

**APLIKASI METODE *MODIFIED* CARSON PADA SALURAN KABEL  
UDARA TEGANGAN MENENGAH (SKUTM) UNTUK ANALISA  
ALIRAN DAYA TIGA FASA PADA PENYULANG KATU ,  
GI MENGGALA**

(SKRIPSI)

Oleh

**ALEX MUNANDAR**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2016**

## **ABSTRACT**

### **THE APPLICATION OF MODIFIED CARSON'S METHODE TO OVERHEAD LINE CABLE (SKUTM) FOR THREE PHASE POWER FLOW ANALYSIS AT KATU FEEDER, MENGGALA SUBSTATION.**

**By:**

**ALEX MUNANDAR**

The determination of sequence impedance is critical step in power flow analysis. Every distribution line, either overhead line (SUTM) or overhead line cable (SKUTM), has its value of sequence impedance. Generally, distribution line consist of overhead line and overhead line cable. Previous research used overhead line (SUTM) to determine the sequence impedance. For accurate power flow analysis it is required to determine the sequence impedance of overhead line cable (SKUTM).

Modified Carson is a method to determine the sequence impedance of overhead line and overhead line cable. This research uses two models of SKUTM. First, SKUTM with ungrounded messenger wire, and the second SKUTM with grounded messenger wire. Three sizes of cable, there are 120 mm<sup>2</sup>, 150 mm<sup>2</sup>, and 240 mm<sup>2</sup> are used in this research. The sequence impedance are calculated using Python and OpenDss software. As a comparison of calculation's result, a standard of PLN (SPLN) are used. The three phase power flow analysis used the sequence impedance of these value.

This research shows that sequence impedance of overhead cable line is getting lower by the increment of cable size. While, grounded messenger wire only affected the zero sequence impedance of overhead cable line (SKUTM). This research also shows that sequence impedance obtained by Python and OpenDss has different value for zero sequence impedance. A significant error has found if the computation's result compared to SPLN. Three phase power flow analysis simulation shows that line to line voltage, active power losses, and reactive power losses has different value by using sequence impedance from Python, OpenDss, and SPLN.

Keywords: sequence impedance, modified Carson, power flow analysis.

## ABSTRAK

### APLIKASI METODE *MODIFIED* CARSON PADA SALURAN KABEL UDARA TEGANGAN MENENGAH (SKUTM) UNTUK ANALISA ALIRAN DAYA TIGA FASA PADA PENYULANG KATU, GI MENGGALA.

OLEH:

ALEX MUNANDAR

Menentukan impedansi urutan merupakan langkah awal dalam melakukan studi analisa aliran daya. Setiap saluran distribusi, baik konduktor telanjang (SUTM) maupun kabel tegangan menengah (SKUTM) memiliki nilai impedansi urutannya masing-masing. Umumnya, saluran distribusi merupakan gabungan antara SUTM dan SKUTM. Penelitian sebelumnya hanya menghitung impedansi urutan dari SUTM saja, sehingga penting untuk menghitung impedansi urutan dari SKUTM agar analisa aliran daya dapat dilakukan seakurat mungkin.

Metode *modified* Carson merupakan cara untuk menghitung impedansi urutan dari suatu penghantar. Penelitian ini dilakukan dengan memodelkan SKUTM menjadi dua model. Pertama, dengan kabel *messenger* yang dibumikan, dan kedua, kabel *messenger* yang tak dibumikan. Penelitian ini menggunakan tiga ukuran kabel, yaitu 120 mm<sup>2</sup>, 150 mm<sup>2</sup>, dan 240 mm<sup>2</sup>. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan Perangkat lunak Python dan Opendss, ditambah SPLN sebagai pembanding. Simulasi aliran daya tiga fasa dilakukan dengan menggunakan impedansi urutan yang diperoleh dari ketiga nilai.

Dari penelitian yang dilakukan, diperoleh hasil bahwa nilai impedansi urutan semakin kecil dengan semakin besarnya luas penampang dari suatu penghantar. Pembumian kabel *messenger* hanya berdampak pada perubahan nilai impedansi urutan nol saja. terdapat perbedaan nilai impedansi urutan antara Python dan OpenDss, terutama pada impedansi urutan nol. Sedangkan perbedaan yang cukup signifikan terjadi saat nilai yang diperoleh dibandingkan dengan SPLN. Simulasi aliran daya tiga fasa menunjukkan terdapat perbedaan pada tegangan, rugi-rugi daya aktif, dan rugi-rugi daya reaktif saat digunakan impedansi urutan dari Python, OpenDss, dan SPLN.

Kata kunci: *modified* Carson, impedansi urutan, aliran daya.

**APLIKASI METODE *MODIFIED* CARSON PADA SALURAN KABEL  
UDARA TEGANGAN MENENGAH (SKUTM) UNTUK ANALISA  
ALIRAN DAYA TIGA FASA PADA PENYULANG KATU ,  
GI MENGGALA**

Oleh

Alex Munandar

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

: **APLIKASI METODE *MODIFIED CARSON*  
PADA SALURAN KABEL UDARA TEGANGAN  
MENENGAH (SKUTM) UNTUK ANALISA  
ALIRAN DAYA TIGA FASA PADA  
PENYULANG KATU, GI MENGGALA**

Nama Mahasiswa

: **Alex Munandar**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1115031008

Program Studi

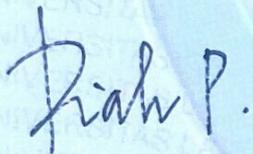
: Teknik Elektro

Fakultas

: Teknik

**MENYETUJUI**

1. Komisi Pembimbing

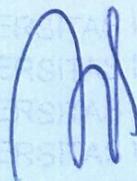


**Dr. Eng. Diah Permata, S.T., M.T.**  
NIP 19700528 199803 2 003



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

2. Ketua Jurusan



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

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

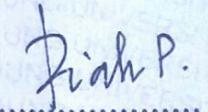
**Ketua**

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



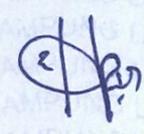
**Sekretaris**

**: Dr. Eng. Diah Permata, S.T., M.T.** .....



**Penguji**

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



**2. Dekan Fakultas Teknik**



**Prof. Dr. Suharno, M.Sc.**

**NIP 19620717 198703 1 002** 

**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 11 April 2016**

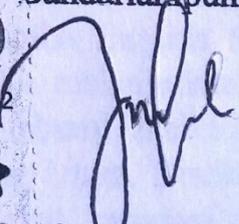
## SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sepanjang pengetahuan saya juga 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 putaka. Selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

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

Bandarlampung, April 2016



  
Alex Munandar

1115031008

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan tanggal 3 Desember 1993, disebuah desa kecil bernama Suka Dana Udik, Kecamatan Bunga Mayang, Kabupaten Lampung Utara. Penulis merupakan anak dan putra ke tiga dari pasangan dua orang insan bernama Kausar dan Nurhayati. Anak pertama pasangan ini bernama Andriyan Syah, dan anak kedua bernama Adi Gunawan. Perbedaan umur antara anak pertama dan kedua adalah dua tahun, sedangkan anak kedua dan ketiga berjarak 3 tahun. Selang 3 tahun kemudian, keluarga ini dikaruniai seorang

anak perempuan sekaligus menjadi anak terakhir bernama Desti Diana Sari. Jadilah kehidupan penulis dengan dua orang kakak laki-laki dan satu adik perempuan.

Pendidikan penulis diawali di SDN 01 Negara Tulang Bawang pada tahun 1999. Masa sekolah dasar dihabiskan penulis untuk bermain dan belajar bersama teman-teman sebaya. Pada fasa pendidikan ini, penulis dikenal sebagai anak yang rajin dan pandai. Predikat peringkat satu diraih penulis sejak duduk di kelas tiga dan mampu dipertahankan sampai tamat sekolah dasar, bahkan penulis dinobatkan sebagai lulusan terbaik pada masa itu.

Selesai sekolah dasar, penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 02 Bunga Mayang pada tahun 2005. Dimasa pendidikan ini, penulis mulai rajin mengikuti kompetisi di tingkat kabupaten sampai tingkat provinsi. Beberapa penghargaan berhasil diraih, diantaranya adalah juara II story telling tingkat Provinsi Lampung, dan juara I lomba English Speech Contest tingkat Lampung Utara. Pada tahun 2008, penulis melanjutkan pendidikan di Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 02 Kotabumi melalui jalur khusus. Sekolah ini merupakan sekolah terbaik di Lampung Utara. Disekolah ini penulis aktif mengikuti berbagai perlombaan, dari tingkat provinsi sampai tingkat sumbagsel. Berbagai prestasi akademik dan non-akademik pernah penulis raih saat berada di sekolah ini. Selain itu penulis juga aktif di beberapa ekstrakurikuler, diantaranya English Club (EC) sebagai ketua periode 2009-2010, Rohani Islam (Rohis) sebagai ketua periode 2010-2011, Ekskul Olimpiade Fisika sebagai Tutor tahun 2010-2011. Penulis juga aktif di ekskul pramuka dan sebagai anggota Nasyid d'fossil Irsad. Tahun 2011, penulis lulus dari sekolah ini dengan mendapat predikat luusan terbaik.

Setelah menamatkan pendidikan menengah atas, penulis melanjutkan pendidikan Strata I di jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung melalui jalur undangan. Saat kuliah, penulis lebih tidak banyak terlibat dalam hal perlombaan/kompetisi. Penulis memilih untuk mengembangkan diri dalam hal *softskill*. Alhasil, penulis mengikuti beberapa organisasi baik internal ataupun eksternal kampus. Diantaranya adalah HIMATRO Unila sebagai anggota departemen Kerohanian selama dua

periode, anggota Departemen Kaderisasi FOSSI FT Unila, Ketua FOSSI FT Unila periode 2013-2014, Kepala Dinas Pendidikan dan Pengembangan BEM FT Unila 2014-2015, Menteri Pendidikan dan Kepemudaan BEM U KBM Unila kabinet Muda Bergerak, Sekertaris II Forkom Bidik Misi tingkat Univeristas, serta Kepala Departemen kepemudaan IKAM Lampung. Selain kuliah penulis juga aktif mengajar di Bimbel Hafara sebagai tentor Fisika dan pernah menjadi tutor bahasa inggris di Mr.BOB English Club. Terakhir, penulis terpilih sebagai peserta Summer School program 2016 at Kobe University, Japan. Penulis mewakili Unila, sekaligus Indonesia dalam agenda tersebut yang diadakan tanggal 11-15 juli di Universitas Kobe, Jepang.

Penulis juga aktif sebagai asisten Laboratorium Sistem Tenaga Elektrik (STE) dan juga sebagai asisten dosen untuk mata kuliah Bahasa Inggris.

Penulis menyelesaikan Kerja Praktek (KP) di PT.PLN (Persero) Distribusi Lampung pada bulan maret 2013 dengan judul laporan “ Analisis hasil pengukuran dan kesalahan *Autometric meter reading (AMR)* pada pelanggan besar PT. PLN (Persero) Distribusi Lampung”. Penelitian Skripsi Penulis kerjakan di tempat penulis kerja praktik dan laboratorium Sistem Tenaga Elektrik (STE) Unila dan lulus pada tanggal 11 April 2016.

TERUNTUK...

BAPAK DAN IBUNDA KU TERCINTA..

NURHAYATI & KAUSAR

KAKAK DAN ADIKKU TERSAYANG..

ANDRIYANSYAH, S.T

ADI GUNAWAN, S.Pd

Dr. DESTI DIANA SARI

UNTUK AGAMA,

BANGSA..

DAN..

ALMAMATER..

## SANWACANA

**Assalamu'alaikum Wr. Wb.**

*Alhamdulillah*, segala puji milik Allah S.W.T, *ilah* semesta alam, yang telah memberikan kenikmatan yang begitu banyak kepada penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan penelitian dan skripsi ini. Sholawat serta salam selalu tersampaikan kepada Rosulullah Muhammad S.A.W, kepada pada keluarga dan sahabat yang telah menemani beliau dalam memperjuangkan *dienul* islam.

Setelah berjuang selama lebih satu tahun terakhir, akhirnya skripsi dengan judul “Aplikasi Metode *Modified* Carson pada Saluran Kabel Udara Tegangan menengah (SKUTM) untuk analisa aliran daya tiga fasa pada penyulang Katu, GI Menggala” sebagai syarat dalam mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Dalam kesempatan ini penulis dengan bangga untuk mengucapkan terima kasih dan memberikan penghargaan kepada:

1. Bapak Dr.Ing.Ardian Ulvan, S.T.,M.Sc. sebagai Ketua Jurusan Teknik Elektro.
2. Bapak Dr. Herman H. Sinaga sebagai Sekertaris Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Dr.Eng.Lukmanul Hakim,M.Sc sebagai Dosen Pembimbing Utama.
4. Ibu Dr.Eng.Diah Permata, S.T., M.T sebagai Dosen Pembimbing Pendamping.
5. Bapak Herri Gusmedi, S.T., M.T. sebagai Dosen Penguji.

6. Seluruh Dosen jurusan teknik elektro yang sangat saya banggakan dan saya hormati, dan Prof.Kersting yang sangat membantu.
7. Bapak Alam Awaludin, bapak Agus Alhasewi, bapak soeharto, bapak Agus, mas Angga, mas Desgar, mbak Winda, seluruh Karyawan dan Pimpinan PT.PLN (Persero ) Distribusi Lampung yang telah menerima dan membantu saya dalam menyelesaikan Kerja Praktek saya.
8. Untuk Ibu dan Bapak yang sangat saya cintai. Teruntuk kakak saya Andriyansyah, S.T, dan Adi Gunawan S.Pd yang saya cintai dan banggakan. Serta untuk adik saya Desti Diana Sari calon dokter muda Indonesia.
9. Saudara-saudara saya di Teknik Elektro Universitas Lampung angkatan 2011 yang sangat luar biasaaaa..!!
10. Saudara-saudara saya seiman yang sangat saya cintai, untuk Dheni Saputra, J.P, Firdaus, M.Havif, Resthu prayudi, M.Aji Hilmi A, Risky Dwi Printo, Cholik Abdul S, dan Dirya Andriyan.
11. Saudara-saudara saya di FOSSI FT Unila, Himatro, IKAM Lampura, Bidik Misi Unila angkatan II, BEM FT Unila, BEM U KBM Unila kabinet Muda Bergerak. Untuk adik-adik KMB XI yang cerdas berkualitas.
12. Rekan-rekan laboratorium Sistem Tenaga Elektrik (STE), untuk Edi Supriyanto, Yoga Putra P, Andi Irawan, Yusuf, Gusmau, Rani Kusuma D, Fanny Simatupang, Fikri sang Ibra, dan wabil khusus Mas Abdurrahman, M.TI.
13. Serta semua pihak yang terlibat dalam penulisan skripsi ini.

Semoga Allah SWT membalas seluruh kebaikan kalian semua, dan memberi keberkahan atas terselesainya laporan ini. Amin.

Laporan ini menjelaskan aplikasi dari metode *modified* Carson yang sering digunakan untuk menghitung impedansi urutan pada Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM). *Output* dari penelitian ini adalah impedansi urutan dari SKUTM yang selanjutnya digunakan untuk analisa aliran daya tiga fasa, pada penyulang Katu, GI Menggala.

Dari penelitian yang dilakukan, diperoleh hasil bahwa impedansi urutan dari SKUTM semakin kecil dengan semakin bertambahnya ukuran penghantar SKUTM. Dari simulasi aliran daya yang dilakukan diperoleh hasil bahwa impedansi yang berbeda akan mengakibatkan nilai aliran daya berbeda.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan. Karena hal tersebut penulis sangat terbuka untuk masukan dan kritik serta sarana. Tapi dari kekurangan tersebut semoga karya tulis ini bermanfaat, karena ini merupakan usaha keras dan maksimal yang penulis persembahkan.

Bandar Lampung, April 2016

Penulis

**Alex Munandar**  
NPM. 1115031008

## DAFTAR ISI

<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GRAFIK</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>viii</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan.....	3
1.3 Masalah.....	3
1.4 Batasan masalah.....	4
1.5 Manfaat.....	4
1.6 Hipotesis.....	5
1.7 Metodologi penelitian.....	6.
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>7</b>
2.1 Sistem Distribusi.....	7
2.2 Konfigurasi sistem distribusi.....	8
2.3 Konstruksi jaringan tegangan menengah.....	9

2.4 Jenis penghantar pada sistem distribusi.....	12
2.5 persamaan umum menghitung impedansi urutan dari suatu penghantar.....	15
<b>BAB III METODELOGI PENELITIAN.....</b>	<b>24</b>
3.1 waktu dan tempat penelitian.....	24
3.2 alat dan bahan penelitian.....	25
3.3 metode penelitian.....	25
3.4 diagram alir penelitian.....	28
3.5 langkah-langkah perhitungan program.....	29
3.6 diagram alir perhitungan program.....	30
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>31</b>
4.1 Gambaran umum penyulang katu GI menggala.....	31
4.2 Skenario penelitian.....	31
4.3 Hasil penelitian.....	33
4.3.1 Hasil dan pembahasan pada SKUTM dengan kabel messenger tak dibumikan.....	34
4.3.2 Hasil dan pembahasan pada SKUTM dengan kabel messenger dibumikan .....	42
4.3.3 Analisa aliran daya tiga fasa pada penyulang katu GI menggala.....	48
4.3.4 Aliran daya tiga fasa dengan pertimbangan penggantian ukuran penghantar MVTIC dengan ukuran 120 mm <sup>2</sup> atau 240 mm <sup>2</sup> .....	57
4.3.5 Pengaruh ukuran kabel terhadap aliran daya tiga fasa pada penyulang Katu GI Menggala.....	66

**BAB V SIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Simpulan.....82

5.2 saran.....84

LAMPIRAN A

LAMPIRAN B

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 konfigurasi jaringan distribusi.....	9
Gambar 2.2 saluran udara tegangan menengah.....	10
Gambar 2.3 kabel udara tegangan menengah.....	11
Gambar 2.4 kabel tanah tegangan menengah.....	12
Gambar 2.5 <i>concentric neutral cable</i> .....	14
Gambar 2.6 <i>tape shield cable</i> .....	15
Gambar 2.7 dua buah konduktor i dan j...../.....	16
Gambar 2.8 lokasi konduktor i dan j beserta bayangannya.....	20
Gambar 4.1. Resistansi urutan nol ( $R_0$ ) pada 11 saluran.....	37
Gambar 4.2. Reaktansi urutan nol ( $X_0$ ) pada 11 saluran.....	38
Gambar 4.3. Resistansi urutan positif ( $R_1$ ) pada 11 saluran.....	39
Gambar 4.4 reaktansi urutan positif ( $X_1$ ) pada 11 saluran.....	40
Gambar 4.5 resistansi urutan nol ( $R_0$ ) pada 11 saluran.....	45
Gambar 4.6 reaktansi urutan nol ( $X_0$ ) pada 11 saluran.....	46
Gambar 4.7 resistansi urutan positif ( $R_1$ ) pada 11 saluran.....	46
Gambar 4.8 reaktansi urutan positif ( $R_1$ ) pada 11 saluran.....	47
Gambar 4.9 Tegangan pada fasa A (p.u) pada masing-masing bus.....	48
Gambar 4.10 tegangan fasa B (p.u) pada masing-masing bus.....	49
Gambar 4.11 tegangan fasa C (p.u) pada masing-masing bus.....	50



Gambar 4.33 Rugi-rugi daya reaktif pada masing-masing fasa dengan menggunakan konduktor telanjang.....69

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Impedansi urutan nol ( $Z_0$ ) (ohm/km).....	34
Tabel 4.2 Impedansi urutan positif ( $Z_1$ ) (ohm/km).....	35
Tabel 4.3 Impedansi urutan negatif ( $Z_2$ ) (ohm/km).....	35
Tabel 4.4 data panjang saluran.....	37
Tabel 4.5 impedansi urutan nol ( $Z_0$ ) (ohm/km).....	42
Tabel 4.6 impedansi urutan positif ( $Z_1$ ) (ohm/km).....	43
Tabel 4.7 impedansi urutan negatif ( $Z_2$ ) (ohm/km).....	43
Tabel 4.4 data panjang saluran.....	44

## **BAB I PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang Masalah**

Dalam proses penyaluran energi listrik dari pembangkit menuju ke beban harus digunakan sebuah media penghantar. Selama ini, dalam dunia kelistrikan dikenal dua jenis penghantar, yaitu konduktor telanjang (*bare conductor*) dan kabel (*cable*). Dimana konduktor telanjang yang dimaksud adalah penghantar yang tidak diisolasi, sedangkan yang dimaksud dengan kabel adalah penghantar yang diisolasi.

Masing-masing penghantar memiliki kegunaan masing-masing. Biasanya konduktor telanjang digunakan dalam pentransmisian energi listrik menuju Gardu Induk (GI), juga sebagai penghantar dalam Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM). Sedangkan penghantar kabel biasanya digunakan pada saluran tegangan menengah baik yang di bawah tanah (*underground*) maupun saluran udara (*overhead*). Untuk penghantar kabel pada tegangan menengah, biasanya digunakan pada daerah padat penduduk (perkotaan) atau pada daerah dimana banyak media yang memungkinkan terjadinya hubung singkat dari konduktor ke tanah. *Medium Voltage Twisted Insulated Cable (MVTIC)* merupakan salah satu jenis kabel Tegangan Menengah yang di tempatkan di udara dan di pilin (*twisted*).

Pada masing-masing penghantar (konduktor atau kabel) terdapat impedansi ( $Z$ ), dimana impedansi ini direpresentasikan dalam impedansi urutan positif ( $Z_1$ ), negatif ( $Z_2$ ), dan nol ( $Z_0$ ) (*series impedances*). Menghitung nilai impedansi urutan pada saluran udara (*overhead*) maupun saluran bawah tanah (*underground*) merupakan langkah awal dalam menganalisa aliran daya listrik (*power flow analysis*).

Menurut Metode Carson yang dimodifikasi (*Modified Carson*) besarnya impedansi urutan dipengaruhi oleh jarak antar penghantar ( $D$ ), frekuensi ( $f$ ), dan resistivitas tanah ( $\rho$ ) yang dilalui saluran. Oleh karenanya, setiap saluran listrik meskipun dengan jenis penghantar yang sama akan memiliki impedansi urutan yang berbeda.

Pada penelitian sebelumnya, Rifqi, menggunakan metode Carson untuk mendapatkan nilai impedansi urutan pada Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) pada konduktor telanjang (*bare conductor*)<sup>[11]</sup>. Padahal, dalam saluran distribusi juga di jumpai penghantar berisolasi penuh, dan impedansi urutan fasa kedua jenis memiliki nilai yang berbeda. Oleh karenanya, agar analisa aliran daya dapat dilakukan seakurat mungkin, maka dibutuhkan data impedansi urutan yang sesuai dengan penyulang (*feeder*) yang sedang dianalisis. Penelitian ini menggunakan metode *Modified Carson* untuk menghitung impedansi urutan pada konduktor berisolasi.

## 1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

1. Mengaplikasikan Metode *Modified* Carson pada Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM)
2. Menghitung impedansi urutan positif, negatif, dan nol SKUTM pada penyulang yang dijadikan studi kasus.
3. Mensimulasikan aliran daya pada penyulang Katu, GI Menggala menggunakan impedansi urutan yang diperoleh dari Python, Opendss, dan SPLN.

## 1.3. Rumusan Masalah

Untuk menghitung nilai impedansi urutan positif, negatif, dan nol pada suatu Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM) dengan metode *Modified* Carson, dipengaruhi beberapa faktor, diantaranya adalah jarak antar konduktor, frekuensi sistem, dan resistivitas tanah. Namun, apabila pada perhitungan digunakan nilai frekuensi ( $f$ ) dan resistivitas tanah ( $\rho$ ) yang tetap (tidak berubah), maka yang sangat mempengaruhi adalah jarak antar konduktor. Jarak antar konduktor pada SUTM (konduktor telanjang) terpisah dalam satuan meter (m). Namun, pada SKUTM konstruksi kabel dipilin (*twisted*) dan diletakkan di udara, sehingga jarak antar konduktor menjadi lebih kecil dibandingkan dengan SUTM.

Perbedaan yang paling mendasar antara SKUTM dan SUTM adalah pada jumlah konduktor tiap fasa. Pada SKUTM tiap fasa terdiri dari dua konduktor

yang berfungsi sebagai inti (*core*) dan perisai (*shield*). Hal ini akan menyebabkan perbedaan ukuran matrik impedansi sendiri dan bersama ( $Z_{abc}$ ) pada persamaan *Modified Carson*. Apabila pada SUTM tiga fasa dengan konduktor telanjang akan menghasilkan matrik  $Z_{abc}$  dengan ukuran 3x3, maka pada SKUTM akan menghasilkan  $Z_{abc}$  dengan ukuran 6x6. Jika kabel messenger pada SKUTM dibumikan (*grounded*), maka ukuran matrik  $Z_{abc}$  pada SKUTM akan berubah menjadi 7x7.

Hal inilah yang menjadi perbedaan antara SUTM dengan SKUTM, sehingga nilai impedansi urutan positif, negatif, dan nol akan berbeda.

#### **1.4. Batasan Masalah**

Dalam penelitian ini, penulis merasa perlu melakukan pembatasan masalah. Dimana batasan masalah dalam penulisan laporan ini adalah sebagai berikut:

- a. Penelitian ini hanya membahas Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM)
- b. Resistivitas tanah yang digunakan pada penelitian ini didapatkan dari SPLN.
- c. Metode yang digunakan untuk menghitung impedansi urutan pada penelitian ini adalah Metode *Modified Carson*.
- d. Bahwa SKUTM terdiri dari 3 buah kabel yang dipilin dan terletak di udara, dan pada masing-masing kabel terdapat 2 buah konduktor (*core* dan *shield*).
- e. Bahwa penelitian ini mempertimbangkan pengaruh dari pembumian kabel *messenger*.

### 1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa manfaat, yaitu:

1. Untuk mendapatkan impedansi urutan (*sequence impedance*) pada Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM).
2. Impedansi urutan tersebut kemudian dapat digunakan dalam studi analisa aliran daya pada penyulang yang dijadikan studi kasus.

### 1.6. Hipotesis

Berdasarkan kajian teori yang diperoleh melalui buku dan referensi lainnya, di dapatkan hipotesis sebagai berikut:

1. Bahwa nilai impedansi urutan yang diperoleh dari perhitungan dengan metode *Modified Carson* pada SKUTM akan berbeda dengan SUTM, meskipun berada dalam penyulang yang sama. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan jumlah dan jarak antar konduktor pada SUTM dan SKUTM.
2. Nilai impedansi urutan hasil perhitungan yang didapatkan biasanya tidak terlalu berbeda dengan nilai impedansi yang ditetapkan oleh PLN, namun tetap terdapat *error* antara nilai perhitungan dengan nilai standar PLN.
3. Bahwa perbedaan nilai impedansi urutan akan mempengaruhi nilai aliran daya pada penyulang.

## **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 impedansi urutan Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM) pada penyulang.

### **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. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. 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.

Sistem distribusi terbagi 2 bagian :

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

Sistem Distribusi Tegangan Menengah mempunyai tegangan kerja sebesar 20 Kv. Sistem Distribusi Tegangan Rendah mempunyai tegangan kerja sebesar 220 V (*line to neutral*) atau 380 V (*line to line*). Jaringan distribusi Tegangan Menengah berawal dari Gardu Induk/Pusat Listrik sampai ke trafo distribusi atau disebut juga dengan jaringan distribusi primer. Bentuk jaringan Tegangan Menengah dapat berbentuk radial atau tertutup.

Jaringan distribusi Tegangan Rendah 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 pemanfaat. Konstruksi sistem distribusi dapat berupa Saluran Udara atau Saluran Bawah Tanah disesuaikan dengan lokasi jaringan, 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.

## **2.2. Konfigurasi Sistem Distribusi**

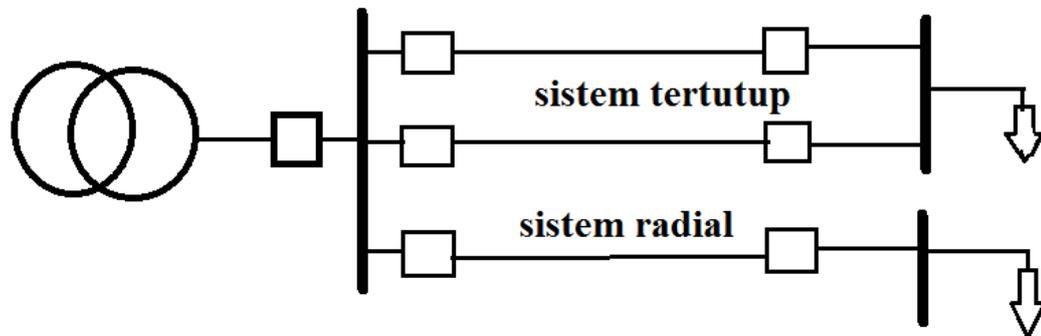
Secara umum konfigurasi suatu jaringan tenaga listrik hanya mempunyai 2 konsep konfigurasi :

### **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 mendapat pasokan tenaga listrik.

### **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 <sup>[1]</sup>.



Gambar 2.1. Konfigurasi jaringan distribusi <sup>[1]</sup>

### 2.3. Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah

Dengan ditetapkannya standar Tegangan Menengah sebagai tegangan operasi yang digunakan di Indonesia adalah 20 kV, konstruksi JTM wajib memenuhi kriteria enjineriing keamanan ketenagalistrikan, termasuk didalamnya adalah jarak aman minimal antara fasa dengan lingkungan dan antara fasa dengan tanah, bila jaringan tersebut menggunakan saluran udara atau ketahanan isolasi jika menggunakan kabel udara pilin tegangan menengah atau kabel bawah tanah tegangan menengah serta kemudahan dalam hal pengoperasian atau pemeliharaan Jaringan Dalam Keadaan Bertegangan (PDKB) pada jaringan utama. Hal ini

dimaksudkan sebagai usaha menjaga keandalan kontinuitas pelayanan

konsumen.

Ukuran dimensi konstruksi selain untuk pemenuhan syarat pendistribusian daya, juga wajib memperhatikan syarat ketahanan isolasi penghantar untuk keamanan pada tegangan 20 kV.

Konstruksi jaringan tenaga listrik tegangan menengah dapat dikelompokkan menjadi 3 macam konstruksi sebagai berikut :

#### 1. Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)

Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) adalah sebagai konstruksi termurah untuk penyaluran tenaga listrik pada daya yang sama.



Gambar 2.2. Saluran udara tegangan menengah (SUTM)<sup>[2]</sup>

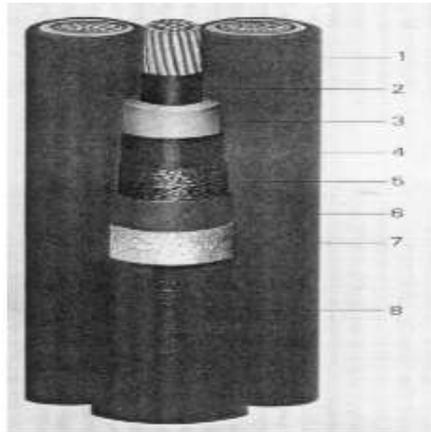
Ciri utama jaringan ini adalah penggunaan penghantar telanjang yang ditopang dengan isolator pada tiang besi/beton. Penggunaan penghantar telanjang, dengan sendirinya harus diperhatikan faktor yang terkait dengan keselamatan ketenagalistrikan seperti jarak aman minimum yang harus dipenuhi penghantar bertegangan 20 kV tersebut antar fasa, atau dengan bangunan, tanaman, dan jangkauan manusia.

Termasuk dalam kelompok yang diklasifikasikan SUTM adalah juga bila penghantar yang digunakan adalah penghantar berisolasi setengah AAAC-S (half

insulated single core). Penggunaan penghantar ini tidak menjamin keamanan terhadap tegangan sentuh yang dipersyaratkan akan tetapi untuk mengurangi resiko gangguan temporer khususnya akibat sentuhan tanaman.

## 2. Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM)

Untuk lebih meningkatkan keamanan dan keandalan penyaluran tenaga listrik, penggunaan penghantar telanjang atau penghantar berisolasi setengah pada konstruksi jaringan Saluran Udara Tegangan Menengah 20 kV, dapat digantikan dengan konstruksi penghantar berisolasi penuh yang dipilin.



Gambar 2.3. Kabel Udara Tegangan Menengah <sup>[2]</sup>

Isolasi penghantar tiap Fase tidak perlu di lindungi dengan pelindung mekanis. Berat kabel pilin menjadi pertimbangan terhadap pemilihan kekuatan beban kerja tiang beton penopangnya.

## 3. Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah (SKTM)

Konstruksi SKTM ini adalah konstruksi yang aman dan handal untuk mendistribusikan tenaga listrik Tegangan Menengah, tetapi relatif lebih mahal untuk penyaluran daya yang sama. Keadaan ini dimungkinkan dengan konstruksi isolasi penghantar perfasa dan pelindung mekanis yang dipersyaratkan.



Gambar 2.4. Kabel Tanah Tegangan Menengah <sup>[2]</sup>

Pada rentang biaya yang diperlukan, konstruksi ditanam langsung adalah termurah bila dibandingkan dengan penggunaan conduit atau bahkan *tunneling* (terowongan beton) <sup>[2]</sup>.

#### **2.4. Jenis Penghantar pada saluran Distribusi**

Ada Tiga macam penghantar listrik yang biasa digunakan dalam sistem distribusi energi listrik, yaitu penghantar telanjang (*bare conductor*), penghantar berisolasi setengah AAAC-S (*half insulated single core*) dan penghantar berisolasi penuh.

a. Penghantar telanjang (*bare conductor*)<sup>[3]</sup>

Kawat penghantar tanpa isolasi (telanjang) contohnya:

- AAC (*All Aluminium Conductor*), yaitu kawat penghantar yang seluruhnya dibuat dari aluminium.
- AAAC (*All Aluminium Alloy Conductor*), yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.
- ACSR (*Aluminium Conductor Steel Reinforced*), yaitu kawat penghantar aluminium berinti kawat baja.
- ACAR (*Aluminium Conductor Alloy Reinforce*), yaitu kawat penghantar aluminium yang diperkuat dengan logam campuran .

b. 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 <sup>[2]</sup>.

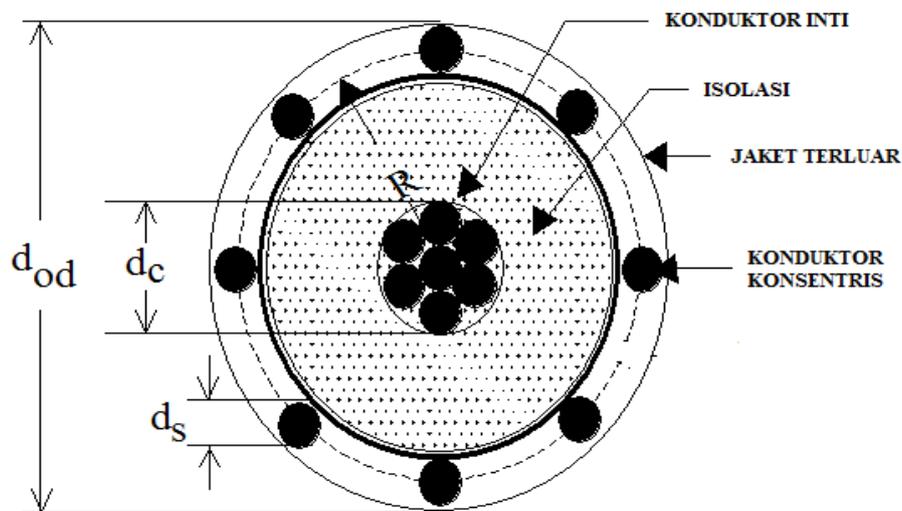
c. Penghantar berisolasi penuh

Kawat penghantar yang terbungkus isolasi, ada yang berinti tunggal atau banyak, ada yang kaku atau berserabut, 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*) <sup>[2]</sup>.

Ada dua tipe penghantar berisolasi penuh yang sering dipakai oleh jaringan distribusi, yaitu tipe *Concentric Neutral Cable* dan tipe *Tape-Shield Cable* <sup>[4]</sup>.

Berikut ini adalah gambar dari kedua tipe kabel tersebut:

### 1. *Concentric Neutral Cable*



Gambar 2.5. *Concentric Neutral Cable* <sup>[4]</sup>

Dimana:

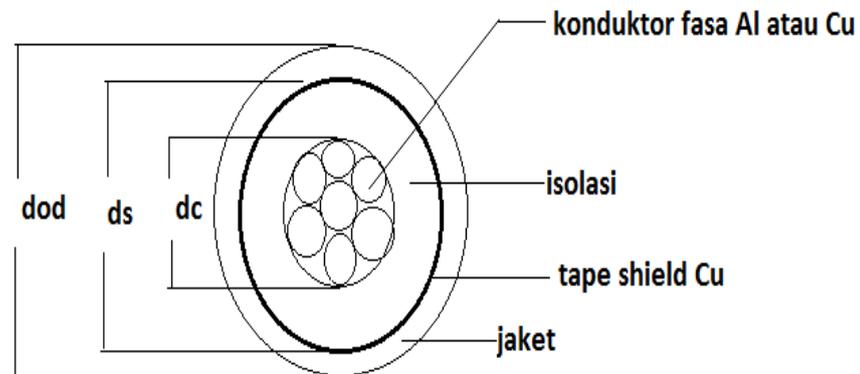
$R$  = Jarak inti konduktor fasa ke lingkaran tengah *concentric neutral* (inci)

$d_c$  = Diameter konduktor fasa (inci)

$d_s$  = Diameter *concentric neutral* (inci)

$d_{od}$  = Diameter kabel sampai jaket terluar (inci)

## 2. *Tape-shielded Cable*



Gambar 2.6. *Tape-shielded Cable*

$d_c$  = Diameter konduktor fasa (inci)

$d_s$  = Diameter *Tape Shield* (inci)

$d_{od}$  = Diameter kabel sampai jaket terluar (inci)

T = Ketebalan Tape shield (Mils)

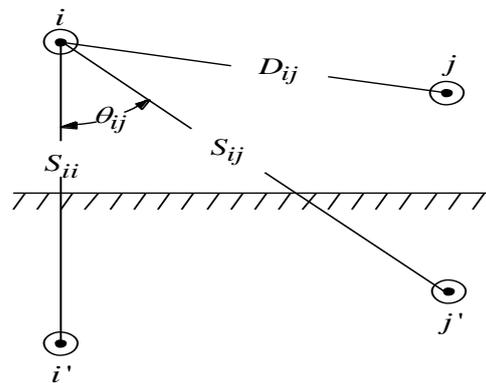
## 2.5. Persamaan umum menghitung Impedansi urutan dari suatu penghantar

### 2.5.1. Persamaan Carson (Carson's Equation) <sup>[5]</sup>

Salah satu tujuan utama dari melakukan analisis kondisi *steady state* penyulang distribusi adalah untuk menentukan tegangan pada setiap titik. Karena tegangan ini merupakan fungsi dari tegangan jatuh pada saluran, maka nilai impedansi saluran harus di dapatkan setepat mungkin. 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 (metode bayangan). Dalam beberapa dekade terakhir penerapan persamaan Carson telah menjadi standar

untuk perhitungan impedansi saluran. Karena persamaan Carson menghasilkan sebuah deret yang tidak terbatas, maka sebuah perkiraan telah dibuat untuk memudahkan dalam perhitungan impedansi.

Misalkan terdapat dua buah konduktor berlabel  $i$  dan  $j$  seperti di bawah ini, maka untuk mendapatkan nilai impedansi sendiri dan impedansi bersama dari kedua konduktor menurut Carson adalah sebagai berikut:



Gambar 2.5. Dua konduktor  $i$  dan  $j$  <sup>[5]</sup>

$$Z_{ii} = (R_i + 4.\omega.P.G) + j2.\omega.G \left( x_i + \ln \frac{S_{ii}}{r_i} + 2.Q \right) \quad (1)$$

$$Z_{ij} = 4.\omega.P.G + j2.\omega.G \left( x_i + \ln \frac{S_{ij}}{D_{ij}} + 2.Q \right) \quad (2)$$

Dimana:  $i=j=1,2, \dots$  Jumlah konduktor

$G$ =Bilangan konstan=  $0.1609347.10^{-3}$

$S_{ii}$ = Jarak antara konduktor  $i$  dan  $i'$  (inchi)

$S_{ij}$ =Jarak antara konduktor  $i$  dan  $j'$  (inchi)

$D_{ij}$ =Jarak antara konduktor  $i$  dan  $j$  (inchi)

$\theta_{ij}$ = Sudut antara  $S_{ii}$ , dan  $S_{ij}$ ,

$r_i$ = Radius konduktor  $i$  (kaki)

$\omega$ =Kecepatan angular =  $2.\pi.f$

$R_i$ = Resistansi konduktor (Ohm)

$f$ = Frekuensi sistem (Hz)

Nilai  $x_i$  pada persamaan (1) adalah:

$$x_i = \ln \left[ \frac{r_i}{GMR_i} \right] \quad (3)$$

dimana:

$r_i$  = radius konduktor i (kaki)

$GMR_i$  = jarak rata-rata geometris konduktor i (kaki)

dengan memasukkan nilai ini ke persamaan (1) dan (2) maka diperoleh:

$$Z_{ii} = (R_i + 4 \cdot \omega \cdot P \cdot G) + j2 \cdot \omega \cdot G \left( \ln \frac{1}{GMR_i} + \ln(S_{ii'}) + 2 \cdot Q \right) \quad (4)$$

$$Z_{ij} = (4 \cdot \omega \cdot P \cdot G) + j2 \cdot \omega \cdot G \left( \ln \frac{1}{D_{ij}} + \ln(S_{ij'}) + 2 \cdot Q \right) \quad (5)$$

Kesulitan dalam menerapkan persamaan (4) dan (5) adalah bahwa kita harus terlebih dahulu mengetahui nilai dari P dan Q menggunakan persamaan (6) dan (7).

$$P_{ij} = \frac{\pi}{8} - \frac{1}{3 \cdot \sqrt{2}} \cdot k_{ij} \cdot \cos(\theta_{ij}) + \frac{k_{ij}^2 \cdot \cos(2 \cdot \theta_{ij})}{16} \cdot \left( 0.6728 + \ln \frac{2}{k_{ij}} \right) \\ + \frac{k_{ij}^2}{16} \cdot \theta_{ij} \cdot \sin(\theta_{ij}) + \frac{k_{ij}^3}{\sqrt{2} \cdot 45} \cdot \cos(3 \cdot \theta_{ij}) - \frac{\pi \cdot k_{ij}^4}{1536} \cdot \cos(4 \cdot \theta_{ij}) \quad (6)$$

$$Q_{ij} = -0.0386 + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{2}{k_{ij}} + \frac{1}{3 \cdot \sqrt{2}} \cdot k_{ij} \cdot \theta_{ij} - \frac{\pi \cdot k_{ij}^2}{64} \cdot \cos(2 \cdot \theta_{ij}) \\ + \frac{k_{ij}^3}{45 \cdot \sqrt{2}} \cdot \cos(3 \cdot \theta_{ij}) - \frac{k_{ij}^4}{384} \cdot \theta_{ij} \cdot \sin(4 \cdot \theta_{ij}) \\ - \frac{k_{ij}^4 \cdot \cos(4 \cdot \theta_{ij})}{384} \cdot \left( \ln \frac{2}{k_{ij}} + 1.0895 \right) \quad (7)$$

Dimana:

$$k_{ij} = 8,565 \cdot 10^{-4} \cdot S_{ij} \cdot \sqrt{\frac{f}{\rho}} \quad (8)$$

Dengan:

$S_{ij}$  = Jarak konduktor i dan j (inci)

$f$  = frekuensi sistem (Hz)

$\rho$  = resistivitas tanah (ohm.meter)

$\vartheta_{ij}$  = sudut antara  $S_{ii}$ , dan  $S_{ij}$ ,

### 2.5.2. Persamaan Carson yang dimodifikasi

Pada tahun 2001, metode Carson disederhanakan oleh Kersting<sup>[4]</sup>, yang kemudian disebut sebagai Metode Carson yang dimodifikasi (*modified Carson's equation*).

Ada dua pendekatan yang dilakukan oleh Kersting dalam menyederhanakan persamaan Carson, yaitu dengan hanya menggunakan satu suku pertama pada P dan dua suku pertama pada Q pada persamaan 6 dan 7, sehingga nilai P dan Q berturut-turut adalah:

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

$$Q_{ij} = -0.0386 + \frac{1}{2} \cdot \ln\left(\frac{2}{k_{ij}}\right) \quad (9)$$

Dengan mensubstitusikan nilai  $x_i$  pada (3) ke persamaan (1) dan (2) maka diperoleh:

$$Z_{ii} = R_i + 4\omega P_{ii}G + j\left(2\omega G \cdot \ln\frac{r_i}{GMR_i} + 2\omega G \cdot \ln\frac{S_{ii}}{r_i} + 4\omega Q_{ii}G\right) \quad (10)$$

$$Z_{ij} = 4\omega P_{ij}G + j2\omega G\left(\ln\frac{S_{ij}}{D_{ij}} + 2Q_{ij}\right) \quad (11)$$

Dengan memasukkan nilai P dan Q pada persamaan (6) dan (7) kedalam persamaan (10) dan (11), dan mengasumsikan nilai  $\rho = 100 \Omega .m$  dan  $f=60 \text{ Hz}$  <sup>[4]</sup> maka diperoleh persamaan Carson yang dimodifikasi untuk mendapatkan  $Z_{ii}$  dan  $Z_{ij}$  adalah sebagai berikut:

$$Z_{ii} = 0,09530 + R_i + j0,12134 \left( \ln \frac{1}{GMR_i} + 7,93402 \right) \quad (12)$$

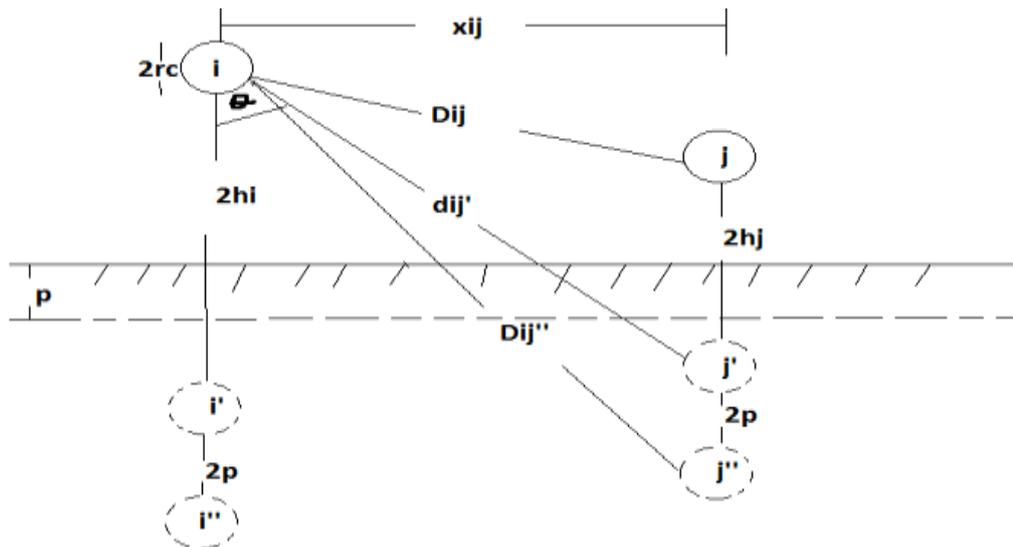
$$Z_{ij} = 0,09530 + j0,12134 \left( \ln \frac{1}{D_{ij}} + 7,93402 \right) \quad (13)$$

Persamaan (12) dan (13) hanya berlaku apabila resistivitas tanah dan frekuensi yang digunakan berturut-turut adalah 100 ohm.meter dan 60 Hz, sehingga apabila digunakan resistivitas tanah dan frekuensi yang berbeda, maka persamaan (12) dan (13) tidak dapat digunakan, sebab nilainya akan berbeda. Persamaan (12) dan (13) berlaku untuk semua penghantar, baik yang terletak di udara (*overhead*) maupun dibawah tanah (*underground*)<sup>[4]</sup>.

### 2.5.3. The Complex Depth of Earth Return Model (CDER)<sup>[6]</sup>

Pada tahun 1976, 50 tahun setelah Carson mempublikasikan teoremanya, C.Gary mengusulkan sebuah alternatif untuk persamaan Carson, dimana bumi bisa digantikan oleh sebuah konduktor yang lokasinya tepat dibawah konduktor fasa pada kedalam kompleks. Sehingga, jarak antara konduktor dan bayangannya disajikan dalam bentuk bilangan kompleks. Model ini menampilkan hasil yang begitu baik untuk setiap nilai frekuensi dan mudah diaplikasikan dibandingkan dengan metode Carson.

Model CDER mengasumsikan bahwa arus yang mengalir pada konduktor  $I$  mengalir kembali pada bayangannya, yang berlokasi tepat dibawah konduktor  $I$ , dibawah tanah pada kedalaman  $(h_i + 2p)$  sebagaimana ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



Gambar 2.6 lokasi konduktor  $i$  dan  $j$  dan bayangan keduanya <sup>[6]</sup>

Pada gambar diatas  $i''$  merupakan bayangan dari konduktor  $i$  dan  $p$  merupakan kedalaman. Jarak antara konduktor dan bayangan konduktor tersebut adalah  $2(h_i + 2p)$ . jarak ini adalah bilangan kompleks, sebab  $p$  merupakan bilangan kompleks.

$$p = \sqrt{\frac{\rho}{j\omega\mu_0}} \quad (14)$$

dimana:

$\rho$  = resistivitas tanah (ohm.meter)

$\omega$  = kecepatan angular =  $2\pi f$  (rad/detik)

$\mu_0$  = permeabilitas udara =  $4\pi \cdot 10^{-7}$  (H/m)

sehingga impedansi sendiri sendiri dan impedansi bersama dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$Z_{ii} = j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{2(h_i+p)}{r_i} + Z_c \quad (15)$$

$Z_c$  = impedansi internal konduktor

dan impedansi bersama:

$$Z_{ij} = j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{\sqrt{(h_i+h_j+2p^2)+x_{ij}^2}}{\sqrt{(h_j+h_j)^2+x_{ij}^2}} \quad (16)$$

$$= j\omega \frac{\mu_0}{2\pi} \ln \frac{D_{ij}''}{D_{ij}}$$

Dimana nilai  $h_i$ ,  $h_j$ ,  $x_{ij}$ ,  $p$ ,  $D_{ij}$ ,  $c$ ,  $D_{ij}''$ , di tunjukkan seperti pada gambar 2.6.

#### 2.5.4. Reduksi Kron (*Kron reduction*) <sup>[4]</sup>

Dalam menerapkan ketiga persamaan, persamaan Carson, persamaan Carson yang dimodifikasi, maupun CDER kita akan mendapatkan sebuah matriks impedansi fasa (disebut juga  $Z_{primitif}$ ) berukuran  $n_{cond} \times n_{cond}$ , dimana  $n_{cond}$  adalah jumlah konduktor yang digunakan pada saluran distribusi, baik konduktor fasa maupun konduktor netral. Misalkan sebuah saluran distribusi menggunakan 3 buah konduktor fasa dan sebuah konduktor netral. Maka dengan menggunakan persamaan Carson kita akan mendapatkan sebuah matriks impedansi fasa berukuran 4x4. Oleh karena konduktor netral dibumikan, maka tegangan antara konduktor netral dengan tanah adalah nol. Sehingga kita bisa mengubah matriks  $Z_{primitif}$  menjadi ukuran 3x3 dengan menggunakan reduksi Kron.

$$[Z_{primitif}] = \begin{bmatrix} Z_{ij} & Z_{in} \\ Z_{nj} & Z_{nn} \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$[Z_{abc}] = [Z_{ij}] - [Z_{in}] \cdot [Z_{nn}]^{-1} \cdot [Z_{nj}] \quad (19)$$

### 2.5.5. Impedansi urutan positif, negatif, dan nol (*sequence impedances*)<sup>[4]</sup>

Dalam banyak kasus, analisa terhadap sebuah penyulang hanya menggunakan impedansi urutan positif dan urutan nol. Ada dua metode dalam mendapat nilai impedansi ini, yaitu menerapkan persamaan Carson yang dimodifikasi dan menggunakan reduksi Kron untuk mendapatkan matrik impedansi fasa.

Definisi tegangan fasa ke tanah sebagai fungsi dari tegangan urutan saluran ke tanah diberikan sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} V_{ag} \\ V_{bg} \\ V_{cg} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a_s^2 & a_s \\ 1 & a_s & a_s^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} VLG_0 \\ VLG_1 \\ VLG_2 \end{bmatrix} \quad (20)$$

Dimana  $a_s = -0,5+j0,886$

Dalam bentuk yang lebih sederhana persamaan (20) berubah menjadi:

$$[VLG_{abc}] = [A_s] \cdot [VLG_{012}] \quad (21)$$

Dimana:

$$[A_s] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a_s^2 & a_s \\ 1 & a_s & a_s^2 \end{bmatrix} \quad (22)$$

Dengan menguraikan persamaan diatas, maka diperoleh matriks  $[Z_{012}]$  sebagai berikut:

$$[Z_{012}] = [A_s]^{-1} \cdot [Z_{abc}] \cdot [A_s] = \begin{bmatrix} Z_{00} & Z_{01} & Z_{02} \\ Z_{10} & Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{20} & Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \quad (23)$$

Persamaan (23) merupakan persamaan yang mengubah impedansi fasa menjadi impedansi urutan. Dalam persamaan (23) *off-diagonal* pada matriks merupakan impedansi urutan, sehingga:

$Z_{00}$  = impedansi urutan nol

$Z_{11}$  = impedansi urutan positif

$Z_{22}$  = impedansi urutan negatif

## **2.6. Persamaan yang digunakan dalam penelitian**

Pada penelitian ini penulis menggunakan persamaan Carson yang dimodifikasi untuk mendapatkan nilai impedansi urutan positif, negative, dan nol (*sequence impedances*). Hal ini disebabkan karena persamaan Carson yang dimodifikasi lebih sederhana dalam pengaplikasiannya, tetapi cukup akurat hasilnya.

Metode ini mempunyai nilai galat (*error*) yang sangat kecil, yaitu 0,3% dibandingkan dengan metode Carson<sup>[5]</sup>, dan sebesar 0,7% dibandingkan dengan metode Roger Dugan<sup>[7]</sup>.

Selain itu, metode *modified* Carson tidak mempertimbangkan ketinggian konduktor terhadap tanah<sup>[5]</sup>. Hal ini sangat membantu dalam perhitungan impedansi pada SKUTM karena Penghantar SKUTM tidak berada pada posisi yang horizontal di sepanjang saluran, melainkan berbentuk sedikit melengkung ke bawah, akibat adanya gaya berat kabel ke pusat bumi.

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Waktu dan tempat penelitian

#### 3.1.1 Waktu penelitian

Penulis melakukan kegiatan penelitian tugas akhir ini dari bulan November 2015 sampai April 2016. Adapun matrik kegiatan penelitian ditampilkan di bawah ini:

Tabel 3.1 Matrik Penelitian

No	Aktifitas	November				Desember				Januari				Februari				Maret				April			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Penentuan Spesifikasi dan Simulasi	■	■	■	■	■	■	■	■																
2	Seminar Proposal									■															
3	Perancangan Simulasi					■	■	■	■																
4	Tes/Uji Coba									■	■	■	■	■	■	■	■								
5	Analisis dan Pembahasan													■	■	■	■								
6	Seminar Hasil																	■							
7	Komprehensif																						■		

### 3.1.2 Tempat penelitian

Penulis melakukan penelitian ini di dua tempat, yaitu:

- A. Laboratorium Sistem Tenaga Elektrik (STE) Jurusan Teknik Elektro,  
Universitas Lampung
- B. PT.PLN (Persero) Wilayah Lampung.

### 3.2 Alat dan bahan penelitian

#### 3.2.1 Alat penelitian

Dalam melakukan penelitian ini digunakan alat sebagai berikut:

- a) Seperangkat komputer AMD Dual-core processor C60 1,333 GHz
- b) *Software* Python 2.7
- c) *Software* OpenDss

#### 3.2.2 Bahan penelitian

Adapun bahan penelitian adalah sebagai berikut:

- a) Data penghantar SKUTM
- b) Data penyulang Katu GI Menggala
- c) Data impedansi urutan penghantar MVTIC menurut SPLN

### 3.3 Metode penelitian

Dalam melakukan penelitian ini di susun langkah-langkah sebagai sebagai berikut:

#### A. Identifikasi masalah

Pada tahapan ini, penulis melakukan identifikasi terhadap masalah yang terjadi, yaitu perlu adanya perhitungan dengan metode *modified* carson pada SKUTM di penyulang Katu, GI Menggala. Sebab, nilai impedansi urutan pada SKUTM

dan SUTM berbeda. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan pada jarak antar konduktor dan jumlah konduktor pada kedua jenis saluran. Pada SUTM, hanya terdapat 3 konduktor saja, yaitu 3 konduktor fasa R, S, dan T. sedangkan pada SKUTM terdapat 6 buah konduktor, yaitu 3 buah konduktor fasa dan 3 buah konduktor *shield*. Selain itu, jarak antar konduktor pada SUTM lebih besar dibandingkan dengan SKUTM. Hal inilah yang kemudian menjadikan perbedaan nilai impedansi urutan pada kedua jenis saluran.

#### B. Studi Literatur

Pada tahapan ini penulis melakukan pengumpulan informasi dan literatur mengenai cara menghitung suatu impedansi urutan pada penghantar SKUTM. Informasi dan literatur diperoleh dari berbagai sumber, baik yang berasal dari buku, karya ilmiah, jurnal, dan artikel di website.

#### C. Studi Bimbingan

Tahapan ini dilakukan dengan cara berdiskusi dengan pembimbing dalam rangka menyelesaikan permasalahan yang timbul dalam pengerjaan dan penulisan penelitian ini.

#### D. Pengumpulan Data

Pada tahapan ini, penulis melakukan pengumpulan data yang dibutuhkan dalam melakukan penelitian. Data yang dikumpulkan berasal dari PT.PLN (Persero) Wilayah Lampung, yaitu :

- Data mekanis dan listrik penghantar SKUTM
- Data Penyulang Katu GI Menggala

#### E. Pemodelan dan Simulasi

Setelah proses A sampai D dilakukan, maka tahapan selanjutnya adalah pemodelan saluran dan simulasi. Semua data yang telah terkumpul kemudian digunakan untuk memodelkan SKUTM untuk memperoleh nilai impedansi urutan dengan menggunakan persamaan metode *modified* Carson. Langkah-langkah untuk melakukan simulasi adalah sebagai berikut:

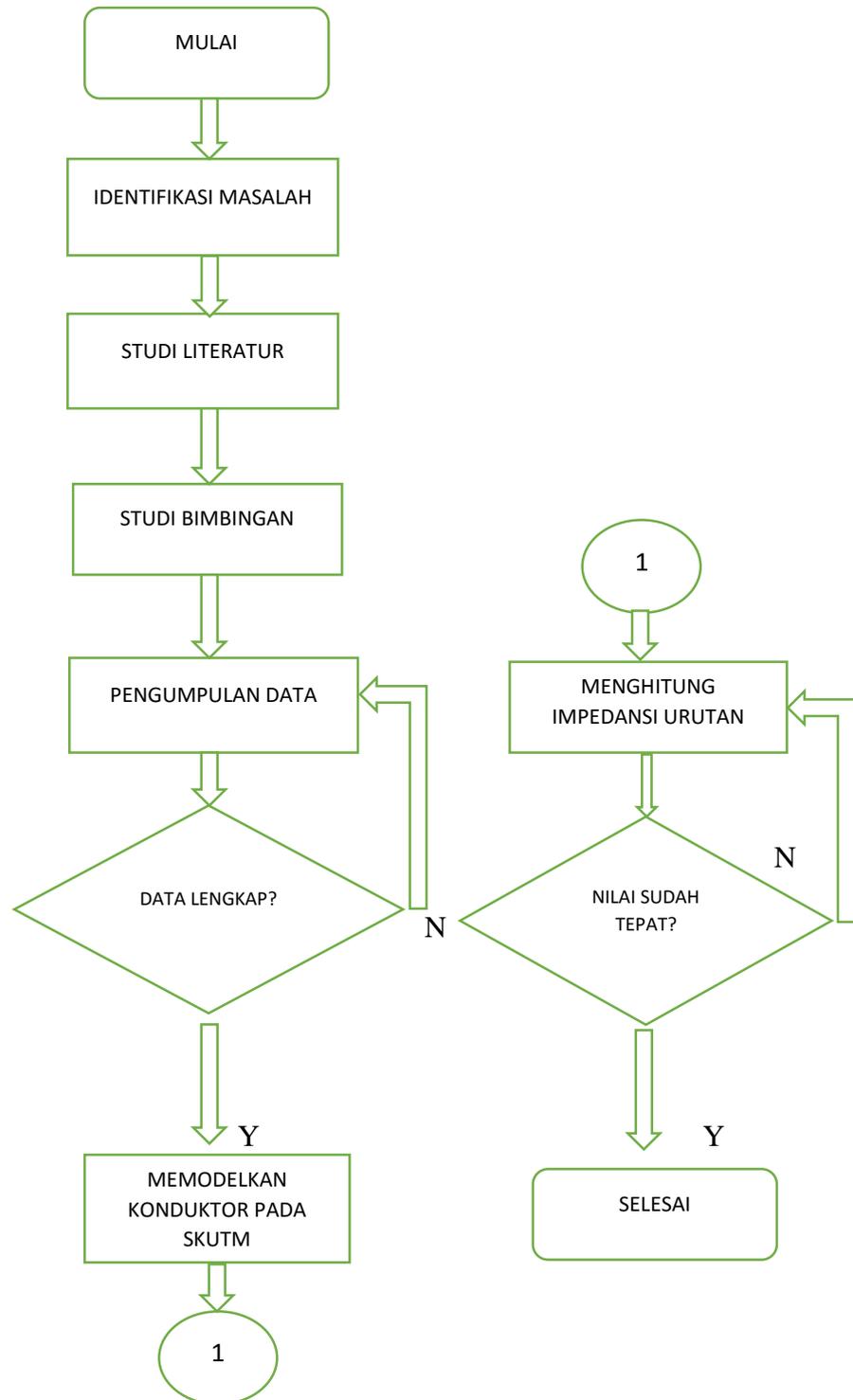
1. Mengetahui semua nilai parameter kabel yang dibutuhkan dalam melakukan perhitungan terhadap nilai impedansi urutan pada SKUTM.
2. Melakukan penurunan Metode *Modified* Carson untuk menghitung nilai impedansi urutan pada SKUTM.
3. Membuat pemodelan konduktor untuk SKUTM
4. Melakukan perhitungan impedansi urutan pada SKUTM dengan menggunakan perangkat lunak Python 7.2, dan SPLN sebagai pembanding.
5. Mendapatkan nilai impedansi urutan positif, negatif, dan nol pada saluran MVTIC yang dijadikan kasus penelitian.

#### F. Analisa

Tahapan ini merupakan tahapan akhir dalam penelitian. Pada tahapan ini, penulis mulai melakukan analisa terhadap hasil yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan.

### 3.4 Diagram Alir Penelitian

Berikut ini disajikan diagram alir penelitian yang akan dilakukan oleh penulis:



### 3.5 Langkah-langkah perhitungan Program

Adapun langkah-langkah dalam melakukan perhitungan impedansi urutan dengan menggunakan Persamaan Carson yang dimodifikasi (*modified Carson's equation*) adalah sebagai berikut:

1. Menggambarkan konstruksi penghantar SKUTM
2. Menentukan data mekanis dan listrik dari penghantar SKUTM
3. Mengubah data mekanis dan listrik tersebut kedalam satuan yang digunakan dalam program.

Penelitian ini menggunakan metode *modified Carson* untuk menghitung impedansi urutan. Kabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah NFA2XSEY-T yaitu kabel tegangan menengah tipe *tape shield*, sehingga perhitungan yang dilakukan menggunakan persamaan untuk tipe *tape shield* (Lihat lampiran B1)

4. Membentuk matriks impedansi sendiri dan impedansi bersama ( $Z_{abc}$ ) dengan menggunakan persamaan <sup>[4]</sup>:

$$Z_{ii} = r_i + \pi^2 f G + j4\pi f G \left( \ln \frac{1}{GMR_i} + 7.6786 - \frac{1}{2} \ln \frac{\rho}{f} \right) \quad (20)$$

$$Z_{ij} = \pi^2 f G + j4\pi f G \left( \ln \frac{1}{D_{ij}} + 7.6786 - \frac{1}{2} \ln \frac{\rho}{f} \right) \quad (21)$$

Dimana nilai frekuensi ( $f$ ) yang digunakan adalah 50 Hz dan resistivitas tanah ( $\rho$ ) yang digunakan adalah 100  $\Omega.m$

5. Menggunakan Reduksi Kron pada (19) untuk mengubah ukuran matriks  $Z_{abc}$  menjadi ukuran 3x3.

6. Mendapatkan matriks impedansi urutan positif, negatif, dan nol dengan menggunakan persamaan (23) pada Bab II.

### 3.6. Diagram Alir Perhitungan Program



## BAB V SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 SIMPULAN

Setelah dilakukan penelitian ini, diperoleh simpulan sebagai berikut:

1. Metode *modified* Carson dapat diaplikasikan pada Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM) pada penyulang Katu, GI Menggala.
2. Impedansi urutan yang diperoleh dengan menggunakan metode *modified* Carson berbeda dengan SPLN. Pada skenario pertama, perbedaan terbesar terjadi pada kabel ukuran 240 mm<sup>2</sup> yaitu sebesar 46,3 % untuk nilai impedansi urutan nol ( $Z_0$ ). Sedangkan skenario kedua perbedaan terbesar juga terjadi pada kabel ukuran 240 mm<sup>2</sup>, yaitu sebesar 57,1 % pada impedansi urutan positif ( $Z_1$ ).
3. Aliran daya tiga fasa yang diperoleh dengan menggunakan impedansi urutan dari SPLN, Python, dan OpenDss terdapat perbedaan. Perbedaan nilai tegangan antara Python, SPLN, dan OpenDss yang terbesar terjadi pada fasa B yaitu sebesar 0,31 % dan 0,03%. Sedangkan perbedaan rugi-rugi daya aktif terbesar terjadi pada fasa A, yaitu sebesar 2,03 % dan 1,12%. Untuk perbedaan rugi-rugi daya reaktif terbesar terjadi pada fasa A yaitu sebesar 5,9% dan 1,19%.
4. Pembumian kabel *messenger* mengakibatkan perubahan pada impedansi urutan nol ( $Z_0$ ) pada kabel penghantar SKUTM, sehingga nilai  $Z_0$  menjadi lebih kecil.

## 5.2 SARAN

Adapun saran yang bisa disampaikan oleh penulis adalah:

1. Pada penelitian selanjutnya dapat digunakan metode selain metode *Modified Carson*.
2. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan *software* yang juga dapat memodelkan kabel tegangan menengah seperti ATP Draw untuk lebih menyempurnakan penelitian tentang impedansi urutan menengah pada SKUTM.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] PLN.2010. Buku 3 PLN Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Rendah Tenaga Listrik. Jakarta: PT.PLN (Persero).
- [2] PLN.2010. Buku 5 PLN Standar Konstruksi Jaringan Tegangan Menengah Tenaga Listrik. Jakarta: PT.PLN (Persero).
- [3] Hutauruk, T.S.2000.Transmisi Daya Elektrik. Bandung :Institut Teknologi Bandung
- [4] Kersting, William H. 2007. *Distribution System Modeling and Analysis (Electric Power Engineering Series)*. Mexico:New Mexico University.
- [5] Kersting, William H. Green,R.K. 2007. *The Application of Carson's Equation to the Steady-State Analysis of Distribution Feeders*. Mexico:New Mexico University.
- [6] Umarji, Hussein. 2000. *Calculation of Parameters of Overhead Power Lines*. Lisboa: *Instituto Superior Técnico*.
- [7] Kersting, William H. 2015. *Overhead Impedances IEEE Comp Test Feeder*. Mexico:New Mexico University.
- [8] PLN. 1995 .Kabel pilin udara berisolasi XLPE berselubung PVC dan berpendingantung kawat baja dengan tegangan pengenal 12/20 (24) Kv. Jakarta: PT.PLN(Persero)
- [9] Kabel Indo Murni Tbk. 2010. Medium voltage XLPE insulated cable. Jakarta: PT. Kabel Indo Murbi Tbk