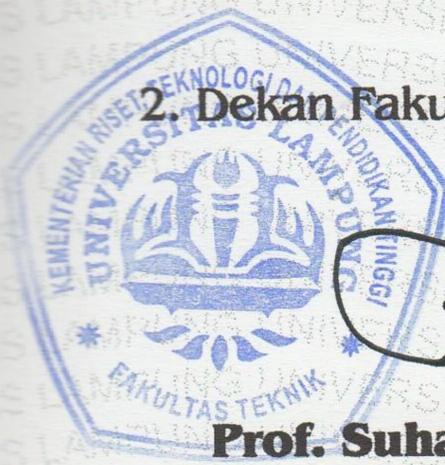
2. Dekan Fakultas Teknik

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

NIP 19620717 198703 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 12 Februari 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, 1 Maret 2016



Rifqi Annora Mulya
Rifqi Annora Mulya
NPM. 0915031071

RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Jakarta, pada tanggal 8 Maret 1991, sebagai anak kedua dari tiga bersaudara, dari Bapak Wantono dan Ibu Siti Asiah Lestari.

Penulis memasuki dunia pendidikan Taman Kanak-Kanak (TK) Pertiwi Tangerang Selatan, lulus pada tahun 1997, Sekolah Dasar (SD) di SDN Pamulang IV Tangerang Selatan, lulus pada tahun 2003, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN 4 Bandar Lampung, lulus pada tahun 2006, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMA Muhammadiyah 2 Yogyakarta dan lulus pada tahun 2009.

Tahun 2009, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di lembaga kemahasiswaan yang ada di Jurusan Teknik Elektro yaitu sebagai anggota Divisi Minat dan Bakat Himatro (Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro) pada tahun 2009-2011 dan anggota Divisi Penelitian dan Pengembangan Himatro pada tahun 2011-2012. Selain itu, penulis juga bergabung di Laboratorium Sistem Tenaga Elektrik sejak tahun 2012 dan menjadi asisten praktikum sistem tenaga listrik. Pada 1 Maret – 1 April 2013, Penulis melaksanakan Kerja Praktik (KP) di PLTU Tarahan, Lampung Selatan dengan mengangkat judul “Sistem Proteksi

pada Transformator Daya Menggunakan Relay Diferensial di Pembangkit Listrik
Tenaga Uap (PLTU) Tarahan Unit 3 dan 4”.



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Karya ini kupersembahkan untuk

Ayah dan Ibu Tercinta

Wantono dan Siti Asiah Lestari

Kakak dan Adikku Tersayang

Alm. Devina Ludi Mulyawati

Haris Rizqi Setiawan

Keluarga Besar, Dosen, Teman, dan Almamater.



MOTTO

*“Karena Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.
Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.”*
(Al-Quran, Surat Al – Insyirah, 94 : 5 – 6)

“Dan janganlah kamu (merasa) lemah, dan jangan (pula) bersedih hati, sebab kamu paling tinggi (derajatnya), jika kamu orang yang beriman.”
(Al-Quran, Surat Ali Imran, 3 : 139)

*“Apabila manusia telah meninggal dunia maka terputuslah semua amalannya kecuali tiga amalan : shadaqah jariyah, ilmu yang bermanfaat,
dan anak sholeh yang mendoakan dia.”*
(HR. Muslim)

*“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)

“Seperti ilmu padi, semakin berisi semakin merunduk”

“Jangan letih untuk berproses menjadi lebih baik”
(Rifqi Annora Mulya, S.T.)



SANWACANA

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala karunia, hidayah, serta nikmat yang diberikan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi tugas akhir yang berjudul “PEMODELAN SALURAN UDARA UNTUK MENGHITUNG IMPEDANSI URUTAN DENGAN METODE CARSON PADA PENYULANG KATU GARDU INDUK MENGGALA PT. PLN (PERSERO) DISTRIBUSI LAMPUNG”.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Dalam penyelesaian tugas akhir ini tidak lepas oleh dukungan dan bantuan dari banyak pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Suharno, M.Sc., Phd. 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 Muhammad Komarudin, S.T.,M.T. selaku Pembimbing Akademik (PA), terima kasih atas bimbingan dan perhatiannya.

4. Bapak Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc. selaku dosen Pembimbing Utama skripsi yang telah memberikan banyak ilmu, kritik dan saran, serta bimbingannya dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Ibu Dr. Eng. Dikpride Despa, S.T., M.T. selaku dosen Pembimbing Pendamping skripsi yang juga telah memberikan banyak ilmu, kritik dan saran, serta bimbingannya dalam penyelesaian skripsi ini.
6. Bapak Herri Gusmedi, S.T., M.T. selaku dosen penguji skripsi yang juga telah memberikan banyak ilmu, kritik dan saran, serta bimbingannya dalam penyelesaian skripsi ini.
7. Seluruh dosen dan karyawan Teknik Elektro Universitas Lampung yang telah memberikan masukan, dorongan dan ilmu yang sangat berarti bagi penulis.
8. Mas Abdurrahman Efendi, S.T., M.T. selaku PLP Laboratorium Sistem Tenaga Elektrik terima kasih atas kerja sama, ilmu dan pengalamannya selama beberapa tahun belakangan ini.
9. Mama dan Papa yang selalu memberikan doa dalam sujudnya dan semangat serta kasih sayangnya selama ini.
10. Kakakku Almarhumah Devina Ludi Mulyawati dan adikku Haris Rizqi Setiawan.
11. Rekan sejawat mulai dari KKN, KP hingga Tugas Akhir Binsar Daniel Sandi terima kasih atas kerja sama, semangat dan sarannya selama ini.
12. Guru dan mentor dalam tugas akhir ini Muhamad Wahidi (Beta) dan Trisno Handoko terima kasih atas ilmu, semangat dan doanya selama ini.
13. Sahabat dan teman terbaik Luqvi Rizqi Syahputra dan Ibnu Nadhir terima kasih atas semangat dan doanya selama ini.

14. Sahabat–sahabat Teknik Elektro angkatan 2009, M. Thaha Yanuar Ayub, Much. Rifqi (Mbeu), Dedi Irawan (Botoy), Fedryan Rinaldi Fauzie, Riyo Handoko, Achmad Taufik Prabowo, Ranny Dwidayanti, Dewi Sartika Dharmatana, Mardiyah Azzahra, Aris Aditama, M. Syafruddin, Hadi Prayogo, Moh. Cahyonyo, Hendri Setiawan (Ijonk), Albet Arifian, Jimmy Alexander Barus, Jumanto Sardion Panjaitan dan M. Widi Tryatno terima kasih atas semangat, doa dan bantuan kalian semua.
15. Rekan – rekan Teknik Elektro angkatan 2009 yang tidak dapat disebutkan satu per satu, terima kasih atas kebersamaan yang kita miliki beberapa tahun ini, terima kasih telah memberikan banyak warna dalam masa studi ini.
16. Sahabat – sahabat semasa SMA, Andritama Cahya Anggarjati, M. Rahartyo Alun, Deamon Sakaraga, Yanni Hadiwibowo, Nadzira Juine Syifaayata (Inoy), Wahyu Hardhani Wijayani (Icuk) dan genk renza terima kasih atas semangat, motivasi, dan doa kalian selama ini.
17. Sahabat ketemu karena tak sengaja, Dian Novayanti terima kasih atas doa, semangat dan motivasinya selama ini. Semangat buat kuliah S2-nya semoga lulus dengan hasil yang membanggakan.
18. Mustaina, terima kasih atas semangat, motivasi dan doanya selama ini.
19. Rekan-rekan laboratorium sistem tenaga, Edy Setyo Bayu Aji, Seto Prayogo, Agung Wicaksono, Afrizal Fitriandi, Gusmau Rado Pratama dan Alex Munandar terima kasih atas semangat dan bantuannya selama ini.
20. Sahabat pena dari Bandung, Wulansari Jude Anwar terima kasih atas semangat, motivasi dan doanya selama ini dalam menyelesaikan skripsi ini. Semangat untuk studinya meraih gelar profesi dokter.

21. Semua pihak yang telah membantu serta mendukung penulis dari awal kuliah hingga terselesaikannya skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan. Penulis menerima kritik dan saran yang membangun dari semua pihak untuk. Semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, 1 Maret 2016

Rifqi Annora Mulya

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Tujuan Penelitian	2
1.3. Rumusan Masalah	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Hipotesis	3
1.7. Sistematika Penulisan	4
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Sistem Distribusi	5
2.2. Konfigurasi Sistem Distribusi	9

2.3. Komponen Simetris	14
2.4. Konstruksi SUTM	16
2.5. Jenis-jenis Konduktor SUTM	22
2.6. Penelitian Terdahulu.....	23
2.7. Perangkat Lunak Pendukung.....	24

BAB III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat	26
3.2. Alat dan Bahan	26
3.3. Metode Penelitian.....	27
3.4. Metode Carson.....	29
3.5. Diagram Alir Penelitian	34
3.6. Diagram Alir Program	35

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Sistem Distribusi Listrik 20 KV Gardu Induk Menggala.....	36
4.2. Hasil Simulasi dan Pembahasan.....	45

BAB V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan.....	55
5.2. Saran.....	57

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

LAMPIRAN A (DATA INPUT ATAU MASUKAN)

LAMPIRAN B (DATA HASIL SIMULASI)

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1. Gambar 2.1. Pola Jaringan Distribusi Dasar	9
2. Gambar 2.2. Konfigurasi Tulang Ikan.....	10
3. Gambar 2.3. Konfigurasi Kluster	11
4. Gambar 2.4. Konfigurasi Spindel.....	11
5. Gambar 2.5. Konfigurasi Fork.....	12
6. Gambar 2.6. Konfigurasi Spotload.....	13
7. Gambar 2.7. Konfigurasi Mesh.....	13
8. Gambar 2.8. Jenis-jenis Isolator Tarik.....	19
9. Gambar 2.9. Jenis-jenis Isolator Tumpu.....	20
10. Gambar 2.10. Konstruksi Tiang SUTM	21
11. Gambar 3.1. Jarak Antar Konduktor	30
12. Gambar 3.2. Gambar Diagram Alir Penelitian	34
13. Gambar 3.3. Gambar Diagram Alir Penelitian	35

14. Gambar 4.1. <i>Single Line</i> Diagram Penyulang Katu Gardu Induk Menggala.....	38
15. Gambar 4.2. <i>Single Line</i> Diagram 11 Bus.....	45
16. Gambar 4.3. R Urutan Nol Perbandingan ETAP dengan Python.....	47
17. Gambar 4.4. X Urutan Nol Perbandingan ETAP dengan Python.....	48
18. Gambar 4.5. R Urutan Positif Perbandingan ETAP dengan Python.....	49
19. Gambar 4.6. X Urutan Positif Perbandingan ETAP dengan Python.....	50
20. Gambar 4.7. R Urutan Nol Perbandingan ETAP dengan Python.....	51
21. Gambar 4.8. X Urutan Nol Perbandingan ETAP dengan Python.....	52
22. Gambar 4.9. R Urutan Positif Perbandingan ETAP dengan Python.....	53
23. Gambar 4.10. X Urutan Positif Perbandingan ETAP dengan Python....	54

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1. Data Jarak Antar Bus Penyulang Katu.....	39
Tabel 4.2. Data Beban Penyulang Katu.....	42
Tabel 4.3. Data 11 Bus ETAP.....	45
Tabel 4.4. Data 11 Bus Python.....	46

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Pada sistem tenaga listrik, diperlukan media penghantar untuk menyalurkan energi listrik dari pembangkit atau gardu induk menuju beban. Untuk menyalurkan energi listrik digunakan kabel sebagai media penghantarnya. Pada umumnya pusat beban terletak sangat jauh dari pembangkit ataupun gardu induk, untuk itu diperlukan media kabel sebagai penghantarnya. Kabel adalah komponen yang sangat penting sebagai media penghantar energi listrik untuk menyalurkan energi listrik baik saluran transmisi maupun saluran distribusi. Kabel memiliki nilai impedansi yang mempengaruhi kualitas aliran daya pada sistem, karenanya nilai impedansi perlu diketahui dan dilakukan perhitungan. Impedansi seri pada saluran udara adalah tahap penting sebelum melakukan analisis aliran daya. Impedansi seri pada sistem distribusi terdiri dari resistansi konduktor (R) dan reaktansi konduktor (X) yang dihasilkan dari medan magnet yang mengelilingi konduktor.

Penelitian ini dilakukan di Penyulang Katu GI Menggala, penyulang Katu merupakan bagian sistem distribusi Lampung. Penyulang Katu merupakan salah satu penyulang dari gardu induk Menggala yang mana dari penyulang ini terjadi banyak rugi-rugi daya karena panjangnya saluran ini. Maka dari itu, untuk penelitian ini menggunakan penyulang ini sebagai penelitian.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah:

1. Untuk melakukan permodelan saluran udara pada sistem distribusi ;
2. Untuk mengetahui impedansi urutan kabel atau penghantar.

1.3. Rumusan Masalah

Impedansi urutan pada sistem distribusi perlu diketahui maka dari itu perlu dibangun permodelan saluran udara untuk mengetahui impedansi urutan. Impedansi urutan itu penting dalam kajian aliran daya. Impedansi urutan juga dipengaruhi oleh penghantar dan kondisi tanah. Dalam menentukan impedansi urutan digunakan metode Carson.

1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya membahas bagaimana memodelkan permodelan saluran udara (*overhead lines*) pada sistem distribusi ;
2. Bahwa resistivitas tanah berpengaruh pada impedansi urutan dan ini mengikuti SPLN;
3. Penelitian ini tidak membahas kabel MVTIC (*Medium Voltage Twisted Insulated Cable*) atau kabel yang berisolasi.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang akan didapat dari penelitian ini adalah:

1. Dapat mengetahui urutan impedansi pada saluran ataupun penyulang yang akan dijadikan objek studi kasus ;
2. Dapat digunakan untuk menghitung aliran daya sesuai dengan karakteristik kabel yang telah diketahui.

1.6. Hipotesis

Berdasarkan kajian teoritis terhadap penelitian yang dilakukan, dapat diambil hipotesis awal yaitu:

1. Untuk mengetahui urutan impedansi pada suatu saluran atau penyulang, diperlukan data yang berhubungan dan menggunakan metode Carson ;
2. Permodelan ini dapat digunakan untuk simulasi aliran daya yang khususnya dapat digunakan untuk mendapatkan nilai impedansi yang selama ini sulit ditemukan.

1.7. Sistematika Penulisan

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

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini berisikan tentang latar belakang dan masalah, tujuan penelitian, kerangka pemikiran, batasan masalah, manfaat penelitian, hipotesis serta sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan tentang teori pendukung yang digunakan dalam penulisan tugas akhir.

BAB III. METODE PENELITIAN

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

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil dari penelitian yang telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan saluran udara.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab terakhir ini berisi kesimpulan dan saran setelah penulis melakukan penelitian dan berdasarkan dari hasil dan pembahasan yang telah dianalisis.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Distribusi

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) ke konsumen [1]. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah sebagai pembagian atau penyaluran tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan), dan merupakan sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat-pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi [2].

Sistem distribusi terbagi 2 bagian :

- a. Sistem Distribusi Tegangan Menengah
- b. Sistem Distribusi Tegangan Rendah

Sistem distribusi tegangan menengah mempunyai tegangan kerja di atas 1 kV dan setinggi-tingginya 35 kV. Sistem distribusi tegangan rendah mempunyai tegangan kerja setinggi-tingginya 1 kV. Jaringan distribusi tegangan menengah mulai

dari Gardu Induk/Pusat Listrik pada sistem terpisah atau *isolated*. Pada beberapa tempat mulai dari pembangkit listrik. Bentuk jaringan distribusi dapat berbentuk *radial* atau tertutup (*radial open loop*). Jaringan distribusi tegangan rendah umumnya berbentuk radial murni. Sambungan tenaga listrik adalah bagian paling hilir dari sistem distribusi tenaga listrik. Pada sambungan tenaga listrik tersambung Alat Pembatas dan Pengukur (APP) yang selanjutnya menyalurkan tenaga listrik kepada konsumen. Konstruksi sistem distribusi dapat berupa saluran udara atau saluran bawah tanah disesuaikan dengan kebijakan manajemen, masalah kontinuitas pelayanan, jenis pelanggan, pada beban atas permintaan khusus dan masalah biaya investasi. Berdasarkan sistem penyalurannya, jaringan distribusi dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu :

- a. Saluran udara (*overhead line*)
- b. Saluran bawah tanah (*underground cable*)

Saluran udara merupakan sistem penyaluran tenaga listrik melalui kawat penghantar yang ditopang pada tiang listrik. Sedangkan saluran bawah tanah merupakan sistem penyaluran tenaga listrik melalui kabel yang ditanam di dalam tanah.

- a. Saluran Udara (*Overhead Line*)

Keuntungannya :

- Lebih fleksibel dan leluasa dalam upaya untuk perluasan beban
- Dapat digunakan untuk penyaluran tenaga listrik pada tegangan diatas 66 kV
- Lebih mudah dalam pemasangannya
- Bila terjadi gangguan hubung singkat, mudah diatasi dan dideteksi

Kerugiannya :

- Mudah terpengaruh oleh cuaca buruk, bahaya petir, badai, tertimpa pohon, dsb
- Untuk wilayah penuh bangunan tinggi, sulit untuk menempatkan saluran.
- Masalah efek kulit, induktansi, dan kapasitansi yang terjadi akan mengakibatkan tegangan drop lebih tinggi
- Ongkos pemeliharaan lebih mahal, karena perlu jadwal pengecatan dan penggantian material listrik bila terjadi kerusakan.

b. Saluran Bawah Tanah (*Underground Line*)

Keuntungannya :

- Tidak terpengaruh oleh cuaca buruk, bahaya petir, badai, tertimpa pohon, dsb
- Tidak mengganggu pemandangan, bila adanya bangunan yang tinggi
- Dari segi keindahan, saluran bawah tanah lebih sempurna dan lebih indah dipandang
- Mempunyai batas umur pakai dua kali lipat dari saluran udara
- Ongkos pemeliharaan lebih murah, karena tidak perlu adanya pengecatan
- Tegangan drop lebih rendah karena masalah induktansi bisa diabaikan

Kerugiannya :

- Biaya investasi pembangunan lebih mahal dibandingkan dengan saluran udara
- Saat terjadi gangguan hubung singkat, usaha pencarian gangguan tidak mudah

- Perlu pertimbangan teknis yang mendalam di dalam perencanaan, khususnya untuk kondisi tanah yang dilalui
- Tidak dapat menghindari bila terjadi bencana banjir, desakan akar pohon dan ketidakstabilan tanah

2.1.1. Aspek Perencanaan Jaringan Distribusi

Jaringan distribusi tegangan menengah saluran udara dipakai umumnya untuk daerah dengan jangkauan luas, daerah padat beban rendah atau daerah-daerah penyangga antara kota dan desa. Biaya investasi Saluran Udara relatif murah, mudah dalam pembangunannya, mudah pada aspek pengoperasian, akan tetapi padat pemeliharaan. Tingkat kontinuitas rendah dengan konfigurasi sistem umumnya radial (*Fishbone*). Jaringan distribusi Tegangan Menengah saluran bawah tanah dipakai umumnya untuk daerah padat beban tinggi (beban puncak lebih dari 2,5 MVA/km² dengan luas minimal 10 km²) dengan jangkauan terbatas. Biaya investasi mahal, sulit dalam pembangunan, mudah dalam pengoperasian dan pemeliharaan, tingkat kontinuitas tinggi. Pada jaringan dengan saluran bawah tanah selalu direncanakan dalam bentuk “loop” guna menghindari pemadaman (black – out) akibat gangguan. Pada sistem distribusi Tegangan Rendah dan Sambungan Tenaga Listrik digunakan konfigurasi sistem radial murni. Hanya pada pelanggan-pelanggan tertentu diberikan pasokan alternatif jika terjadi pemadaman. Konstruksi jaringan umumnya saluran udara. Pemakaian saluran bawah tanah umumnya untuk kabel daya (kabel naik, optik kabel), pada daerah-daerah eksklusif atas permintaan khusus,

pada daerah-daerah bisnis khusus serta atas dasar kebijakan perencanaan otoritas setempat.

2.2. Konfigurasi Sistem Distribusi

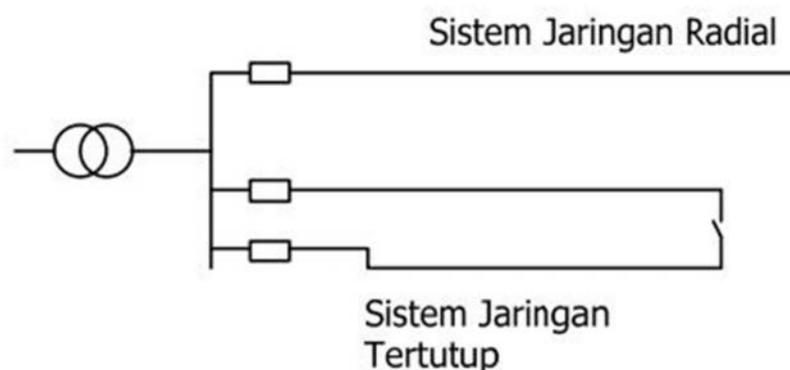
Secara umum konfigurasi suatu jaringan tenaga listrik mempunyai 2 konsep konfigurasi :

1. Jaringan radial

yaitu jaringan yang hanya mempunyai satu pasokan tenaga listrik, jika terjadi gangguan akan terjadi “black-out” atau padam pada bagian yang tidak dapat dipasok.

2. Jaringan bentuk tertutup

yaitu jaringan yang mempunyai alternatif pasokan tenaga listrik jika terjadi gangguan. Sehingga bagian yang mengalami pemadaman (black-out) dapat dikurangi atau bahkan dihindari.

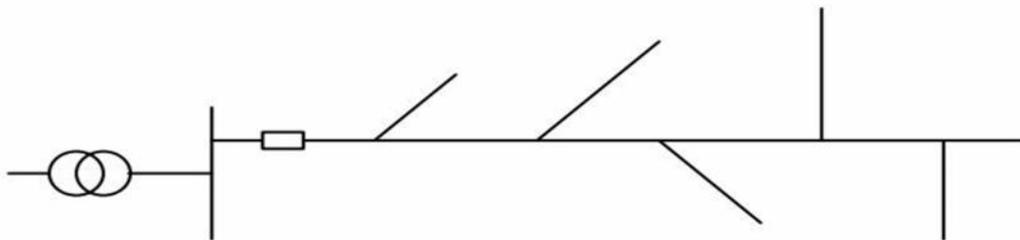


Gambar 2.1. Pola Jaringan Distribusi Dasar

Berdasarkan kedua pola dasar seperti pada gambar 2.1 tersebut, dibuat konfigurasi-konfigurasi jaringan sesuai dengan maksud perencanaannya sebagai berikut :

a. Konfigurasi Tulang Ikan (Fish-Bone)

Konfigurasi fishbone seperti pada gambar 2.2 ini adalah tipikal konfigurasi dari saluran udara Tegangan Menengah beroperasi radial. Pengurangan luas pemadaman dilakukan dengan mengisolasi bagian yang terkena gangguan dengan memakai pemisah [*Pole Top Switch (PTS)*, *Air Break Switch (ABSW)*] dengan koordinasi relai atau dengan sistem SCADA. Pemutus balik otomatis PBO (*Automatic Recloser*) dipasang pada saluran utama dan saklar seksi otomatis SSO (*Automatic Sectionalizer*) pada pencabangan.

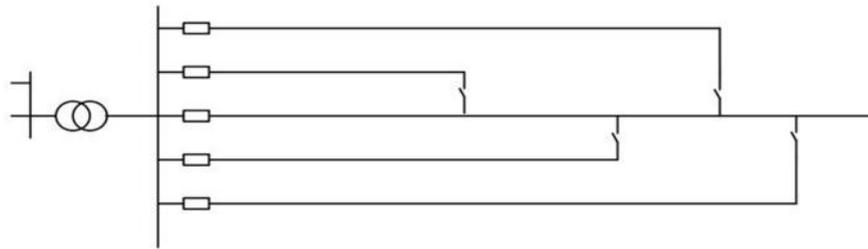


Gambar 2.2. Konfigurasi tulang ikan

b. Konfigurasi Kluster (*Cluster / Leap Frog*)

Konfigurasi saluran udara Tegangan Menengah yang sudah bertipikal sistem tertutup, namun beroperasi radial (*Radial Open Loop*). Saluran bagian tengah merupakan penyulang cadangan dengan luas penampang penghantar besar.

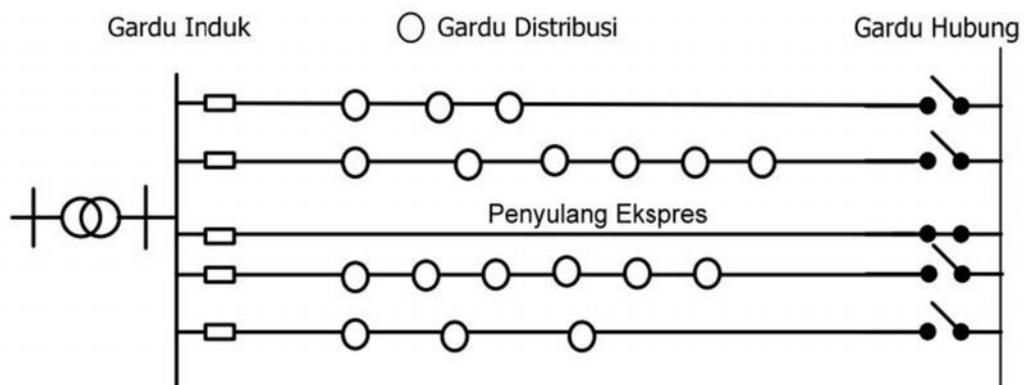
Konfigurasi ini disebut sebagai konfigurasi kluster, seperti pada gambar 2.3 dibawah ini.



Gambar 2.3. Konfigurasi kluster

c. Konfigurasi Spindel (Spindle Configuration)

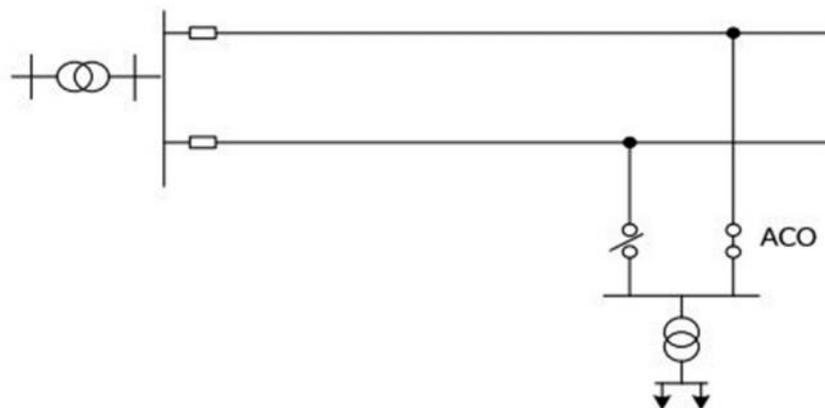
Konfigurasi spindle seperti pada gambar 2.4 umumnya dipakai pada saluran kabel bawah tanah. Pada konfigurasi ini dikenal 2 jenis penyulang yaitu pengulang cadangan (standby atau express feeder) dan penyulang operasi (working feeder). Penyulang cadangan tidak dibebani dan berfungsi sebagai back-up supply jika terjadi gangguan pada penyulang operasi.



Gambar 2.4. Konfigurasi spindel

d. Konfigurasi Fork

Konfigurasi seperti pada gambar 2.5 yang disebut sebagai konfigurasi Fork ini memungkinkan 1 (satu) Gardu Distribusi dipasok dari 2 penyulang berbeda dengan selang waktu pemadaman sangat singkat (*Short Break Time*). Jika penyulang operasi mengalami gangguan, dapat dipasok dari penyulang cadangan secara efektif dalam waktu sangat singkat dengan menggunakan fasilitas *Automatic Change Over Switch* (ACOS). Pencabangan dapat dilakukan dengan sadapan *Tee-Off* (TO) dari Saluran Udara atau dari Saluran Kabel tanah melalui Gardu Distribusi.

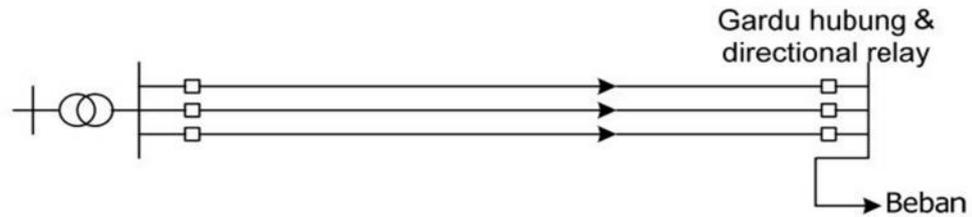


Gambar 2.5. Konfigurasi fork

e. Konfigurasi *Spotload* (*Parallel Spot Configuration*)

Konfigurasi *Spotload* seperti pada gambar 2.6 adalah konfigurasi yang terdiri sejumlah penyulang beroperasi paralel dari sumber atau Gardu Induk yang berakhir pada Gardu Distribusi. Konfigurasi ini dipakai jika beban pelanggan melebihi kemampuan hantar arus penghantar. Salah satu penyulang berfungsi sebagai penyulang cadangan, guna mempertahankan kontinuitas penyaluran.

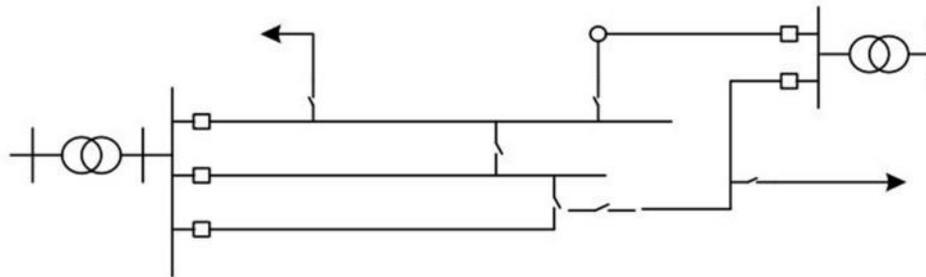
Sistem harus dilengkapi dengan rele arah (Directional Relay) pada Gardu Hilir (Gardu Hubung).



Gambar 2.6. Konfigurasi *spotload*

f. Konfigurasi Jala-Jala (*Grid, Mesh*)

Konfigurasi jala-jala, memungkinkan pasokan tenaga listrik dari berbagai arah ke titik beban. Rumit dalam proses pengoperasian, umumnya dipakai pada daerah padat beban tinggi dan pelanggan-pelanggan pemakaian khusus. Jenis konfigurasi ini digambarkan pada gambar 2.7 di bawah ini.



Gambar 2.7. Konfigurasi *mesh*

2.3. Komponen Simetris

Metode komponen simetris digunakan dalam perhitungan yang berhubungan dengan keadaan yang tak seimbang pada perangkat listrik tiga fasa, dan secara khusus untuk perhitungan hubung singkat yang tidak seimbang pada perangkat listrik. Komponen-komponen yang seimbang ini dinamakan menjadi tiga komponen urutan :

- Komponen urutan positif, yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan berbeda sudut fasanya 120° dan mempunyai urutan yang sama dengan fasa aslinya.
- Komponen urutan negatif, yang terdiri dari tiga fasor yang sama besarnya dan berbeda sudut fasanya 120° dan mempunyai fasor urutan yang berlawanan dengan fasa aslinya.
- Komponen urutan nol, yang terdiri dari tiga fasor yang sama simetris besarnya dan berbeda fasa nol derajat.

Impedansi urutan dapat didefinisikan sebagai suatu impedansi yang dirasakan oleh arus urutan bila tegangan urutannya dipasang pada peralatan atau sistem tersebut. Seperti juga tegangan dan arus di dalam metode komponen simetris dan tak simetris. Impedansi yang dikenal ada tiga macam yaitu :

- Impedansi urutan positif (Z_1), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan positif.
- Impedansi urutan negatif (Z_2), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan negatif.

- Impedansi urutan nol (Z_0), yaitu impedansi yang hanya dirasakan oleh arus urutan nol.

Cara yang biasa dilakukan dalam menghitung besar arus gangguan hubung singkat pada komponen simetris adalah memulai perhitungan pada rel daya tegangan primer di gardu induk untuk berbagai jenis gangguan, kemudian menghitung pada titik-titik lainnya yang terletak semakin jauh dari gardu induk tersebut. Impedansi saluran suatu system tenaga listrik tergantung dari jenis konduktornya yaitu dari bahan apa konduktor itu dibuat yang juga tentunya pula dari besar kecilnya penampang konduktor dan panjang saluran yang digunakan jenis konduktor ini. Komponen simetris adalah lazim digunakan di dalam menganalisa gangguan yang tidak simetris di dalam suatu sistem kelistrikan, misalnya :

- Gangguan satu fasa ke tanah
- Gangguan tiga fasa
- Gangguan fasa ke tanah

Dimana fasa ini mempunyai komponen urutan (*sequence*) :

- Komponen urutan nol (*zero sequence component*) adalah tiga buah fasor yang arah bersamaan sama dengan magnitudes urutan nol (*zero sequence*).
- Komponen urutan positif (*positive sequence component*) adalah 3 fasor yang mempunyai beda sudut $\pm 120^\circ$ antara fasa sama dengan magnitudes dari urutan positif (*positive sequence*).
- Komponen urutan negatif (*negative sequence component*) adalah 3 buah fasor yang mempunyai beda sudut $\pm 120^\circ$ antara fasa sama dengan magnitudes dari urutan negatif (*negative sequence*).

2.4. Konstruksi SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah)

Dalam proses penyaluran tenaga listrik diperlukan media penghantar, penghantar merupakan media yang menyalurkan tenaga listrik, biasanya berupa kabel. Material yang umum digunakan adalah tembaga, aluminium, baja, perak, nikel dan besi. Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) adalah sebagai konstruksi termurah untuk penyaluran tenaga listrik pada daya yang sama. Konstruksi ini terbanyak digunakan untuk konsumen jaringan Tegangan Menengah yang digunakan di Indonesia. Ciri utama jaringan ini adalah penggunaan penghantar telanjang yang ditopang dengan isolator pada tiang besi/beton. Penggunaan penghantar telanjang, dengan sendirinya harus diperhatikan faktor yang terkait dengan keselamatan ketenagalistrikan seperti jarak aman minimum yang harus dipenuhi penghantar bertegangan 20 kV tersebut antar Fase atau dengan bangunan atau dengan tanaman atau dengan jangkauan manusia. Untuk instalasi listrik, penyaluran arus listrik dari panel ke beban digunakan penghantar listrik yang sesuai dengan penggunaannya. Ada dua macam penghantar listrik yaitu [13] :

- Kawat penghantar tanpa isolasi (telanjang) yang dibuat dari Cu dan Al, seperti AAC (*All Aluminium Conductor*), AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*) dan ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*).
- Kawat penghantar yang terbungkus isolasi, ada yang berinti tunggal atau banyak, ada yang kaku atau berserat, ada yang dipasang di udara atau di dalam tanah dan masing-masing digunakan sesuai dengan kondisi

pemasangannya. Sebagai contoh yaitu MVTIC (*Medium Voltage Twisted Insulated Cable*).

Komponen utama dalam konstruksi SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah) ada beberapa macam, diantaranya :

- Penghantar

- Penghantar Telanjang (BC : *Bare Conductor*)

Konduktor dengan bahan utama tembaga (Cu) atau aluminium (Al) yang di pilin bulat padat , sesuai SPLN 42 -10 : 1986 dan SPLN 74 : 1987. Pilihan konduktor penghantar telanjang yang memenuhi pada dekade ini adalah AAC atau AAAC. Sebagai akibat tingginya harga tembaga dunia, saat ini belum memungkinkan penggunaan penghantar berbahan tembaga sebagai pilihan yang baik.

- Penghantar Berisolasi Setengah AAAC-S (*half insulated single core*)

Konduktor dengan bahan utama aluminium ini diisolasi dengan material XLPE (crosslink polyetilene langsung), dengan batas tegangan 6 kV dan harus memenuhi SPLN No 43-5-6 tahun 1995.

- Peralatan Hubung (*Switching*)

Pada percabangan atau pengalokasian seksi pada jaringan SUTM untuk maksud kemudahan operasional harus dipasang Pemutus Beban (*Load Break Switch* : LBS), selain LBS dapat juga dipasangkan *Fused Cut-Out* (FCO).

- Konektor

Konektor adalah peralatan yang dipergunakan untuk menyambung kawat penghantar. Jenis konektor yang digunakan ada beberapa macam yaitu :

- a. Joint Sleeve Connector (Sambungan Lurus)

b. Paralel Groove Connector (Sambungan Percabangan)

c. Live Line Connector (Sambungan Sementara yang bisa dibuka pasang)

Joint sleeve adalah jenis konektor yang digunakan untuk sambungan penghantar pada posisi lurus. *Tap connector* adalah jenis konektor yang digunakan untuk sambungan penghantar pada titik percabangan. *Live Line connector* adalah jenis konektor yang digunakan untuk pekerjaan dalam keadaan bertegangan (PDKB).

- Tiang

Tiang merupakan komponen penting karena tiang berfungsi sebagai penyangga penghantar/kabel dan tempat bertumpunya isolator. Ada 3 jenis tiang, yaitu :

- Tiang Kayu

SPLN 115 : 1995 berisikan tentang Tiang Kayu untuk jaringan distribusi, kekuatan, ketinggian dan pengawetan kayu sehingga pada beberapa wilayah perusahaan PT PLN Persero bila suplai kayu memungkinkan, dapat digunakan sebagai tiang penopang penghantar penghantar SUTM.

- Tiang Besi

Adalah jenis tiang terbuat dari pipa besi yang disambungkan hingga diperoleh kekuatan beban tertentu sesuai kebutuhan. Walaupun lebih mahal, pilihan tiang besi untuk area/wilayah tertentu masih diijinkan karena bobotnya lebih ringan dibandingkan dengan tiang beton. Pilihan utama juga dimungkinkan bilamana total biaya material dan

transportasi lebih murah dibandingkan dengan tiang beton akibat diwilayah tersebut belum ada pabrik tiang beton.

- Tiang Beton

Untuk kekuatan sama, pilihan tiang jenis ini dianjurkan digunakan di seluruh PLN karena lebih murah dibandingkan dengan jenis konstruksi tiang lainnya termasuk terhadap kemungkinan penggunaan konstruksi rangkaian besi profil.

- Isolator

Pada jaringan SUTM, Isolator pengaman penghantar bertegangan dengan tiang penopang/*travers* dibedakan untuk jenis konstruksinya adalah :

- Isolator Tarik



Gambar 2.8. Jenis-jenis isolator tarik.

Gambar 2.8 merupakan isolator tarik, isolator tarik mempunyai material dasar dapat berupa keramik atau gelas atau polimer. Isolator tarik biasa dipasang menggantung atau tidak menempel pada tiang konstruksi.

Jenisnya ada dua, yaitu : piringan dan *long rod*.

- Isolator Tumpu



Gambar 2.9. Jenis-jenis isolator tumpu.

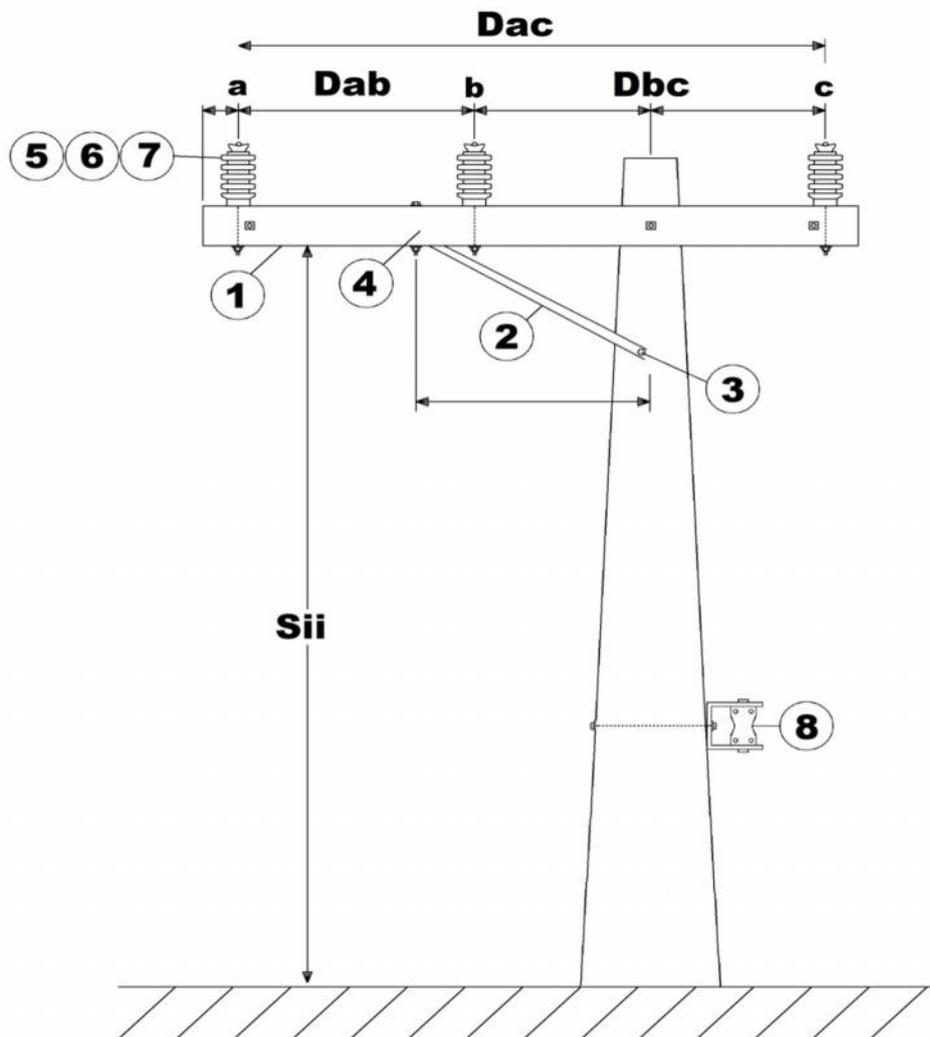
Gambar 2.9 merupakan jenis-jenis isolator tumpu, isolator tumpu biasanya dipasang di tiang yang mempunyai penyangga. Jenisnya ada tiga, yaitu : *pin insulator*, *pin post insulator* dan *line post insulator*.

Dalam saluran distribusi di Indonesia umumnya menggunakan saluran udara (*overhead line*) dan menggunakan tiang besi atau beton untuk penyangga penghantar yang akan digunakan. Penggunaan tiang disesuaikan dengan fungsi tiang (tiang awal/akhir, tiang sudut, tiang penyanggah, tiang peregang, tiang seksi). Tiang ditanam $\frac{1}{6}$ kali panjang tiang, dengan sudut kemiringan tidak melebihi 5° . Fondasi tiang dipakai untuk tiang awal, tiang akhir, Gardu Portal/Cantol, tiang sudut. Ukuran fondasi disesuaikan dengan besar/ kuat tarik tiang (daN) dan daya dukung jenis tanah. Konstruksi pada tiang (*Pole Top Construction*) dilakukan minimal 15 cm dibawah ujung tiang bagian atas. Jarak pendirian tiang (*pole staking*) atau antar-gawang diatur sebagai berikut:

- dalam kota : maksimum 40 meter
- luar kota : maksimum 50 meter
- listrik desa : maksimum 60 meter

Pemakaian panjang tiang adalah 11, 12, 13 dan 14 meter untuk Jaringan Tegangan

Menengah dengan kekuatan beban kerja (*working load*) 200 daN, 350 daN, 500 daN dan 800 daN.



Gambar 2.10. Konstruksi tiang SUTM

Keterangan :

1. *Cross arm*
2. *Arm brace*
3. *Boltnut double*

4. Isolator tumpu
5. *Bounding wire*
6. *Perormed tie*
7. *Alumunium tape*
8. Isolator ANSI

Gambar 2.10 merupakan gambar tiang konstruksi SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah). Tiang konstruksi SUTM memiliki beberapa komponen penting yang menunjang dalam proses penyaluran atau distribusi tenaga listrik dari proses pembangkitan hingga ke beban atau konsumen.

2.5. Jenis-jenis Konduktor SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah)

Pada SUTM (Saluran Udara Tegangan Menengah) menggunakan 2 tipe kabel yaitu kabel yang berisolasi dan kabel yang tidak berisolasi. Pada penelitian ini hanya membahas mengenai tipe kabel yang tidak berisolasi yaitu jenis kabel yang digunakan antara lain AAC, AAAC dan ACSR.

- AAC (All Alumunium Conductor)

Yaitu penghantar aluminium murni. Kabel tembaga jenis ini bentuknya berurat banyak dengan ukurannya antara 16 - 100 mm.

- AAAC (All Alumunium Alloy Conductor)

Yaitu penghantar aluminium campuran. Kabel tembaga jenis ini mempunyai ukuran antara 16 - 500 mm, dengan bentuk fisiknya berurat banyak.

- ACSR (Alumunium Conductor Steel Reinforced)

Yaitu penghantar aluminium basa. Kabel tembaga Jenis ini mempunyai ukuran antara 16 – 680 mm, dengan struktur bentuknya berupa serabut.

2.6. Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai permodelan saluran udara ini sudah diteliti oleh William H. Kersting dalam bukunya yang berjudul “*Distribution System Modeling and Analysis, 2001*” dan jurnal penelitiannya yang berjudul “*The Application of Carson’s Equation to the Steady-State Analysis of Distribution Feeders*”. Di dalam buku yang ditulis oleh William H. Kersting dipaparkan mengenai penjelasan tentang bagaimana memodelkan saluran udara pada sistem distribusi. Untuk melakukan perhitungan impedansi urutan pada saluran, pertama dengan menurunkan rumus dari persamaan Carson dimana persamaan ini berguna untuk mengetahui impedansi sendiri (*self impedance*) dan impedansi bersama (*mutual impedance*) sebelum menentukan impedansi urutan [15]. Disini diperlukan juga data seperti jenis kabel yang diketahui, resistansi kabel, GMR (*Geometric Mean Radius*) dari kabel tersebut, resistivitas tanah dan frekuensi sistem kelistrikan. Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu, penulis menerapkannya untuk Penyulang Katu Gardu Induk Mengala dengan menyempurnakan bahasa pemrograman Python yang sudah diselesaikan oleh Muhamad Wahidi, S.T. dengan menambahkan variabel-variabel yang mempengaruhi aliran daya yang akan diperhitungkan pada penelitian ini. Di dalam penelitian ini dilakukan permodelan saluran udara dengan menggunakan perangkat lunak Python yang

mana penelitian ini juga melanjutkan penelitian dari Muhamad Wahidi, S.T. “Analisa Aliran Daya Tiga Fasa Tak Seimbang pada Penyulang Kangkung PT. PLN Distribusi Lampung” [16].

2.7. Perangkat Lunak Pendukung

2.7.1. UnilaPF (Unila *Power Flow*)

UnilaPF adalah perangkat lunak yang berguna untuk menghitung aliran daya. UnilaPF digagas oleh Dr. Eng. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc. selaku dosen jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung. UnilaPF nantinya akan dijadikan sebagai perangkat lunak gratis yang dapat menghitung aliran daya. Perangkat lunak ini dibangun dengan menggunakan program Python.

2.7.2. Python

Python adalah *open source software* dimana keuntungan dari python adalah gratis dan memungkinkan dalam penggunaan kode secara bebas untuk memodifikasi dan bisa dikembangkan lagi. Python termasuk bahasa pemrograman yang cocok untuk analisis sistem tenaga dan simulasi. Sebenarnya bahasa komputer itu banyak sekali, tidak hanya python. Bahasa pemrograman tidak hanya menerjemahkan formula matematika ke dalam format yang dapat dibaca komputer. Sebaliknya masing-masing bahasa pemrograman menyediakan cara berpikir tertentu, sehingga lebih mengutamakan tentang pola pikir simulasi yang akan dibuat . Dalam teori, langkah-langkah untuk mempelajari sistem tenaga adalah memodelkan rangkaian sistem tenaga, mengatur persamaan matematika,

memodelkan ke dalam perangkat lunak, mengimplementasikan program serta analisis dan simulasi

2.7.3. ETAP

ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, online untuk pengelolaan data real-time atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara real-time. Fitur yang terdapat di dalamnya pun bermacam-macam antara lain fitur yang digunakan untuk menganalisa pembangkitan tenaga listrik, sistem transmisi maupun sistem distribusi tenaga listrik. ETAP ini awalnya dibuat dan dikembangkan untuk meningkatkan kualitas kearnanan fisiitas nuklir di Arnerika Serikat yang selanjutnya dikembangkan menjadi sistem monitor manajemen energi secara *real time*, simulasi, kontrol, dan optimasi sistem tenaga listrik. ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (*one line diagram*) dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain: aiiran daya, hubung singkat, starting motor, *trancient stability*, koordinasi relay proteksi dan sistem harmonisasi. Proyek 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.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

1. Waktu Penelitian

Penulis melakukan kegiatan penelitian tugas akhir ini dari bulan Mei 2015 – Februari 2016.

2. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada:

- Laboratorium Sistem Tenaga, Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung

3.2. Alat dan Bahan

1. Bahan Penelitian

Pada penelitian ini bahan-bahan yang digunakan antara lain:

- Data penyulang Katu, GI Menggala, PT. PLN (Persero) Distribusi Lampung
- Data kabel menurut SPLN

2. Alat Penelitian

Pada penelitian ini peralatan yang digunakan antara lain:

- Seperangkat komputer Intel Core I3 2,1 GHz
- *Software* Python 2.7
- *Software* ETAP

3.3. Metode Penelitian

Dalam penyelesaian penelitian tugas akhir ini ada beberapa langkah kegiatan yang dilakukan yaitu :

1. Mengidentifikasi Masalah

Di tahap ini penulis mengidentifikasi permasalahan yaitu belum adanya permodelan untuk menghitung nilai impedansi saluran, maka dalam penelitian ini akan dibuat permodelannya.

2. Studi Literatur

Ini merupakan tahapan di mana penulis mengumpulkan dan mempelajari tentang impedansi saluran dimana impedansi didapatkan setelah menyelesaikan persamaan matematis dari persamaan Carson yang gunanya untuk menghitung impedansi saluran. Studi literatur dimaksudkan untuk mempelajari berbagai sumber referensi atau teori (buku dan internet) yang

berkaitan dengan penelitian tugas akhir sebagai dasar dalam mengerjakan tugas akhir ini.

3. Studi Bimbingan

Berbentuk tanya jawab dan bimbingan dengan dosen pembimbing mengenai masalah-masalah yang timbul selama pengerjaan serta penulisan penelitian tugas akhir berlangsung.

4. Pengumpulan Data

Langkah selanjutnya yang dilakukan penulis adalah mengumpulkan data – data yang diperlukan dalam penulisan tugas akhir ini. Data – data yang dikumpulkan berasal dari PT PLN (Persero). Data yang dikumpulkan tersebut adalah:

- Data penyulang Katu, GI Menggala, PT. PLN (Persero) Distribusi Lampung
- Data kabel menurut SPLN

5. Pembuatan Permodelan dan Simulasi

Penelitian tahap berikutnya berlanjut ke proses pembuatan permodelan dan simulasi. Data – data yang telah terkumpul sebelumnya dilakukan untuk mengetahui impedansi urutan pada saluran. Pada simulasi ini menggunakan metode Carson. Langkah – langkah simulasi:

- a. Mengetahui parameter yang akan digunakan untuk mengetahui nilai impedansi urutan pada saluran.
- b. Melakukan penurunan rumus persamaan matematis dari persamaan Carson.

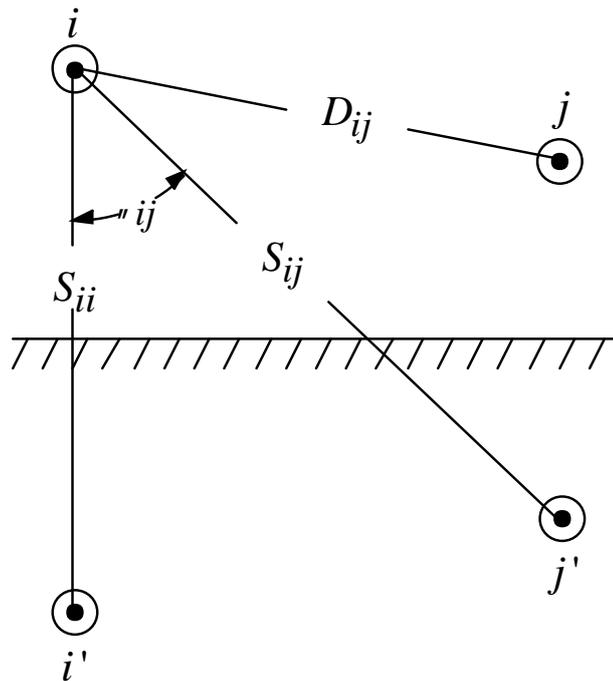
- c. Membuat permodelan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak Python 2.7.
- d. Memasukkan hasil penurunan persamaan matematis yang telah dilakukan ke dalam permodelan tersebut.
- e. Mendapatkan nilai impedansi urutan yang berguna untuk mendapatkan nilai admitansi untuk menghitung atau menganalisis aliran daya.

6. Analisa

Langkah berikut adalah tahapan terakhir dalam tugas akhir ini. Dari hasil simulasi akan didapatkan hasil impedansi urutan pada saluran lalu menganalisa hasil permodelan dan simulasi yang telah dilakukan.

3.4. Metode Carson

Salah satu tujuan utama dari melakukan analisis kondisi *steady state* penyulang distribusi adalah untuk menentukan tegangan pada setiap titik. Pada tahun 1926 John Carson mengembangkan persamaan yang akan menentukan impedansi sendiri dan impedansi bersama dari sejumlah konduktor saluran udara atau bawah tanah dengan mempertimbangkan efek dari tanah. Dalam beberapa tahun terakhir penerapan persamaan Carson telah menjadi standar untuk perhitungan impedansi saluran. Karena hasil persamaan Carson dalam sebuah seri terbatas, perkiraan telah dibuat untuk memudahkan dalam perhitungan impedansi.



Gambar 3.1. Jarak antar konduktor

Persamaan Carson

$$z_{ii} = r_i + 4\omega P_{ii}G + j \left(x_i + 2\omega G \cdot \ln \frac{S_{ii}}{RD_i} + 4\omega Q_{ii}G \right) \Omega/\text{mile} \text{ (impedansi sendiri)} \dots \dots \dots (3.1)$$

$$z_{ij} = 4\omega P_{ij}G + j \left(2\omega G \cdot \ln \frac{S_{ij}}{D_{ij}} + 4\omega Q_{ij}G \right) \Omega/\text{mile} \text{ (impedansi bersama)} \dots \dots \dots (3.2)$$

Dimana:

z_{ii} = impedansi sendiri konduktor i dalam /mile

z_{ij} = impedansi bersama konduktor i dalam /mile

r_i = resistansi konduktor i dalam /mile

$\omega = 2\pi f$ = sistem frekuensi sudut dalam radian per detik

$G = 0.1609344 \times 10^{-3} \Omega/\text{mile}$

RD_i = jarak konduktor i dalam feet

GMR_i = Geometric Mean Radius konduktor i dalam feet

f = frekuensi dalam hz

ρ = resistivitas tanah dalam -meters

D_{ij} = jarak antar konduktor i dan j dalam feet

S_{ij} = jarak antar konduktor i dan j dalam feet

θ_{ij} = sudut antara sepasang garis yang ditarik dari konduktor i gambar sendiri dan gambar konduktor j

$$P_{ij} = \frac{\pi}{8}$$

$$Q_{ij} = -0.03860 + \frac{1}{2} \ln \frac{2}{k_{ij}}$$

$$k_{ij} = 8.565 \times 10^{-4} \cdot S_{ij} \cdot \sqrt{\frac{f}{\rho}}$$

Persamaan carson yang Telah Dimodifikasi

$$z_{ii} = r_i + 4\omega P_{ii}G + j \left(x_i + 2\omega G \cdot \ln \frac{S_{ii}}{RD_i} + 4\omega Q_{ii}G \right) \dots \dots \dots (3.3)$$

Ketika:

$$P_{ij} = \frac{\pi}{8}$$

$$k_{ij} = 8.565 \times 10^{-4} \cdot S_{ij} \cdot \sqrt{\frac{f}{\rho}}$$

$$Q_{ij} = -0.03860 + \frac{1}{2} \ln \left[\frac{2}{8.565 \times 10^{-4} \cdot S_{ij} \cdot \sqrt{\frac{f}{\rho}}} \right]$$

$$X_i = 2\omega G \cdot \ln \frac{RD_i}{GMR_i}$$

$$z_{ii} = r_i + 4(2\pi f) \frac{\pi}{8} G + j \left(2\omega G \cdot \ln \frac{RD_i}{GMR_i} + 2(2\pi f)G \cdot \ln \frac{S_{ii}}{RD_i} + 4(2\pi f)G \right) - 0.03860 + \frac{1}{2} \ln \left[\frac{2}{8.565 \times 10^{-4} \cdot S_{ij} \cdot \sqrt{\frac{f}{\rho}}} \right] \dots\dots\dots(3.4)$$

$$z_{ii} = r_i + (\pi^2 f G) + j \left(\left(4\pi G f \cdot \ln \frac{RD_i}{GMR_i} \right) + \left(4\pi f G \cdot \ln \frac{S_{ii}}{RD_i} \right) + (8\pi f G) \right) - \left(0.03860 + \frac{1}{2} \ln \left[\frac{2}{8.565 \times 10^{-4}} \right] \right) + \frac{1}{2} \ln S_{ij} + \frac{1}{2} \ln \frac{\rho}{f} \dots\dots\dots(3.5)$$

$$z_{ii} = r_i + (\pi^2 f G) + j \left(4\pi G f \cdot \ln \frac{S_{ii}}{GMR_i} + 8\pi f G \left(\frac{1}{2} \ln \left[\frac{2}{8.565 \times 10^{-4}} \right] \right) - \frac{1}{2} \ln S_{ii} + \frac{1}{4} \ln \frac{\rho}{f} \right) \dots\dots\dots(3.6)$$

$$z_{ii} = r_i + (\pi^2 f G) + j 4\pi G f \left(\ln \frac{S_{ii}}{GMR_i} + 2 \left(-0,03860 + \frac{1}{2} \ln \left[\frac{2}{8.565 \times 10^{-4}} \right] \right) - \frac{1}{2} \ln S_{ii} + \frac{1}{4} \ln \frac{\rho}{f} \right) \dots\dots\dots(3.7)$$

$$z_{ii} = r_i + (\pi^2 f G) + j 4\pi G f \left(\ln \frac{S_{ii}}{GMR_i} - 0,0772 + \ln \left[\frac{2}{8.565 \times 10^{-4}} \right] - \ln S_{ii} + \frac{1}{2} \ln \frac{\rho}{f} \right) \dots\dots\dots(3.8)$$

$$z_{ii} = r_i + (\pi^2 f G) + j 4\pi G f \left(\ln \frac{1}{GMR_i} - 0,0772 + \ln \left[\frac{2}{8.565 \times 10^{-4}} \right] + \frac{1}{2} \ln \frac{\rho}{f} \right) \dots\dots\dots(3.9)$$

$$z_{ij} = 4(2\pi f) \left(\frac{\pi}{8} \right) G + j \left(2(2\pi f)G \cdot \ln \frac{S_{ij}}{D_{ij}} + 4(2\pi f)G - 0.03860 + \frac{1}{2} \ln \left[\frac{2}{8.565 \times 10^{-4} \cdot S_{ij} \cdot \sqrt{\frac{f}{\rho}}} \right] \right) \dots\dots\dots(3.10)$$

$$z_{ij} = \pi^2 G f + j \left(4\pi G f \cdot \ln \frac{S_{ij}}{D_{ij}} + 8\pi f G \left(-0.03860 + \frac{1}{2} \ln \left[\frac{2}{8.565 \times 10^{-4}} \right] \right) + \frac{1}{2} \ln \frac{1}{S_{ij}} + \frac{1}{2} \ln \sqrt{\frac{\rho}{f}} \right) \dots\dots\dots(3.11)$$

$$z_{ij} = \pi^2 G f + j \left(4\pi G f \cdot \ln \frac{S_{ij}}{D_{ij}} + 8\pi f G \left(-0.03860 + \frac{1}{2} \ln \left[\frac{2}{8.565 \times 10^{-4}} \right] \right) - \frac{1}{2} \ln \frac{1}{S_{ij}} + \frac{1}{4} \ln \sqrt{\frac{\rho}{f}} \right) \dots\dots\dots(3.12)$$

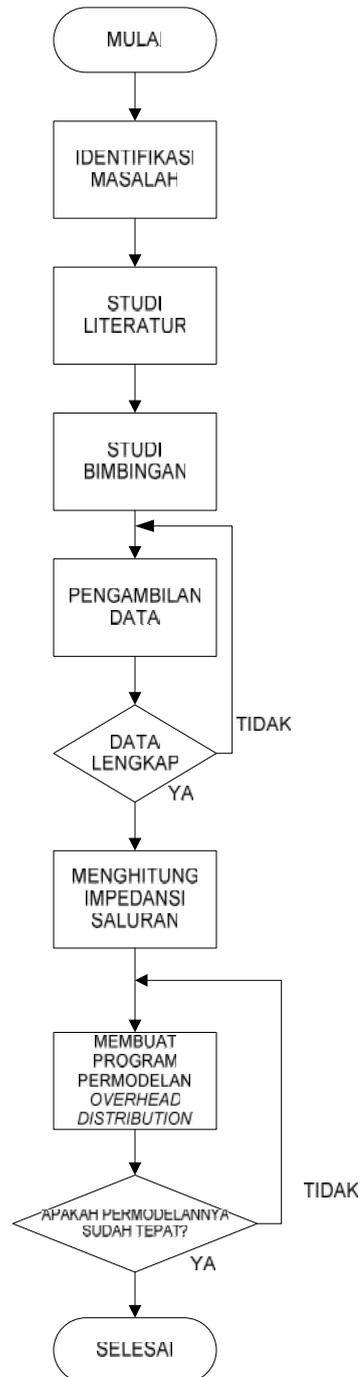
$$z_{ij} = \pi^2 Gf + j4\pi Gf \left(\ln \frac{S_{ij}}{D_{ij}} + 2 \left(-0.03860 + \frac{1}{2} \ln \left[\frac{2}{8.565 \times 10^{-4}} \right] \right) - \frac{1}{2} \ln \frac{1}{S_{ij}} + \frac{1}{4} \ln \frac{\rho}{f} \right) \dots \dots \dots (3.13)$$

$$z_{ij} = \pi^2 Gf + j4\pi Gf \left(\ln \frac{S_{ij}}{D_{ij}} - 0.0772 + \ln \left[\frac{2}{8.565 \times 10^{-4}} \right] - \ln S_{ij} + \frac{1}{2} \ln \frac{\rho}{f} \right) \dots \dots (3.14)$$

$$z_{ij} = \pi^2 Gf + j4\pi Gf \left(\ln \frac{1}{D_{ij}} - 0.0772 + \ln \left[\frac{2}{8.565 \times 10^{-4}} \right] + \frac{1}{2} \ln \frac{\rho}{f} \right) \dots \dots \dots (3.15)$$

3.5. Diagram Alir Penelitian

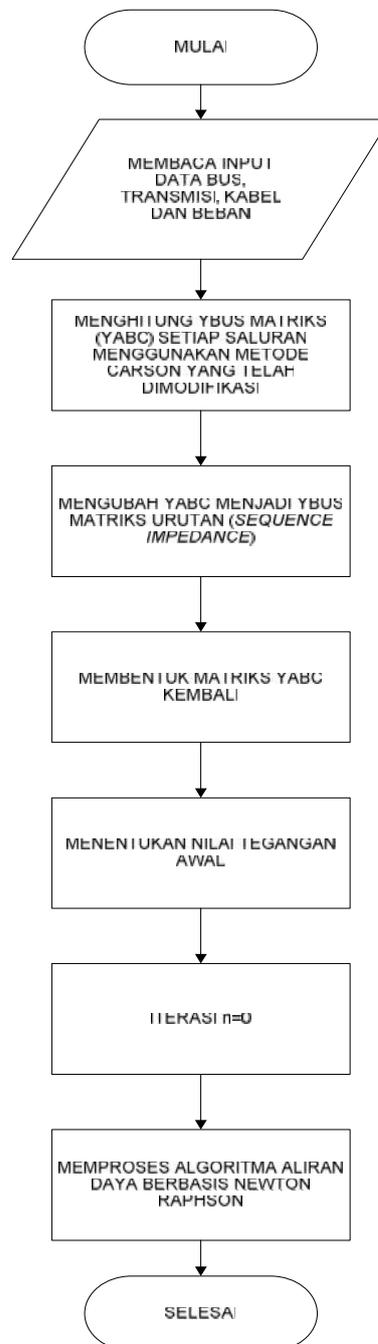
Berikut gambar 3.2 adalah merupakan diagram alir dari penelitian tugas akhir yang penulis lakukan:



Gambar 3.2. Gambar diagram alir penelitian

3.6. Diagram Alir Program

Berikut pada gambar 3.3 adalah merupakan diagram alir dari program tugas akhir yang penulis lakukan :



Gambar 3.3. Gambar diagram alir program

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan simulasi dan pembahasan yang dapat diambil setelah penulis selesai melaksanakan tugas akhir dapat disimpulkan sebagai berikut :

Berdasarkan Analisis dan pembahasan dapat diambil beberapa simpulan sebagai berikut :

1. Penelitian ini merupakan permodelan saluran udara pada sistem distribusi untuk mengetahui impedansi kabel atau penghantar dengan simulasi yang dibuat dengan program ETAP dan UnilaPF.
2. Hasil yang diperoleh untuk hasil pada ETAP memerlukan waktu 4 detik dan untuk UnilaPF yaitu 5 detik.
3. Hasil simulasi 11 bus dengan 119 bus pada Penyulang Katu bahwa didapatkan selisih impedansi urutan nol pada ETAP dengan UnilaPF menggunakan konduktor AAAC ukuran 35 mm² pada R urutan nol sebesar 3,328% dan pada X urutan nol sebesar 0,15%. Pada konduktor AAAC ukuran 70 mm² didapatkan selisih impedansi urutan sebesar pada R urutan nol sebesar 2,582% dan pada X urutan nol sebesar 2,52%. Pada konduktor AAAC ukuran 150 mm² didapatkan selisih impedansi urutan sebesar pada R urutan nol sebesar 0,93% dan pada X urutan nol sebesar 2,94%.

4. Hasil simulasi 11 bus dengan 119 bus pada Penyulang Katu bahwa didapatkan selisih impedansi urutan positif pada ETAP dengan UnilaPF menggunakan konduktor AAAC ukuran 35 mm^2 pada R urutan positif sebesar 3,63% dan pada X urutan positif sebesar 0,19%. Pada konduktor AAAC ukuran 70 mm^2 didapatkan selisih impedansi urutan sebesar pada R urutan positif sebesar 2,28% dan pada X urutan positif sebesar 2,504%. Pada konduktor AAAC ukuran 150 mm^2 didapatkan selisih impedansi urutan sebesar pada R urutan positif sebesar 0,62% dan pada X urutan positif sebesar 2,905%.
5. Dengan mengikuti data kabel, data yang berhubungan dengan impedansi urutan dan persamaan Carson maka dapat diketahui impedansi urutannya.
6. Pada sistem distribusi tiga fasa, penggunaan metode Carson untuk mencari impedansi urutan dengan menggunakan program UnilaPF telah diuji dengan data yang sudah ada (ETAP). Didapat bahwa pola grafik yang dihasilkan UnilaPF dan ETAP mendekati satu sama lain hal ini terjadi karena data yang sudah ada (ETAP) menggunakan konstanta tambahan pada hasil ETAP tersebut sehingga nilai-nilainya berbeda tapi memiliki pola grafik yang sama.
7. Karena di sistem distribusi bersifat tak seimbang maka analisis paling akurat pun tidak memberikan asumsi apapun terhadap konfigurasi konduktor atau kabel, maka di dalam penelitian ini diperlukan metode Carson untuk menentukan impedansi urutan.

5.2. Saran

Berdasarkan simulasi, pembahasan dan kesimpulan yang telah dilakukan, maka untuk pengembangan yaitu :

1. Analisis lebih lanjut mengenai kabel MVTIC (*Medium Voltage Twisted Insulated Cable*) dan kabel bawah tanah agar dapat menyempurnakan penelitian ini karena di dalam penelitian ini hanya membahas impedansi urutan pada saluran udara.
2. Perlu adanya *software* lain yang digunakan untuk membandingkan hasil yang telah dicapai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Allen J.W. dan Bruce F.W. 1996. *Power Generation, Operation and Control*. John Wiley & Sons Inc, America.
- [2] Arismunandar, A. Kuwahara,S. 1973. *Teknik Tenaga Listrik*. Jakarta.
- [3] Arnold, T.P. dan Mercier, C.D.,*Power Cable Manual, 2nd ed.*, Southwire Company, Carrollton, GA, 1997.
- [4] Carson, John R., *Wave propagation in overhead wires with ground return*, Bell System Technical Journal, Vol. 5, New York, 1926.
- [5] Glover, J.D. dan Sarma, M., *Power System Analysis and Design, 2nd edition*, PWS Publishing Co., Boston, 1994.
- [6] Gonen T., "*Electric Power Transmission System Engineering, Analysis and Design*", John Wiley Sons, New York, USA, pp. 172-184, 1988.
- [7] Grainger, J.J., Stevenson, W.D. 1994. *Power System Analysis*. Mc Graw-Hill. New York.
- [8] Hakim, L. 2013. *Buku Ajar Mata Kuliah Analisa Sistem Tenaga*. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- [9] Handoko, Trisno. 2014. *Visualisasi Aliran Daya Tiga Fasa Tak Seimbang pada Penyulang Kangkung PT. PLN (Persero) Distribusi Lampung Berbasis GIS (Geographic Information System)*. Skripsi

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung.
Bandar Lampung.

- [10] Kersting, W.H. *Distribution System Modeling and Analysis*, CRC Press, Boca Raton, FL, 2007.
- [11] Marsudi, Djiteng. 2006. *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- [12] Milano, F. 2009. *Power System Modelling and Scripting*. Springer. London.
- [13] PT. PLN (Persero). 2010. *Standar Konstruksi Jaringan Distribusi Jakarta Raya dan Tangerang PT. PLN Persero Buku I, II, III, IV, V*. Jakarta.
- [14] PT. PLN (Persero). 2008. *Standar Konstruksi Jaringan Distribusi PT. PLN Persero Distribusi Jawa Tengah dan Jogjakarta*.
- [15] Saadat, Hadi. 1999. *Power System Analysis 2nd Edition*. McGraw Hill. Ch.1.
- [16] Stevenson, W.D. 1975. *Elements of Power System Analysis Third Edition*. McGraw-Hill. NewYork.
- [17] W.H. Kersting dan R.K. Green. *The Application of Carson's Equation to the Steady State Analysis of Distribution Feeders*. CRC Press, Boca Raton, FL, 2007.
- [18] Wahidi, M. 2014. *Studi Kasus Aliran Daya Tiga Fasa Tak Seimbang di PLN Distribusi Lampung Menggunakan Metode Newton-Raphson dalam Bentuk Rectangular*. Skripsi Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung. Bandar Lampung.

[19] Weedy, B.M., et al. 2012. *Electric Power System Fifth Edition*. John Wiley & Sons Ltd. West Sussex.