

**ANALISIS KONTRIBUSI ARUS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT
AKIBAT MASUKNYA PLTS ISIMU 10.75 MW PADA OUTGOING 20 KV
GARDU INDUK ISIMU**

Oleh:

ISRAWANI AHMADI

T21 17 014

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar
Sarjana Program Studi Teknik Elektro di Fakultas Teknik



PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS ICHSAN GORONTALO

2021

HALAMAN PENGESAHAN

**ANALISIS KONTRIBUSI ARUS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT
AKIBAT MASUKNYA PLTS ISIMU 10.75 MW PADA OUTGOING 20 KV
GARDU INDUK ISIMU**

OLEH:

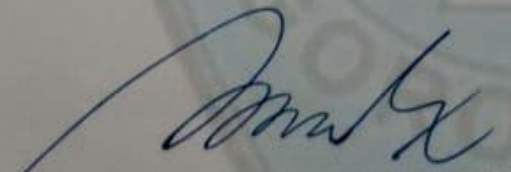
ISRAWANI AHMADI

T21 17 014

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana Program Studi Teknik Elektro di Fakultas Teknik, Skripsi ini telah disetujui oleh Tim pembimbing pada tanggal seperti yang tertera dibawah ini
Gorontalo, 05 Desember 2021

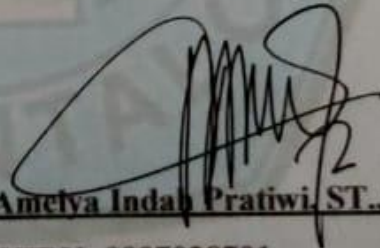
Pembimbing I



Muammar Zainuddin, ST., MT.

NIDN: 0906018701

Pembimbing II



Amelya Indah Pratiwi, ST., MT.

NIDN: 0907028701

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS KONTRIBUSI ARUS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT
AKIBAT MASUKNYA PLTS ISIMU 10.75 MW PADA OUTGOING 20 KV
GARDU INDUK ISIMU**

Oleh :

ISRAWANI AHMADI

T21 17 014

Gorontalo, 11 Desember 2021
Diperiksa Oleh Panitia Ujian Strata Satu (S1)
Universitas Ichsan Gorontalo

1. Frengki Eka Putra Surusa, ST.,MT

(Penguji I)

2. Muh. Asri, ST., MT

(Penguji II)

3. Ir. Stephan A.Hulukati, ST., MT.,M.Kom

(Penguji III)

4. Muammar Zainuddin, ST.,MT

(Pembimbing I)

5. Amelya Indah Pratiwi, ST., MT

(Pembimbing II)

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik


Amru Siola, ST., MT
NIDN. 0922027502

Ketua Program Studi


Frengki Eka Putra Surusa, ST.,MT
NIDN. 0906018504

LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Israwani Ahmadi

NIM : T217014

Kelas : Reguler

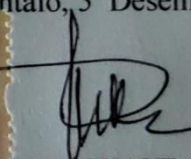
Program studi : Teknik Elektro

Dengan ini saya menyatakan bahwa

1. Karya tulis saya (skripsi) ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana) baik di Universitas Ichsan Gorontalo maupun di Perguruan Tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan dari pihak lain kecuali arahan dari tim pembimbing .
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dicantumkan sebagai acuan dalam naskah disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar akademik yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai norma yang berlaku di Universitas Ichsan Gorontalo.

Gorontalo, 5 Desember 2021




ISRAWANI AHMADI

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT, atas berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga Skripsi ini dapat terselesaikan dengan lancar dan tepat waktu. Adapun penyesuaian skripsi ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan studi di Fakultas Teknik Universitas Ichsan Gorontalo. Penulis menyadari begitu banyak hambatan dan tantangan yang ditemui namun melalui bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak maka penulis dapat menyelesaikan skripsi/tugas akhir ini sebagaimana yang diharapkan. Untuk itu perkenankanlah penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Dra. Hj. Juriko Abdussamad, M.Si, selaku Ketua Yayasan Pengembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (YPIPT) Ichsan Gorontalo.
2. Bapak DR. Abdul Gaffar Latjoke, M.Si, selaku Rektor Universitas Ichsan Gorontalo.
3. Kedua Orang Tua saya yang bisa senantiasa memberikan dorongan, motivasi dan bantuan material selama proses perkuliahan sampai saat sekarang.
4. Bapak Frengki Eka Putra Surusa, ST., MT selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro
5. Bapak/Ibu Dosen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Ichsan Gorontalo.
6. Bapak Muammar Zainuddin, ST., MT selaku Pembimbing I

7. Ibu Amelya Indah Pratiwi, ST., MT selaku Pembimbing II
8. Teman-teman angkatan Teknik Elektro 2017 dan teman seangkatan di Fakultas Teknik yang selalu membantu dan memberikan dorongan agar dapat menyelesaikan skripsi bersama-sama.
9. Kepada saudara kandung, sepupu dan keluarga seperantauan yang selalu memberikan dukungan, motivasi dan do'a.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebut satu per satu, yang telah dengantulus ikhlas memberikan doa hingga dapat terselesaikannya skripsi ini.

Akan menjadi sesuatu yang sangat berarti guna menyempurnakan skripsi/tugas akhir ini bila kritik dan saran disampaikan pada penulis. Semoga Allah SWT yang membalas budi baik dan kerelaan saudara.

Gorontalo, 5 Desember 2021

Israwani Ahmadi

ABSTRACT

ISRAWANI AHMADI. T2117014. THE CONTRIBUTION ANALYSIS OF SHORT CIRCUIT CURRENTS DUE TO THE ENTRY OF SOLAR PHOTOVOLTAIC POWER PLANT OF WITH 10.75 MW IN OUTGOING 20 KV ISIMU SUBSTATION

The addition of solar power plants to an existing network can result in harm, including the increase in short-circuit currents. To anticipate the adverse effects, the analysis and calculation of short-circuit currents are carried out using ETAP 19.0.1 software before and after the PLTS (Solar Photovoltaic Power Plant). It compares the short-circuit current values when the inverter is replaced by a Synchronous Generator with the same power capacity. Based on the simulation results, the short-circuit current in the 3-phase fault (L-L) after the entry of PLTS is 0.521kA and the ground-phase fault (L-G) is 1.732kA. Before the existence of PLTS, the total short circuit current on the outgoing side of the Isimu Substation is 6,928kA and increases to 7,441kA after the entry of PLTS into the existing network. The value of the short-circuit current when the inverter is replaced with a Synchronous Generator with the same power on a 3-phase fault (L-L) is 1.484kA, and a short-circuit current of 2.382kA in a ground-phase fault (L-G). The comparison of characteristics when using the inverter and the generator has a different level of current scale, with the generator having a large amount of short-circuit current. The contribution of short circuit current by Synchronous Generator is greater than that of the inverter. The inverter limits the short circuit current that comes out based on the coefficient factor, in contrast to the Synchronous Generator with a large impedance value of 19%. This analysis is useful when there is additional power in PLTS and planning for the electric power industry by using a generator with the short circuit current value from the simulation results that can be considered for setting the protection system.

Keywords: short circuit current, ETAP 19.0.1 software, Photovoltaic solar power plant, substation, inverter, synchronous generator, protection system settings.

ABSTRAK

ISRAWANI AHMADI. T2117014. ANALISIS KONTRIBUSI ARUS GANGGUAN HUBUNG SINGKAT AKIBAT MASUKNYA PLTS ISIMU 10.75 MW PADA OUTGOING 20 KV GARDU INDUK ISIMU

Penambahan pembangkit listrik tenaga surya pada sebuah jaringan eksisting dapat menimbulkan dampak negatif pada jaringan, Salah satunya yaitu bertambahnya arus hubung singkat. Untuk mengantisipasi dampak buruk akibat tersebut, maka dilakukan analisis dan perhitungan arus hubung singkat sebelum dan setelah adanya PLTS menggunakan *software* ETAP 19.0.1 serta membandingkan nilai arus hubung singkat ketika Inverter di ganti Generator Sinkron dengan kapasitas daya yang sama. Dari hasil simulasi Arus hubung singkat pada gangguan 3 phase (L-L) setelah masuknya PLTS sebesar 0.521kA dan gangguan phasa-tanah (L-G) sebesar 1.732kA. Sebelum adanya PLTS total arus hubung singkat pada sisi outgoing GI Isimu sebesar 6.928kA, dan bertambah menjadi 7.441kA setelah masuknya PLTS ke jaringan eksisting. Nilai arus hubung singkat ketika Inverter di ganti dengan Generator Sinkron dengan daya yang sama pada gangguan 3 phasa (L-L) sebesar 1.484kA, serta sebesar 2.382kA arus hubung singkat pada gangguan phasa-tanah (L-G). Perbandingan karakteristik ketika menggunakan Inverter dan Generator ini memiliki tingkat skala arus yang berbeda, dengan Generator memiliki jumlah arus hubung singkat yang besar. Kontribusi arus hubung singkat oleh Generator Sinkron lebih besar dibandingkan dengan Inverter. Inverter membatasi arus hubung singkat yang keluar berdasarkan faktor koefisien, berbeda dengan Generator Sinkron yang memiliki nilai impedansi yang besar yaitu 19%. Analisis ini bermanfaat ketika adanya penambahan daya pada PLTS dan perencanaan pada industri tenaga listrik dengan menggunakan generator, dengan nilai arus hubung singkat hasil simulasi bisa menjadi pertimbangan untuk *setting* sistem proteksi.

Kata kunci : Arus hubung singkat, *software* ETAP 19.0.1, PLTS, Gardu Induk, inverter, generator sinkron, *setting* sistem proteksi.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL

HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRACT	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR ISTILAH	xv

BAB I : PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	4

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka.....	6
2.2 Dasar Teori.....	10
2.2.1 Sistem PLTS on Grid	10
2.2.2 Modul/Panel Surya.....	10

2.2.3	Inverter	11
2.2.4	Transformator Step Up.....	12
2.2.5	Gangguan Hubung Singkat	13

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

3.1	Kerangka Konsep Penelitian.....	17
3.2	Objek Penelitian/ Alat dan Bahan.....	18
3.3	Lokasi dan Waktu Penelitian	18
3.4	Data Sistem Kelistrikan Gorontalo	19
3.4.1	Single Line Diagram Sistem 150 kV Gorontalo	19
3.4.2	Data Penghantar Saluran Transmisi	19
3.5	Sistem PLTS 10.75 MW Isimu	20
3.5.1	Data Panel Surya	20
3.5.2	Data Inverter PLTS Isimu	20
3.6	Tahapan Alur Penelitian	21
3.6.1	Mengumpulkan Data	22
3.6.2	Analisa / Pengolahan Data	22
3.7	<i>Flowchart</i> Alur Penelitian.....	24

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1	Profil Sistem Tenaga Listrik di Gorontalo.....	25
4.1.1	Profil Pembangkit Listrik di Provinsi Gorontalo	25
4.1.2	Profil Gardu Induk dan Beban Penyulang	25
4.2	Pemodelan Sistem PLTS Terhubung ke Gardu Induk.....	27
4.3	Profil Aliran Daya PLTS Isimu pada Sistem Transmisi Gorontalo.....	28

4.7 Arus hubung singkat Simetris dengan Photovolthaic (schematic diagram)	50
4.7.1 Isc pada sisi GI Isimu	50
4.7.2 Isc pada sisi PLTS	50
4.7.3 Isc pada sisi transformator PLTS	51
4.7.4 Isc pada Inverter	51

BAB V : PENUTUP

5.1 Kesimpulan	53
5.2 Saran	54

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Data Penghantar Saluran Transmisi	19
Tabel 3.2. Data Panel Surya	20
Tabel 3.3. Data Inverter PLTS Isimu	20
Tabel 4.1. Profil Pembangkit Listrik di Provinsi Gorontalo	25
Tabel 4.2. Profil Gardu Induk Di Provinsi Gorontalo.....	26
Tabel 4.3. Data Beban Penyulang	26
Tabel 4.4. Profil Aliran Daya PLTS Isimu	28
Tabel 4.5 Perhitungan Arus Hubung Singkat 3 Phasa (L-L) dengan PLTS	30
Tabel 4.6 Perhitungan Arus Hubung Singkat Phase-tanah (L-G) dengan PLTS..	33
Tabel 4.7 Perhitungan Arus Hubung Singkat 3 Phase (L-L) dengan Generator Sinkron.....	35
Tabel 4.8 Perhitungan Arus Hubung Singkat Phase-tanah (L-G) dengan Generator Sinkron.....	38
Tabel 4.9 Arus hubung singkat report by ETAP 19.0.1.....	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Modul Surya.....	11
Gambar 2.2. Inverter	12
Gambar 2.3. Transformator Step Up.....	12
Gambar 2.4. Gangguan Hubung Singkat 3 phase	13
Gambar 2.5. Gangguan Hubung Singkat 2 phase	14
Gambar 2.6. Gangguan Hubung Singkat 2 phase ke Tanah	14
Gambar 2.7. Gangguan Hubung Singkat 1 Phasa ke Tanah	15
Gambar 3.1. Kerangka Konsep Penelitian	17
Gambar 3.2. Single Line Diagram Sistem 150 kV Gorontalo	19
Gambar 3.3. Flowchart Alur Penelitian	24
Gambar 4.1. Pemodelan sistem PLTS terhubung ke Gardu Induk Isimu	28
Gambar 4.2 Grafik total Arus Gangguan di Sisi Outgoing GI Isimu 20 KV Sebelum Masuknya PLTS atau Generator Sinkron	40
Gambar 4.3 Grafik Top Envelope dari Arus Gangguan di Sisi Outgoing GI Isimu 20 KV Sebelum Masuknya PLTS atau Generator Sinkron	41
Gambar 4.4 Grafik total Arus Gangguan di Sisi Outgoing GI Isimu 20 KV menggunakan Inverter dan Genertor Sinkron.....	42
Gambar 4.5 Grafik Top Envelope dari Arus Gangguan di Sisi Outgoing GI Isimu 20 KV menggunakan Inverter dan Generator Sinkron	43
Gambar 4.6 Grafik Total Arus Gangguan di Sisi Bus Paralel menggunakan Inverter dan Generator	44

DAFTAR ISTILAH

Isc	: Short circuit current (Arus Hubung Singkat)
Cycle	: Siklus
Top Envelope	: Puncak Lebur
FLA	: Full Load Ampere (Arus Beban Penuh)
Subtransien	: Arus Awal Hubung Singkat
Transien	: Keadaan menuju steady-state
Steady State	: Keadaan Stabil (tunak) atau tidak berubah

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar pengisian data di ETAP	57
Lampiran 2. Surat Balasan Izin Penelitian	60
Lampiran 3. Hasil Turnitin.....	61
Lampiran 4. Rekomendasi Bebas Plagiasi	62

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sumber energi baru dan terbarukan di masa ini semakin mempunyai peran yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan energi [1]. Meningkatnya kebutuhan pada aspek lingkungan dan ekonomi yang dibebankan pada sektor energi, menyebabkan sumber energi terbarukan semakin dibutuhkan [2]. Oleh karena itu, tidak diragukan lagi bahwa energi surya adalah salah satu sumber energi yang ramah lingkungan, karena tidak menyebabkan polusi di alam dan juga fleksibel untuk pengembangan pembangkit yang tidak bergantung dari sumber energi fosil [3].

Penambahan pembangkit listrik tenaga surya pada sebuah jaringan eksisting dapat menimbulkan dampak positif dan negatif pada jaringan. Dampak positifnya pada system tenaga berupa peningkatan profil tegangan dan turunnya *losses*. Dengan adanya peningkatan konsumen energi listrik, maka secara langsung akan mempengaruhi peningkatan pasokan energi listrik [4]. Dalam proses penyaluran energi listrik terdapat banyak gangguan yang terjadi salah satunya adalah gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat merupakan suatu gangguan yang terjadi akibat adanya gangguan antara bagian-bagian yang bertegangan sehingga menyebabkan aliran arus yang tidak normal atau sangat besar [5]. Arus hubung singkat juga dipengaruhi akibat besarnya beban dan daya sistem keluaran Pembangkit.

Integrasi pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) pada penyulang dapat mempengaruhi arus hubung singkat pada penyulang tersebut. Hal ini dikarenakan dengan masuknya daya listrik dari PLTS menuju penyulang dapat mengakibatkan meningkatnya nilai arus yang masuk pada penyulang, sehingga apabila terjadi gangguan arus hubung singkat, maka nilai arus hubung singkat juga akan meningkat [5].

Menurut Sidhu dan Bejmert (2012) mengungkapkan bahwa arus hubung singkat saat masuknya PLTS meningkat lebih tinggi namun waktu penormalannya berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan sebelum masuknya sistem PLTS penormalannya lebih lama [2]. Arus hubung singkat juga dapat dipengaruhi oleh jarak titik gangguan. Yaitu ketika semakin jauh jarak titik gangguan maka arus hubung singkatnya semakin kecil. Begitupun sebaliknya ketika jarak titik gangguan semakin dekat, maka arus hubung singkatnya semakin besar. Karena arus hubung singkat bergantung pada besarnya impedansi saluran. [6]. Begitupula pada pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) yang terinterkoneksi di jaringan juga mempengaruhi naiknya arus hubung singkat namun tidak melebihi batas maksimum peralatan *eksisting* pada sistem.

Ketika adanya gangguan hubung singkat yang meningkat maka sistem proteksi bekerja lebih untuk mempercepat waktu penormalan agar gangguan tidak berlangsung lama. [7]. Gangguan Hubung singkat pada sistem tenaga listrik dapat terjadi antar fase atau fase ke tanah. Timbulnya gangguan dapat bersifat sementara atau permanen. Pada gangguan yang bersifat sementara, gangguan tersebut akan hilang dengan sendirinya atau memutus sesaat bagian yang terganggu dari sumber

tegangannya kemudian disusul dengan penutupan kembali peralatan hubung dan sistem tenaga listrik akan bekerja normal kembali [8].

Pada sistem kelistrikan Gorontalo, PLTS Isimu sudah masuk pada jaringan outgoing Gardu Induk Isimu. Untuk mengantisipasi dampak buruk akibat masuknya PLTS kedalam sistem tenaga listrik, maka dilakukan analisis dan perhitungan arus hubung singkat sebelum dan setelah adanya PLTS. Perhitungan dan analisis arus gangguan hubung singkat sangat penting untuk mempelajari sistem tenaga listrik baik pada waktu perencanaan maupun setelah beroperasi nantinya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian permasalahan diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan yang diambil dalam penelitian ini yaitu :

- a) Bagaimana besarnya kontribusi arus gangguan hubung singkat akibat masuknya PLTS on grid berskala besar pada outgoing 20 KV gardu induk Isimu?
- b) Bagaimana besarnya kontribusi arus gangguan hubung singkat ketika inverter diganti dengan Generator sinkron ?
- c) Bagaimana perbandingan karakteristik kontribusi arus hubung singkat dengan Inverter dan Generator sinkron ?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan:

- a) Untuk menghitung perubahan nilai arus hubung singkat sebelum dan setelah masuknya PLTS on Grid 10.75 MW pada outgoing penyulang 20 kV Gardu Induk Isimu
- b) Menghitung nilai arus hubung singkat ketika Inverter diganti dengan Generator Sinkron dengan kapasitas daya yang sama.
- c) Membandingkan karakteristik arus hubung singkat dengan Inverter dan Generator Sinkron.

1.4 Batasan Masalah

Agar dalam penulisan ini bisa sesuai dengan tujuan yang diharapkan dan pembahasannya tidak semakin luas, maka dibuat batasan masalah, adapun batasan masalahnya sebagai berikut :

- a. Arus hubung singkat yang dihitung adalah arus hubung singkat pada PLTS dan sisi outgoing penyulang 20 kV.
- b. Data teknis system menggunakan data peralatan yang digunakan dilapangan.
- c. Simulasi arus hubung singkat menggunakan *software* ETAP 19.0.1.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang di dapat dari penelitian ini adalah :

- a. Dapat digunakan sebagai pertimbangan ketika adanya penambahan pembangkit listrik agar sistem proteksi di saluran transmisi dan penyaluran energi berjalan normal.
- b. Sebagai bahan penelitian system tenaga dengan topik gangguan arus hubung singkat.

- c. Perhitungan besar kontribusi arus hubung singkat yang diberikan oleh PLTS guna menjadi acuan ketika adanya perencanaan pembangkit listrik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Sebagai pedoman untuk penelitian ini, maka dibutuhkan beberapa referensi dari peneliti sebelumnya yang berkaitan tentang pembahasan “Analisa dampak atau pengaruh arus gangguan hubung singkat akibat masuknya PLTS on Grid berskala besar pada sistem proteksi auto reclose di saluran transmisi” diantaranya yaitu :

Sastrawibawa (2019) memaparkan dalam jurnalnya bahwa kemampuan pemulihan sendiri pada system tenaga listrik setelah gangguan sementara, menjadi perhatian karena kontribusinya terhadap stabilitas sistem tenaga listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh auto reclose pada saluran transmisi terhadap kestabilan jaringan radial dengan menggunakan skema kendali leader-follower. Skema kontrol pemimpin-pengikut digunakan untuk meminimalkan waktu pemadaman dan untuk mengurangi tekanan pada salah satu pemutus sirkuit karena penutupan pada gangguan permanen. Studi ini diterapkan pada kasus sistem transmisi listrik 150 kv di provinsi Gorontalo, Indonesia. Saat ini sistem transmisi tenaga listrik di provinsi Gorontalo belum menerapkan skema auto reclosing. Penelitian ini disimulasikan untuk memberikan penilaian stabilitas terhadap: sudut rotor, kecepatan rotor, daya aktif dan reaktif pada saluran transmisi, aliran arus pada saluran transmisi, tegangan pada bus, dan frekuensi

pada bus. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terjadi penurunan tegangan yang signifikan pada salah satu bus dalam jaringan yang mengalami gangguan [4].

sidhu (2011) interkoneksi *Distributed generation* (DG) atau generator terdistribusi ke jaringan yang dapat menimbulkan banyak masalah teknis. Untuk memastikan kualitas daya yang sesuai dengan stabilitas daya, masalah ini harus dikenali dan diatasi. Untuk itu operator jaringan distribus harus mengetahui dan mempelajari perilaku sumber energi dalam berbagai gangguan. Dalam penelitian ini kontribusi arus gangguan dari pembangkit listrik berbasis fotovoltaik berskala besar serta masalah perlindungan terkait DG tersebut dibahas. Masalah-masalah tersebut diinvestigasi dalam model PSCAD pembangkit listrik PV yang terhubung ke jaringan 50 MW dimana berbagai kondisi operasi jaringan dan tingkat penetrasi PV dipertimbangkan [2].

Neuman (2012) menerangkan tentang integrasi jaringan energi terbarukan semakin mempengaruhi kapasitas hubung singkat (SCC) system tenaga listrik di seluruh dunia. Perilaku sumber energi terbarukan, misalnya energi angin atau matahari, berbeda dari generator sinkron konvensional selama hubung singkat simetris atau tidak simetris. Respon unit pembangkit energi baru terbarukan ke hubung singkat lebih atau kurang dapat dikontrol oleh elektronika daya yang digunakan dalam system converter dan algoritma control yang sesuai. Perbedaan ini harus diperhitungkan selama perencanaan perluasan jaringan oleh operator system tenaga listrik dan merancang fungsi pelindung atau keamanan untuk jaringan dan komponennya. Dalam tulisan ini penulis menjelaskan tentang kontribusi arus hubung singkat dari suatu pembangkit listrik tenaga fotovoltaik

untuk system fotovoltaik 3 MW yang dilengkapi dengan beberapa unit pembangkit dan terhubung ke system tenaga tegangan menengah, tiga skenario hubung singkat yang berbeda (gangguan ke arde tunggal, line to line dan gangguan tiga fasa) dan korsleting yang sesuai. Kontribusi pembangkit listrik saat ini dihitung dan hasilnya diilustrasikan dan didiskusikan [9].

A Gaffar, dkk (2017) menerangkan dalam jurnal penelitiannya bahwa gangguan hubung singkat adalah hubungan yang tidak normal pada impedansi antara dua titik atau lebih yang mempunyai potensial yang berbeda. Gangguan hubung singkat sering berdampak pada penyaluran energi listrik, untuk meningkatkan keandalan sistem pada sistem proteksi maka diperlukan analisis arus gangguan hubung singkat yang terjadi pada jaringan distribusi 20 KV dan perbandingan nilai arus hubung singkat dengan menggunakan metode perhitungan dan simulasi. Pengumpulan data menggunakan metode observasi, wawancara dan dokumentasi. Kemudian melakukan analisis data dengan teknik perhitungan dan simulasi menggunakan aplikasi DigSilent power factory 14.1.3. Dari hasil penelitian ini diketahui bahwa besarnya arus gangguan hubung singkat dipengaruhi oleh jarak titik gangguan, yaitu semakin dekat jarak titik gangguan maka arus gangguan hubung singkat yang terjadi semakin besar begitupun sebaliknya. Nilai arus gangguan hubung singkat yang terjadi pada gangguan hubung singkat 3 fasa adalah yang terbesar, sedangkan gangguan hubung singkat dengan nilai terkecil yaitu terjadi pada gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah [10].

Zainuddin (2017) memaparkan dalam jurnal penelitiannya bahwa distribusi tenaga listrik yang cukup panjang dari pusat pembangkit ke pusat beban mengakibatkan tegangan menjadi turun dan rugi-rugi daya meningkat. Salah satu langkah dalam pengimplementasian energi baru terbarukan berbasis potensi daerah adalah dengan menerapkan model pembangkit listrik on-grid. Provinsi Gorontalo telah membangun PLTS dengan kapasitas 2 MW jaringan yang terhubung dengan penyulang LK.01 di wilayah Sumalata Kabupaten Gorontalo Utara. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui dampak dari implementasi PLTS on-grid terhadap kualitas tegangan dan rugi-rugi daya pada sistem distribusi. Penelitian ini dilakukan pada penyulang LI.02, LK.01, dan LA.02 dengan diagram garis tunggal. dilakukan analisis dengan 4 skenario aliran beban aliran beban pada penyulang. Skenario 1 adalah dengan kondisi penyulang setelah PLTS on-grid (kondisi PLTMH Mongango isolated). Skenario 2 adalah kondisi penyulang setelah PLTS di grid (PLTMH Mongango *interconnection*). Skenario 3 adalah kondisi setelah PLTS di gardu induk dan gardu anggrek interkoneksi ke sistem distribusi (PLTM Mongango *isolated*). Skenario 4 adalah kondisi setelah PLTS di gardu induk dan gardu anggrek interkoneksi ke sistem distribusi (PLTMH Mongango *interconnection*). analisis aliran beban menggunakan metode *newton-raphson*. Dari keempat skenario di atas aliran daya daya menemukan peningkatan kualitas tegangan dan pengurangan rugi-rugi daya terbaik terjadi pada skenario 4. Dampak PLTS pada jaringan dapat menaikkan level tegangan nominal pada batas operasi standar jaringan distribusi 20 KV [11].

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Sistem PLTS on Grid

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah suatu pembangkit listrik yang mengubah energi panas menjadi energi listrik. Konversi ini dilakukan menggunakan panel surya yang terdiri dari sel-sel photovoltaic. Sel-sel ini terdiri dari lapisan-lapisan silikon (Si) murni atau bahan semikonduktor lainnya yang telah melewati tahap sedemikian rupa, sehingga apabila bahan tersebut mendapat energi cahaya maka akan merubah elektron dari ikatan atomnya menjadi elektron yang bergerak bebas, kemudian pada akhirnya akan mengeluarkan tegangan listrik arus searah (DC) (Miharja, 2009) . Pembangkit listrik tenaga surya memanfaatkan potensi energi surya yang tersedia di alam merupakan solusi yang tepat, karena dapat digunakan untuk banyak keperluan yang relevan dan berbagai tempat [1].

PLTS yang terhubung pada jaringan listrik eksisting dapat dibedakan dari skala kapasitasnya yaitu skala kecil untuk kapasitas 5 kW – 100 kW, skala menengah 100 kW–500kW dan skala besar yaitu 500 kW – 10 MW.

2.2.2 Modul/Panel Surya

Modul/Panel sel surya adalah suatu perangkat utama pada sistem PLTS dengan kerja mengubah energi panas dari matahari menjadi energi listrik. Sel surya menghasilkan arus yang kemudian dialirkan ke baterai. Semakin banyaknya modul/panel surya maka semakin besar konversi tenaga surya. Umumnya panel sel surya dengan ukuran tertentu memberikan hasil

tertentu pula. Untuk mendapatkan *output* (keluaran) energi listrik yang maksimum maka permukaan modul surya harus selalu mengarah ke matahari.



Gambar 2.1 Modul surya

2.2.3 Inverter

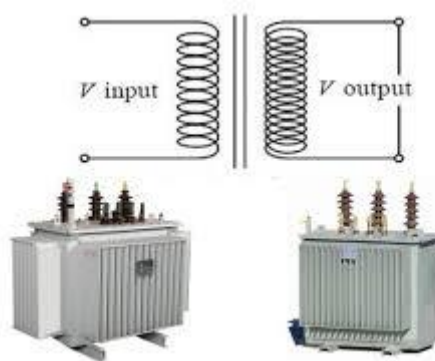
Inverter adalah “jantung” dalam suatu sistem PLTS. Inverter berfungsi untuk mengkonversi arus searah (DC) menjadi arus bolak balik (AC) yang dihasilkan oleh panel surya. Tingkat radiasi matahari yang tidak konstan dapat mempengaruhi *output* Tegangan DC dari panel surya . Tegangan DC yang tidak konstan ini akan dikonversi menjadi tegangan AC yang konstan yang siap disalurkan pada sistem yang ada menggunakan inverter [12]. Inverter digunakan untuk mengubah tegangan 12 V_{DC} atau 24 V_{DC} menjadi tegangan 220 V_{AC} . Besarnya tegangan dan daya keluaran yang akan dihubungkan beban nantinya harus sesuai dengan kapasitas inverter yang dipakai dan juga besarnya sistem penyimpanan yang digunakan (besarnya ampere hour (AH) atau ampere jam dari baterai) [1].



Gambar 2.2 Inverter

2.2.4 Transformator Step Up

Transformator step up adalah transformator yang memiliki lilitan sekunder lebih banyak daripada lilitan primer, sehingga berfungsi sebagai penaik tegangan. Transformator ini juga banyak di jumpai pada pembangkit tenaga listrik dan gardu induk yang digunakan untuk menaikkan tegangan agar dapat menyalurkan listrik pada saluran jarak jauh.



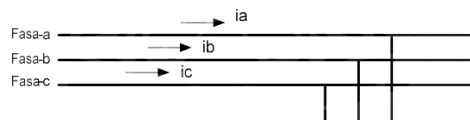
Gambar 2.3 Trafo Step Up

2.2.5 Gangguan hubung singkat

Menurut Aryamantara, 2018 bahwa Gangguan hubung singkat merupakan gangguan yang terjadi karena adanya kesalahan antara bagian-bagian yang bertegangan diakibatkan dari timbulnya arus yang meningkat dari pada arus normal [13].

Gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi pada jaringan (sistem kelistrikan) [14], yaitu:

1. Gangguan hubung singkat tiga fasa



Gambar 2.4 Gangguan hubung singkat 3 fasa

(Sumber : Studi Perencanaan Kordinasi Literatur, Mardensyah)

Gangguan hubung singkat tiga fasa termasuk dalam klasifikasi gangguan simetris, dimana setelah gangguan terjadi arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang. Sehingga pada sistem seperti ini dapat dianalisa hanya dengan menggunakan komponen urutan positif saja yaitu :

$$I = \frac{V}{Z} \dots\dots\dots (2.1)$$

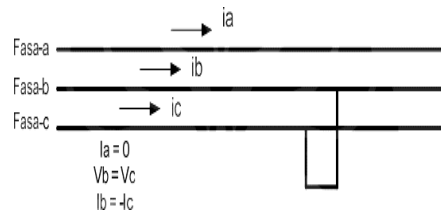
Dimana :

If = Arus gangguan hubung singkat tiga fasa (A)

Vf = Tegangan prangangguan (V)

Z1 = Impedansi urutan positif (ohm)

2. Ganguan hubung singkat dua fasa



Gambar 2.5 Gangguan hubung singkat 2 fasa
(Sumber : Studi Perencanaan Kordinasi Literatur, Mardensyah)

$$I_f = \frac{V_f}{Z_1 + Z_2} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

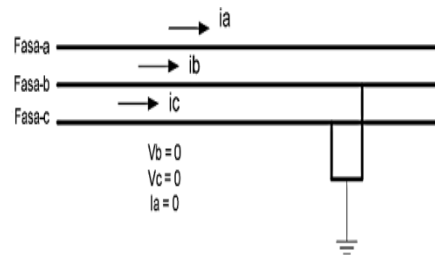
I_f = Arus gangguan hubung singkat dua fasa (A)

V_f = Tegangan pragangguan (V)

Z_1 = Impedansi urutan positif (ohm)

Z_2 = Impedansi urutan negatif (ohm)

3. Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah



Gambar 2.6 Gangguan hubung singkat 2 fasa ke tanah

(Sumber : Studi Perencanaan Kordinasi Literatur, Mardensyah)

$$I_f = \frac{V_f}{Z_1 + \frac{Z_2 Z_0}{Z_2 + Z_0}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

I_f = Arus gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah (A)

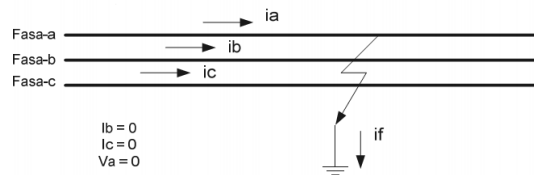
V_f = Tegangan pragangguan (V)

Z_1 = Impedansi urutan positif (ohm)

Z_2 = Impedansi urutan negatif (ohm)

Z_0 = Impedansi urutan nol (ohm)

4. Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah



Gambar 2.7 Gangguan hubung singkat 1 fasa ke tanah

(Sumber : Studi Perencanaan Kordinasi Literatur,Mardensyah)

$$I_f = \frac{3 \times V_f}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

If = Arus gangguan yang mengalir (A)

V = Tegangan Sumber (V)

Z_1 = Impedansi urutan positif (ohm)

Z_2 = Impedansi urutan negatif (ohm)

Z_0 = Impedansi urutan nol (ohm)

Tujuan dari perhitungan gangguan hubung singkat adalah untuk menghitung arus maksimum dan minimum gangguan, serta tegangan pada lokasi yang berbeda dari sistem tenaga untuk jenis gangguan yang berbeda sehingga metode pengaman, rele dan pemutus yang tepat bisa dipilih untuk melindungi sistem dari kondisi yang tidak normal dalam waktu yang tidak berlangsung lama [6].

Dalam melakukan perhitungan arus hubung singkat, harus terlebih dahulu dimulai dari perhitungan pada rel daya tegangan primer di gardu induk untuk berbagai jenis gangguan, kemudian menghitung pada titik-titik lainnya yang letaknya semakin jauh dari gardu induk tersebut. Untuk itu diperlukan perhitungan dari impedansi sumber, impedansi transformator, dan impedansi penyulang.

a. Impedansi Sumber

$$X_s = \frac{kV^2}{MVA} \dots\dots\dots (2.5)$$

Untuk mengkonversi X_s dari 150 kV menjadi 20 Kv menggunakan rumus :

$$X_s \text{ (sisi 20kV)} = \frac{20^2}{150^2} \times X_s \text{ (Sisi 150kV)} \dots\dots\dots (2.6)$$

b. Impedansi Transformator

$$X_t \text{ (pada 100\%)} = \frac{kV^2}{MVA} \dots\dots\dots (2.7)$$

Untuk menghitung reaktansi urutan positif dan negative ($X_{t1} = X_{t2}$) dihitung dengan menggunakan rumus :

$$X_t = \% \text{ yang diketahui} \times X_t \text{ pada 100\%} \dots\dots\dots (2.8)$$

c. Impedansi Penyulang

Urutan positif dan urutan negative menggunakan rumus:

$$Z_1 = Z_2 = \% \text{ panjang} \times \text{panjang penyulang (km)} \times Z_1 / Z_2 \text{ (ohm)}. \quad (2.9)$$

Untuk urutan nol dapat dihitung :

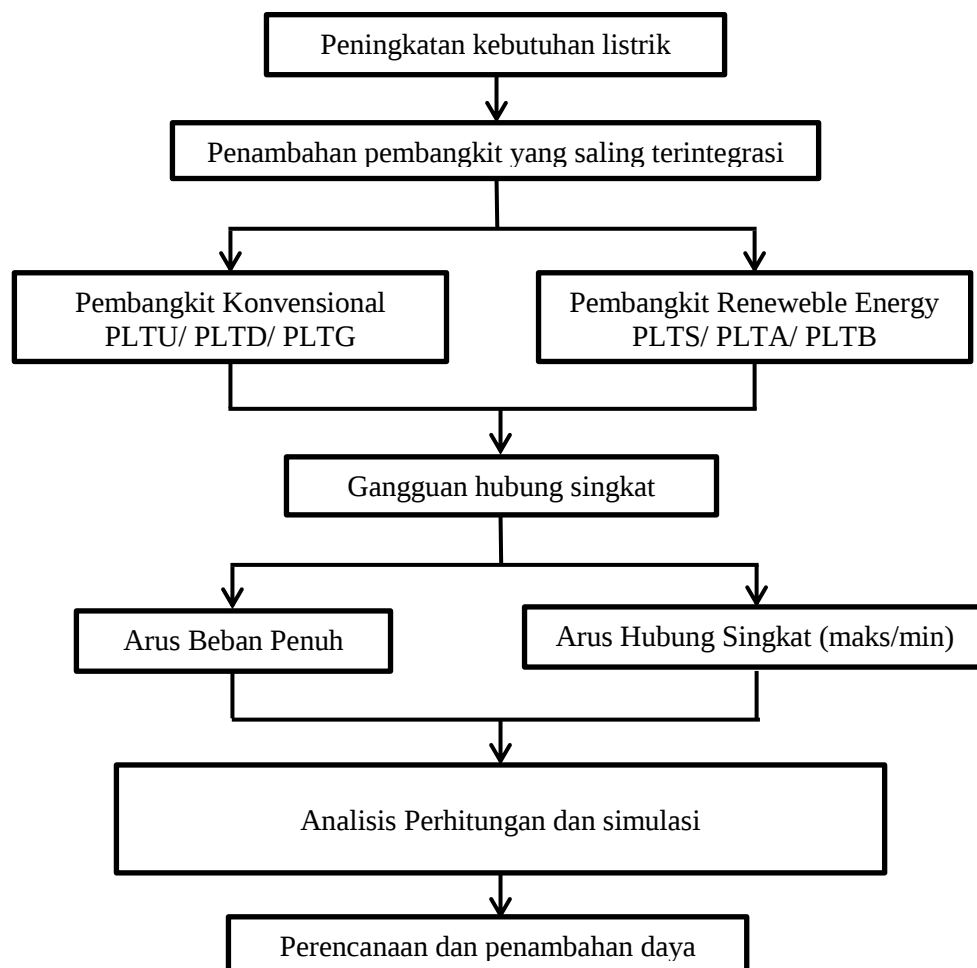
$$Z_0 = \% \text{ panjang} \times \text{panjang penyulang (km)} \times Z_0 \text{ (ohm)} \dots (2.10)$$

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Kerangka Konsep Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang bersifat analisis sehingga dari ruang lingkup masalah dapat dilakukan dengan metode studi pustaka (*library research*), metode pengumpulan data (*field research*), dan analisis.



Gambar 3.1. Kerangka konsep penelitian

3.2 Objek Penelitian / Alat dan Bahan

Objek yang diteliti adalah arus gangguan hubung singkat akibat penambahan PLTS on grid berskala besar dan setting rele arus lebih akibat arus gangguan hubung singkat pada penyulang outgoing 20 kV Gardu Induk. Selain itu data-data yang diperlukan pada penelitian ini sebagai berikut :

- a. Data system PLTS dan data beban penyulan GI Isimu
- b. Data Penyulang 20 kV
 - Jenis penghantar distribusi
 - Jarak penghantar distribusi
 - Impedansi penghantar distribusi
- c. Data teknis peralatan
 - PMT (*Circuit Breaker*) di PLTS dan GI Isimu
 - Transformator di PLTS dan GI Isimu
- d. Data Setelan Rele Arus Lebih di PLTS dan GI Isimu
- e. Data rasio CT di PLTS dan GI Isimu

Adapun alat dan bahan yang di gunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut :

- a. Laptop / PC
- b. *Software* ETAP 19.0.1

3.3 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PLTS 10,75 MW Isimu dan laboratorium Teknik Elektro Universitas Ichsan Gorontalo. Penelitian ini dimulai pada bulan Januari sampai Juni 2021.

3.5 Sistem PLTS 10.75 MW Isimu

3.5.1 Data Panel Surya

Tabel 3.2. Data Panel Surya

PV MODULE (Hanwha Q. Power L-G5)	
Jumlah Module	44.010
Jumlah String	1.467
Output Daya / Panel	330 Wp
Output Tegangan (DC)	1500 VDC

3.5.2 Data Inverter PLTS Isimu

Tabel 3.3. Data Inverter PLTS Isimu

INVERTER SG3125HV-MV		
INPUT (DC)	Max. PV input voltage	1500V
	Min. PV input voltage / stratup input voltage	875 V / 915 V
	MPP Voltage range for nominal power	875 - 1300 V
	No. of independent MPP inputs	1
	No. of DC inputs	21 (Optional: 24 negative grounding or floating : 28 negative grounding
	maks. Input arus PV	4178 A
	AC output power	3593 kVA @ 25 C / 3437 kVA @ 45 C / 3125 kVA @ 50 C
OUTPUT (AC)	Max. AC inverter output current	3458 A
	AC voltage range	10 - 35 kV
	Nominal grid frequency / Grid frequency range	50 Hz / 45 - 55 Hz, 60 Hz / 55 - 65 Hz
	THD	<3 % (at nominal power)
	DC current injection	< 0.5 % In

	Power factor at nominal power / adjustable power factor	> 0.99 / 0.8 leading - 0.8 lagging
	Feed-in phases / Connection phases	3 / 3
Efficiency	Inverter Max. Efficiency / Inverter Euro. Efficiency	99.0 % / 98.7 %
Transformator	Transformer rated power	3125 kVA
	Transformer max. Power	3593 kVA
	LV / MV voltage	0.6 kV / 10 - 35 kV
	Transformator vector	Dy11
	Transformer cooling type	ONAN (Oil Natural Air Natural)
	Oil type	Mineral Oil (PCB free) or degradable oil on request
Protection and Function	DC input protection	Load break switch + fuse
	Inverter output protection	Circuit Breaker
	AC MV output protection	Circuit Breaker
	Over voltage protection	DC Type I + II / AC Type II
	Grid monitoring / Ground fault monitoring	Yes / Yes
	Insulation monitoring	Yes
	Overheat protection	Yes
	Night SVG protection	Yes

3.6 Tahapan Alur Penelitian (Deskripsi)

Tahapan-tahapan penelitian ini adalah sebagai berikut :

3.6.1 Mengumpulkan Data

Tahap ini mengumpulkan data-data yang di peroleh dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya 10,75 MW Isimu Gorontalo dan penyulang outgoing 20 kV Gardu Induk Isimu sebagai bahan dasar analisa, perhitungan arus hubung singkat.

3.6.2 Analisa / Pengolahan Data

Tahap selanjutnya yaitu menganalisa atau mengolah data yang sudah dikumpulkan diantaranya yaitu menghitung impedansi penghantar dan arus gangguan hubung singkat .

- a) Melakukan simulasi pada ETAP 19.0.1 dari data yang di kumpulkan.
- b) Perhitungan Gangguan Hubung Singkat

Sebelum melakukan perhitungan arus hubung singkat, maka lebih dahulu menghitung rel daya tegangan primer di gardu induk untuk berbagai jenis gangguan, kemudian menghitung pada titik-titik lain yang terletak semakin jauh dari gardu induk. Untuk itu di perlukan perhitngan impedansi sumber, impedansi transformator, dan impedansi penyulang.

- Perhitungan arus hubung singkat 3 phase (L-L) pada Inverter

$$I_{sc} = faktor\ k \times FLA (3.1)$$

- Perhitungan arus hubung singkat di sisi sekunder transformator.

$$I_{sc} = \frac{V \times 100}{I_n} (3.2)$$

Dengan :

I_{sc} = Arus hubung singkat (kA)

I_n = Arus Nominal (A)

V = Tegangan (Volt)

- Perhitungan arus hubung singkat phasa-tanah (L-G) di sisi sekunder transformator.

$$I_{sc} = \frac{V \times \sqrt{3}}{Z_{sc} + Z_0} \dots\dots\dots (3.3)$$

- Perhitungan arus hubung singkat 3 phase (L-L) pada Generator Sinkron

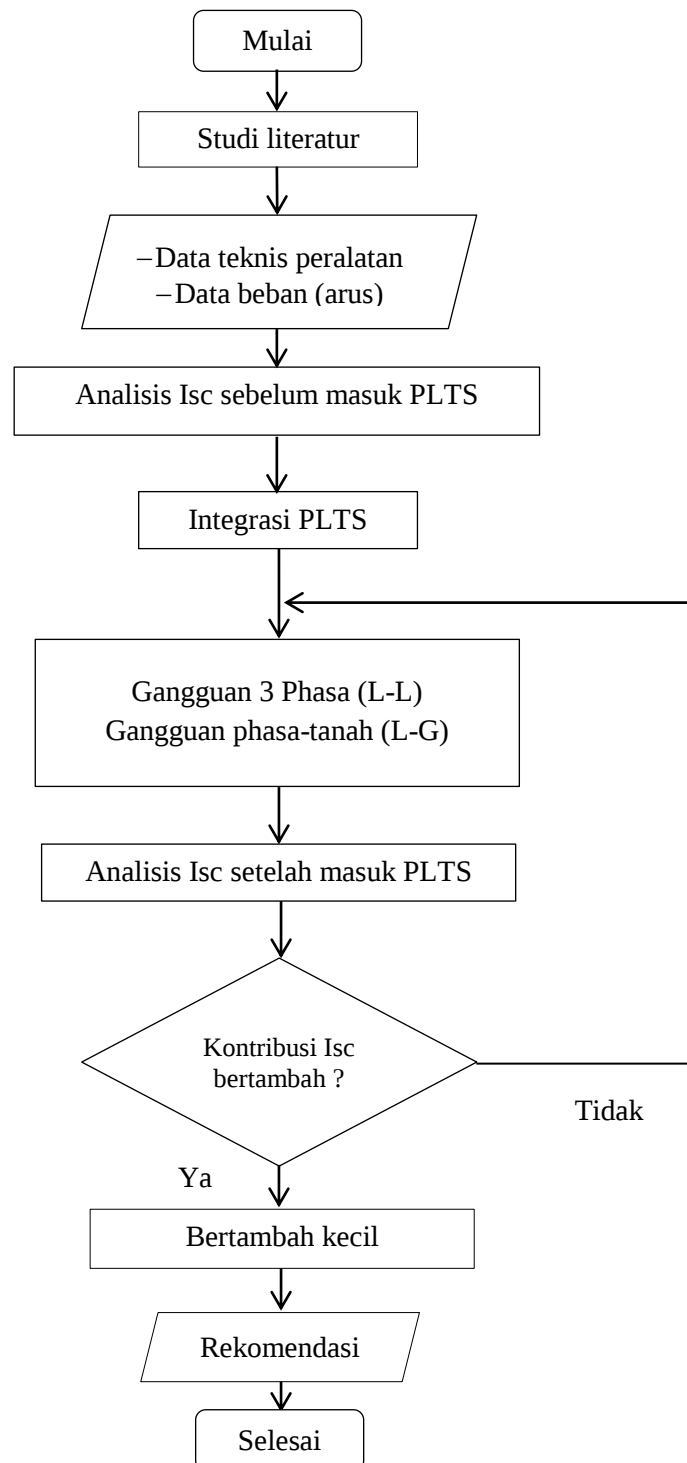
$$I_{sc} = \frac{S_r \times 100}{\sqrt{3} \times V \times Z\%} \dots\dots\dots (3.4)$$

Dengan :

Sr = Daya semu Generator (kVA)

Z% = Impedansi Generator

3.7 Flowchart Alur Penelitian



Gambar 3.3. Flowchart Alur Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Profil Sistem Tenaga Listrik di Gorontalo

4.1.1 Profil Pembangkit Listrik di Provinsi Gorontalo

Provinsi Gorontalo mempunyai 5 pembangkit listrik berskala besar yang mampu mensuplai kebutuhan listrik hingga ke konsumen. Pada tabel 4.1 masing-masing pembangkit mengirim energi ke Gardu Induk yang tersebar di Gorontalo dengan pembangkit yang memiliki daya mampu terbesar hingga 50MW.

Tabel 4.1. Profil Pembangkit Listrik di Provinsi Gorontalo

Nama Pembangkit	Lokasi Gardu Induk	Daya Mampu (MW)
PLTU Molotabu 1	GI Botupingge	12,5
PLTU Molotabu 2	GI Gorontalo Baru	125
PLTU Anggrek	GI Anggrek	22,5
	GI Anggrek	22,5
PLTGU Maleo	GI Marisa	50
	GI Marisa	50
MAK 8M-453 C 1	PLTD Telaga	2,86
MAK 8M-453 C 2	PLTD Telaga	2,86
MAK 8M-453 AK 1	PLTD Telaga	2,5
MAK 8M-453 AK 2	PLTD Telaga	2,5
MAK 8M-453 AK 3	PLTD Telaga	2,5
MAK 8M-453 AK 4	PLTD Telaga	2,5
PLTS Isimu	GI Isimu	10,75

4.1.2 Profil Gardu Induk dan Beban Penyulang

Pada tabel 4.2 Gardu Induk yang ada pada sistem kelistrikan Gorontalo ada 7 Gardu induk dan mempunyai kapasitas transformator hingga 60 MVA. Masing-masing Gardu Induk ini terhubung dengan saluran udara

tegangan tinggi (SUTT). Penyaluran listrik sampai ke penyulang kemudian di step down menjadi 20kV atau menjadi tegangan menengah.

Tabel 4.2. Profil Gardu Induk di Provinsi Gorontalo

Gardu Induk	Kapasitas Trafo (MVA)	Tegangan (kV)
ISIMU 1	30	150 / 20
ISIMU 2	60	150 / 20
BOROKO	20	150 / 20
ANGGREK	20	150 / 20
GORONTALO BARU	60	150 / 20
BOTUPINGGE 1	60	150 / 20
BOTUPINGGE 2	60	150 / 20
TILAMUTA	30	150 / 20
MARISA	30	150 / 20

Tabel 4.3. Data Beban Penyulang

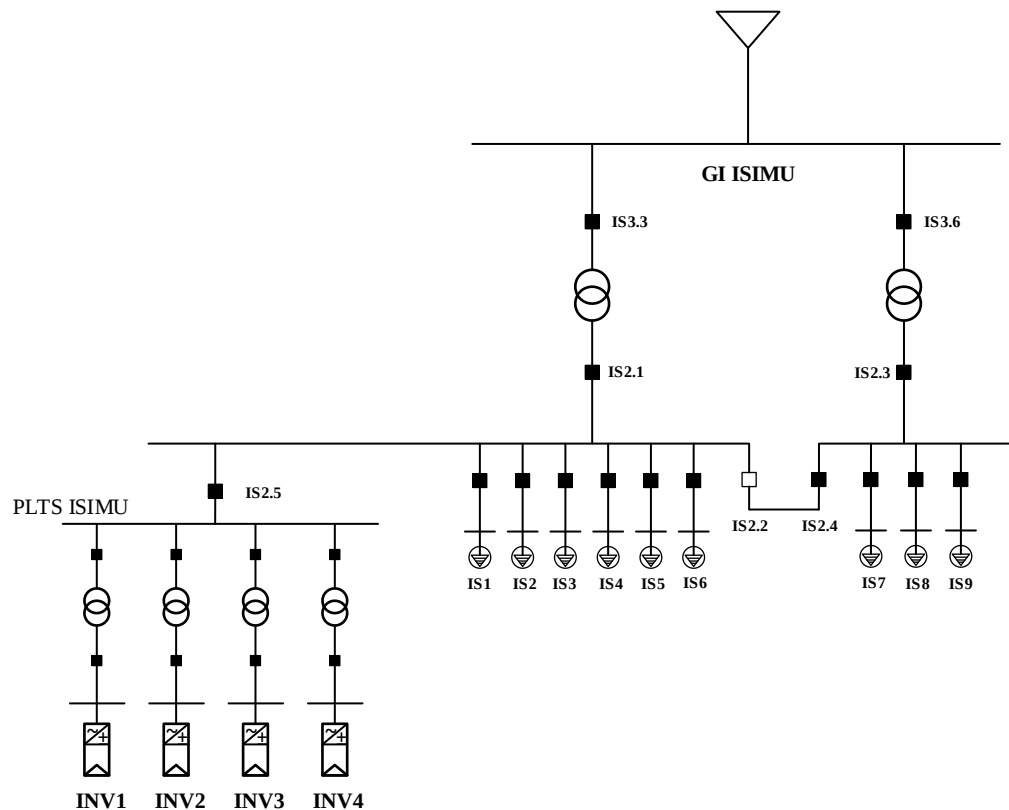
GARDU INDUK	PENYULANG	DAYA (kW)	ARUS (A)
ISIMU	IS.1	4447.2	131
	IS.2	3089.3	91
	IS.3	5228	154
	IS.4	2851.6	84
	IS.5	9607.3	283
	IS.6	1697.4	50
	IS.7	679	20
	IS.8	3632.5	107
	IS.9	1357.9	40
ANGGREK	AG.1	4073.8	120
	AG.2	5771.2	170
	AG.3	6653.8	196
TILAMUTA	TA.1	5873	173
	TA.3	2002.9	59
	TA.4	3394.8	100
MARISA	MR.1	1256.1	37
	MR.2	10286.3	303
	MR.3	5669.3	167
	MR.4	7977.8	235
	MR.5	2308.5	68
	MR.6	4141.7	122
	MR.7	-	-
GORONTALO BARU	GB.1	2002.9	59
	GB.2	1799.3	53
	GB.3	5262	155

	GB.4	5601.5	165
	GB.5	169.7	5
	GB.6	4039.8	119
	GB.7	1493.7	44
BOTUPINGGE	BP.1	4175.6	123
	BP.2	5126.2	151
	BP.3	6212.5	183
	BP.4	6280.4	185
	BP.5	5024.3	148
	BP.6	4922.5	145
	BP.7	6484.1	191
	BP.8	4141.7	122
	BP.9	2342.4	69
	BP.10	4684.9	138
BOROKO	BK.1	1833.2	54
	BK.2	2478.2	73
	BK.3	3971.9	117
PLTD TALAGA	LT.3	2648	78
	LT.6	1833.2	54
	LT.7	-	-
	LT.8	-	-
	LT.9	1697.4	50
	LT10	1629.5	48
	LT.11	3666.4	108

Pada tabel 4.3 dapat dilihat data masing-masing penyulang yang ada di Gardu Induk di Provinsi Gorontalo. Data beban pada penyulang ini kemudian di gunakan untuk simulasi dan perhitungan arus hubung singkat menggunakan *software* ETAP 19.0.1 pada sistem kelistrikan Gorontalo.

4.2 Pemodelan Sistem PLTS Terhubung ke Gardu Induk

Pemodelan Sistem PLTS yang terhubung ke Gardu Induk Isimu seperti yang terlihat pada Gambar 4.1 PLTS Isimu yang terhubung pada sisi Outgoing GI Isimu 20kV.



Gambar 4.1 Pemodelan sistem PLTS terhubung ke Gardu Induk Isimu

4.3 Profil Aliran Daya PLTS Isimu pada Sistem Transmisi Gorontalo

Tabel 4.4. Profil Aliran Daya PLTS Isimu

Lokasi	Arus (A)	Tegangan (kV)	Daya Aktif (MW)	Daya Reaktif (Mvar)	%PF
Inverter 1	2612.4	0.6	2.655	0.379	99
Inverter 2	2612.4	0.6	2.655	0.379	99
Inverter 3	2612.4	0.6	2.655	0.379	99
Inverter 4	2612.4	0.6	2.655	0.379	99
Total			10.534	1.009	

Dari hasil simulasi ETAP 19.0.1 dapat dilihat dari tabel 4.4 bahwa aliran daya aktif yang mengalir dari inverter adalah sebesar 2.655 MW sedangkan daya reaktif sebesar 0.379 Mvar pada masing-masing inverter dengan tegangan 600V. Kemudian pada Bus paralel PLTS Isimu daya aktif yang mengalir yaitu

10.534MW dan daya reaktinya sebesar 1.009Mvar. Daya yang mengalir pada bus PLTS adalah gabungan dari daya pada masing-masing output transformator.

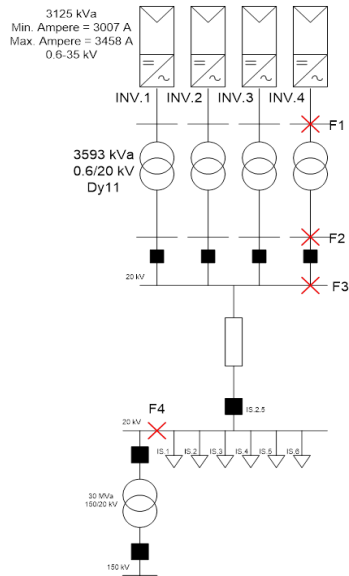
4.4 Analisis Arus Hubung Singkat

Menganalisis kontribusi arus hubung singkat sebelum dan setelah adanya PLTS yang di dapat dari hasil simulasi menggunakan *software* ETAP 19.0.1 yang di tampilkan dalam bentuk tabel, serta membandingkan dengan hasil perhitungan secara manual menggunakan metode impedansi.

4.4.1 Menghitung Arus Hubung Singkat 3 phase masing-masing titik

Tabel 4.5 Perhitungan Arus Hubung Singkat 3 Phase (L-L) dengan PLTS

Arus Hubung Singkat 3 Phase (L-L) dengan PLTS												
Titik Gangguan	Hasil Hitung ETAP 19.0.1		Hasil Hitung Manual Menggunakan Metode Impedansi									
Gangguan di titik Inverter PLTS (F1)	Isc (kA) Tanpa PLTS	Isc (kA) dgn PLTS	kVa	V	K%	FLA	Z%	Multiple r Factor	In (rated current)	Isc (kA) dgn PLTS	Isc reverse (kA)	Isc Peak (kA)
• Inverter 1		4.51	3125	600	150%	3007.03	0	0		4.51	35.04	81.77
• Inverter 2		4.51	3125	600	150%	3007.03	0	0		4.51	35.04	81.77
• Inverter 3		4.51	3125	600	150%	3007.03	0	0		4.51	35.04	81.77
• Inverter 4		4.51	3125	600	150%	3007.03	0	0		4.51	35.04	81.77
Gangguan di Sisi Primer Transformator (F2)												
• Transformator Inv.1		0.13	3593	20000	0	103.72	7.15	15.54	103.72	0.15	1.45	3.59
• Transformator Inv.2		0.13	3593	20000	0	103.72	7.15	15.54	103.72	0.15	1.45	3.59
• Transformator Inv.3		0.13	3593	20000	0	103.72	7.15	15.54	103.72	0.15	1.45	3.59
• Transformator Inv.4		0.13	3593	20000	0	103.72	7.15	15.54	103.72	0.15	1.45	3.59
Gangguan di Sisi Sekunder/ Paralel Transformator (F3)		0.524	14372	20000	0	414.88	7.15	15.54	414.88	0.580	2.205	5.61
• Isc di Outgoing PLTS (F4)		0.519	14372	20000	0	414.88	7.33	15.16	414.88	0.566		
• Kontribusi Isc PLTS ke IS.2.5 (F4)		0.519								0.566		
Isc di sisi GI.Isimu (F4)		6.928	30000	20000	0	866.03	12.5	8.89	866.03	6.928	6.928	16.903
Total Isc di GI. Isimu (F4)	6.928	7.441	30000	20000	0	866.03						



Sebelum masuknya PLTS ke sisi Outgoing 20 kV Gardu Induk Isimu, total arus hubung singkat yang dihitung menggunakan ETAP 19.0.1 sebesar 6.928kA seperti pada tabel 4.5. Kemudian setelah masuknya PLTS arus hubung singkat dengan gangguan pada F1 atau pada sisi bus masing-masing inverter adalah 4.51kA sama besarnya menggunakan perhitungan Etap 19.0.1 dengan perhitungan manual. Pada F2 atau pada sisi bus outgoing transformator nilai perhitungan menggunakan Etap adalah 0.131kA lebih kecil dibanding perhitungan manual yaitu sebesar 0.18kA pada masing-masing transformator. Gangguan yang terjadi pada F3 atau pada sisi paralel transformator dengan jumlah nilai arus hubung singkat yang di jumlahkan dari masing-masing transformator sebesar 0.524kA dengan perhitungan Etap dan 0.580kA menggunakan perhitungan manual, dengan nilai impedansi trafo yang sama. Kontribusi arus hubung singkat PLTS pada sisi outgoing GI Isimu ketika gangguan terjadi di F4 adalah sebesar 0.519kA dengan perhitungan Etap dan 0.566kA menggunakan perhitungan manual. Dengan gangguan yang terjadi pada F4 nilai arus hubung singkat menggunakan simulasi Etap totalnya sebesar 7.441kA. Total nilai arus hubung singkat ini dijumlahkan dari kontribusi PLTS Isimu dan transformator Step Down GI Isimu dengan nilai arus hubung singkat sebesar 6.928kA.

Dari perhitungan di atas, arus hubung singkat pada sisi Inverter dengan perhitungan manual dan simulasi Etap nilainya sama yaitu 4.51kA. Hal ini dipengaruhi oleh faktor k.

Dari tabel perhitungan arus gangguan hubung singkat dengan perhitungan Etap 19.0.1 terlihat adanya perbedaan nilai arus hubung singkat, hal ini

dikarenakan adanya sistem perhitungan yang berbeda. Arus hubung singkat hasil perhitungan manual lebih besar dibandingkan dengan arus hubung singkat menggunakan ETAP 19.0.1. Karena pada perhitungan manual tidak melibatkan beberapa parameter tertentu sehingga hasilnya berbeda.

Perhitungan kontribusi arus hubung singkat PLTS ketika gangguan di sisi outgoing GI Isimu 3 phase (L-L) menggunakan metode impedansi :

Impedansi hubung singkat = 7.15%

Tegangan sekunder trafo = 20,000 Volt

Daya output trafo = 3593 kVA

Daya total Trafo PLTS = 3593kVA x 4 trafo = 14372kVA

$$In = \frac{kVA \times 1000}{V \times \sqrt{3}}$$

$$In = \frac{14372 \times 1000}{20000 \times \sqrt{3}} = 414.88 A$$

$$Isc = \frac{V \times 100}{In}$$

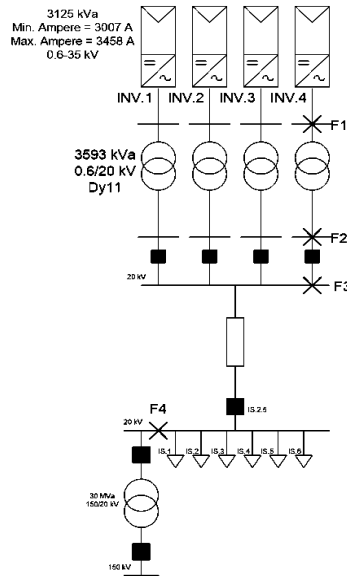
$$= \frac{20000 \times 1000}{414.88} = 5660.08 = 0.566kA$$

4.4.2 Menghitung Arus Hubung Singkat phase-tanah (L-G) masing-masing titik

Menghitung arus hubung singkat phase-tanah (L-G) pada masing-masing titik gangguan dengan simulasi ETAP dan perhitungan manual menggunakan metode impedansi

Tabel 4.6 Perhitungan Arus Hubung Singkat Phase-tanah (L-G) dengan PLTS

Arus Hubung Singkat 1 Phase (L-G) dengan SPVG										
Titik Gangguan	Hasil Hitung ETAP 19.0.1		Hasil Hitung Manual Menggunakan Metode Impedansi							
	Isc (kA) Tanpa PLTS	Isc (kA) dgn PLTS	kVa	V	K%	FLA	Z%	Multiplier Factor	In (rated current)	Isc (kA) dgn PLTS
Gangguan di titik Inverter PLTS (F1)										
Inverter 1		0	3125	600	150%	3007.03	0	0		0.00
Inverter 2		0	3125	600	150%	3007.03	0	0		0.00
Inverter 3		0	3125	600	150%	3007.03	0	0		0.00
Inverter 4		0	3125	600	150%	3007.03	0	0		0.00
Gangguan di Sisi Sekunder Transformator (F2)										
Transformator Inv.1		0.55	3593	20000	0	103.72	7.15	15.54	103.72	0.81
Transformator Inv.2		0.55	3593	20000	0	103.72	7.15	15.54	103.72	0.81
Transformator Inv.3		0.55	3593	20000	0	103.72	7.15	15.54	103.72	0.81
Transformator Inv.4		0.55	3593	20000	0	103.72	7.15	15.54	103.72	0.81
Gangguan di Sisi Paralel Transformator (F3)		2.20	14372	20000	0	414.88	7.15	15.54	414.88	3.23
Isc di Outgoing PLTS (F4)		1.882	14372	20000	0	414.88	7.33	15.16	414.88	1.181
Kontribusi Isc PLTS ke IS.2.5 (F4)		1.806								
Total Isc di GI. Isimu (F4)	10.05	12.126	30000	20000	0	866.03				



Arus hubung singkat phase-tanah (L-G) seperti pada tabel 4.6 pada gangguan di sisi GI Isimu sebelum masuknya PLTS total nilai arus hubung singkat sebesar 10.05kA menggunakan simulasi Etap 19.0.1. Pada gangguan di sisi F1 nilai arus hubung singkat adalah 0.00kA. Ketika di sisi transformator atau pada F2 terjadi gangguan, nilai arus hubung singkat phasa-tanah sebesar 0.55kA menggunakan perhitungan Etap dan 0.81kA menggunakan perhitungan manual. Gangguan yang terjadi pada F3 atau sisi paralel PLTS adalah gabungan dari masing-masing arus hubung singkat outgoing transformator sebesar 2.20kA menggunakan perhitungan Etap dan 3.23kA menggunakan perhitungan manual. Pada saat masuknya PLTS ke sisi outgoing GI Isimu 20KV memberikan kontribusi arus hubung singkat sebesar 1.882kA sesuai simulasi Etap 19.0.1, nilai arus hubung singkatnya lebih besar dibandingkan perhitungan manual yaitu sebesar 1.181kA. Serta total arus hubung singkat pada gangguan F4 adalah 12.126kA.

Perhitungan kontribusi arus hubung singkat PLTS ketika gangguan di sisi outgoing GI Isimu phase-tanah (L-G) menggunakan metode impedansi :

Impedansi hubung singkat = 7.15%

Tegangan sekunder trafo = 20,000 Volt

Daya output trafo = 3593 kVA

Daya total Trafo PLTS = 3593kVA x 4 trafo = 14372kVA

$$I_{sc} = \frac{V \times \sqrt{3}}{Z_{sc} + Z_0}$$

$$I_{sc} = \frac{20000 \times \sqrt{3}}{7.33 + (\frac{7.33}{3})} = 1181.48 = 1.18kA$$

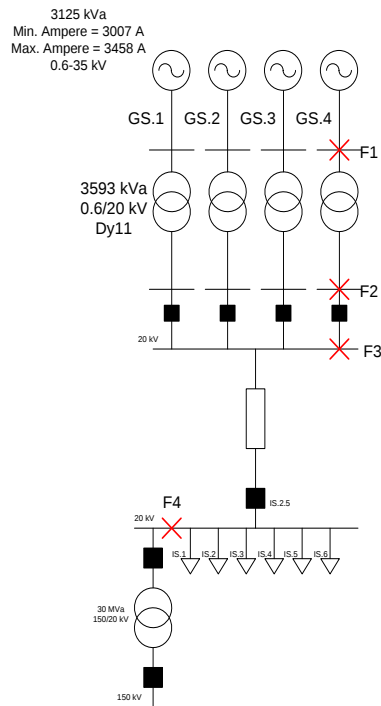
4.5 Perbandingan Kontribusi Arus Hubung Singkat PLTS dengan Arus Hubung Singkat Generator Sinkron (Asumsi Kapasitas Daya dan FLA sama)

Hasil simulasi ETAP ketika inverter diganti dengan Generator Sinkron dengan kapasitas daya yang sama dalam bentuk tabel, dengan perhitungan secara manual.

4.5.1 Menghitung Arus Hubung Singkat 3 phase masing-masing titik

Tabel 4.7 Perhitungan Arus Hubung Singkat 3 Phase (L-L) dengan Generator Sinkron

Arus Hubung Singkat 3 Phase (L-L) dengan Generator Sinkron										
Titik Gangguan	Hasil Hitung ETAP 19.0.1		Hasil Hitung Manual Menggunakan Metode Impedansi							
Gangguan di titik Generator Sinkron (F1)	Isc (kA) Tanpa GS	Isc (kA) dgn GS	kVa	V	K%	FLA	Z%	Multiplier Factor	In (rated current)	Isc (kA) dgn GS
• Inverter 1		16.402	3125	600	0	3007.03	19	0	2614	15.83
• Inverter 2		16.402	3125	600	0	3007.03	19	0	2614	15.83
• Inverter 3		16.402	3125	600	0	3007.03	19	0	2614	15.83
• Inverter 4		16.402	3125	600	0	3007.03	19	0	2614	15.83
Gangguan di Sisi Sekunder Transformator (F2)										
• Transformator Inv.1		0.39	3593	20000	0	103.72	7.15	15.54	103.72	0.15
• Transformator Inv.2		0.39	3593	20000	0	103.72	7.15	15.54	103.72	0.15
• Transformator Inv.3		0.39	3593	20000	0	103.72	7.15	15.54	103.72	0.15
• Transformator Inv.4		0.39	3593	20000	0	103.72	7.15	15.54	103.72	0.15
Gangguan di Sisi Paralel Transformator (F3)		1.576	14372	20000	0	414.88	7.15	15.54	414.88	0.58
• Isc di Outgoing GS (F4)		1.484	14372	20000	0	414.88	7.33	15.16	414.88	0.57
• Kontribusi Isc GS ke IS.2.5 (F4)		1.484								
Isc di sisi GI. Isimu (F4)		6.928	30000	20000	0	866.03	12.5	8.89	866.03	6.928
Total Isc di GI. Isimu (F4)	6.928	8.407	30000	20000	0	866.03				



Untuk menganalisis kontribusi arus hubung singkat dari PLTS pada outgoing GI Isimu seperti di jelaskan pada tabel 4.5, maka diberikan perbandingan juga besar kontribusi arus hubung singkat ketika Generator Sinkron (GS) terhubung ke GI Isimu. Pada gangguan di sisi outgoing GI Isimu total arus hubung singkat sebelum masuknya generator sinkron adalah sebesar 11.687kA sama dengan sebelum masuknya PLTS sesuai dengan simulasi Etap 19.0.1. Ketika diberikan gangguan pada titik F1 atau di sisi generator nilai arus hubung singkatnya sebesar 16.402kA untuk tiap generator dengan kapasitas daya yang sama. Dibandingkan dengan arus hubung singkat menggunakan perhitungan manual nilainya lebih kecil yaitu 15.83kA. Gangguan pada sisi transformator arus hubung singkat yang dihitung menggunakan Etap adalah sebesar 0.39kA dan 0.15kA dihitung secara manual. Pada gangguan paralel GI Isimu arus hubung singkat yang di gabungkan dari masing-masing transformator sebesar 1.576kA sesuai simulasi Etap 19.0.1 dan dihitung secara manual dengan nilai 0.58kA. Kontribusi arus hubung singkat yang diberikan Generator Sinkron pada Outgoing GI Isimu sebesar 1.484kA perhitungan Etap dan 0.57kA dengan perhitungan manual pada saat gangguan di titik F4 atau disisi GI Isimu, dan juga total arus hubung singkat yang berasal dari sisi incoming GI, penyulang dan juga kontribusi Generator Sinkron sebesar 13.169kA.

Kontribusi arus hubung singkat dari Generator Sinkron pada outgoing GI Isimu seperti pada tabel 4.7 dihitung menggunakan Etap 19.0.1 lebih besar dibandingkan dengan kontribusi arus hubung singkat yang diberi PLTS dapat dilihat pada tabel 4.5 dengan kontribusi GS sebesar 1.484kA dan 0.521 kontribusi

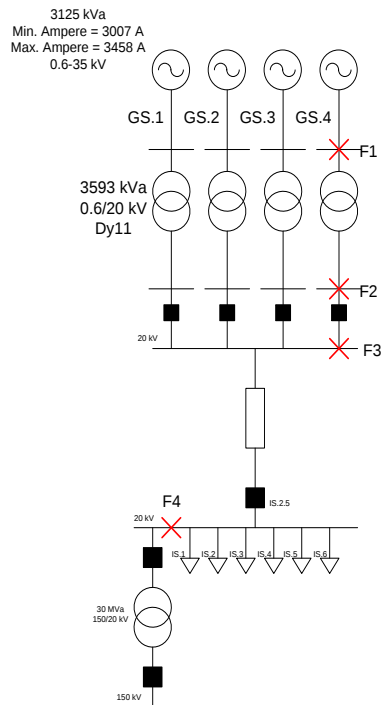
dari Inverter. Begitupun ketika diberi gangguan pada bus Generator dan Inverter nilai arus yang dihasilkan sangat jauh berbeda, dengan arus hubung singkat dari generator sinkron sebesar 16.402kA dan disisi Inverter 4.51kA dengan selisih 11.892kA yang dihitung menggunakan Etap 19.0.1. Ketika diberi gangguan pada sisi transformator nilai perhitungan secara manual menggunakan GS dan Inverter nilai arus hubung singkatnya sama, karena nilai impedansi pada transformator sama. Namun, dengan perhitungan Etap nilai arus hubung singkatnya berbeda. Dengan nilai arus hubung singkat menggunakan Generator Sinkron sebesar 0.39kA dan 0.13kA dengan Inverter.

4.5.2 Menghitung Arus Hubung Singkat phase-tanah (L-G) masing-masing titik

Tabel 4.8 Perhitungan Arus Hubung Singkat Phase-tanah (L-G) dengan Generator Sinkron

Arus Hubung Singkat 1 Phase (L-G) dengan Generator Sinkron

Titik Gangguan	Hasil Hitung ETAP 19.0.1		Hasil Hitung Manual Menggunakan Metode Impedansi							
	Isc (kA) Tanpa GS	Isc (kA) dgn GS	kVa	V	K %	FLA	Z%	Multiplier Factor	In (rated current)	Isc (kA) dgn GS
Gangguan di titik Generator Sinkron (F1)										
• Generator 1		0	3125	600	150%	3007.03	0	0		0.00
• Generator 2		0	3125	600	150%	3007.03	0	0		0.00
• Generator 3		0	3125	600	150%	3007.03	0	0		0.00
• Generator 4		0	3125	600	150%	3007.03	0	0		0.00
Gangguan di Sisi Sekunder Transformator (F2)										
• Transformator GS1		0.774	3593	20000	0	103.72	7.15	15.54	103.72	0.81
• Transformator GS2		0.774	3593	20000	0	103.72	7.15	15.54	103.72	0.81
• Transformator GS3		0.774	3593	20000	0	103.72	7.15	15.54	103.72	0.81
• Transformator GS4		0.774	3593	20000	0	103.72	7.15	15.54	103.72	0.81
Gangguan di Sisi Paralel Transformator (F3)		3.096	14372	20000		414.88	7.15	15.54	414.88	3.23
• Isc di Outgoing GS (F4)		2.382	14372	20000	0	414.88	7.33	15.16	414.88	1.18
• Kontribusi Isc GS ke IS.2.5 (F4)		2.382								1.18
Total Isc di GI. Isimu (F4)	10.05	12.632	30000	20000	0	866.03				

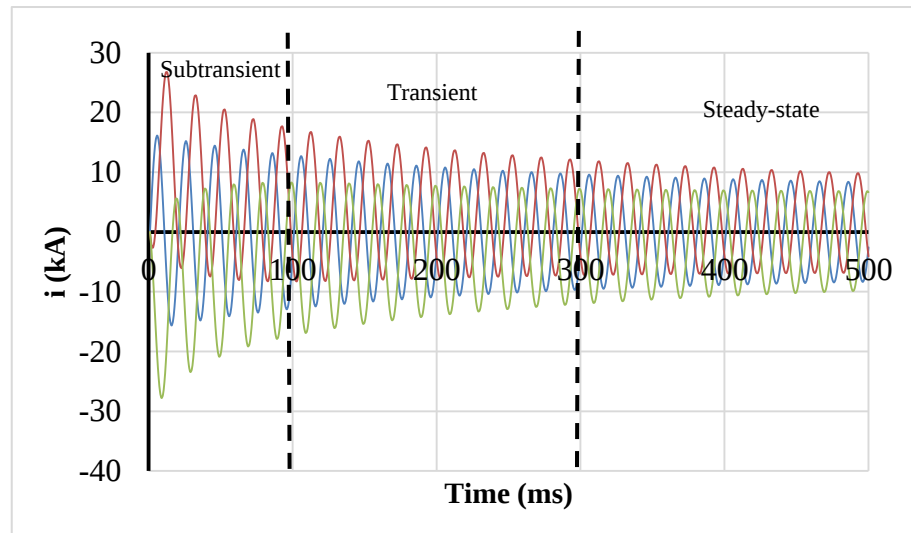


Nilai arus hubung singkat phase-tanah (L-G) pada gangguan bus GI Isimu 20kV sebelum masuknya Generator Sinkron adalah sebesar 10.05kA. Perhitungan menggunakan Etap maupun manual nilai arus hubung singkat ketika gangguan di sisi F1 setelah masuknya Generator Sinkron adalah 0.00kA. Kemudian untuk gangguan di F2 arus hubung singkat yang dihasilkan menggunakan simulasi Etap adalah 0.774kA pada masing-masing transformator, dan 0.81kA dihitung manual. Seperti pada tabel 4.8 dapat di lihat pada gangguan F3 atau pada bus paralel transformator nilai arus hubung singkatnya sebesar 3.096kA dengan menggunakan Etap dan 3.23kA perhitungan manual. Untuk kontribusi arus hubung singkat yang diberikan dari Generator sinkron pada outgoing GI Isimu ketika gangguan pada F4, yang dihitung menggunakan Etap adalah sebesar 2.382kA dan dihitung secara manual sebesar 1.18kA. Total arus hubung singkat ketika gangguan pada Bus GI Isimu 20KV setelah masuknya Generator sinkron sebesar 12.632kA.

4.6 Perbandingan Karakteristik Arus Hubung Singkat Antara Inverter

PLTS dengan Generator Sinkron

4.6.1 Arus Hubung Singkat di Sisi Outgoing GI Isimu 20 KV Sebelum masuknya PLTS atau Generator Sinkron

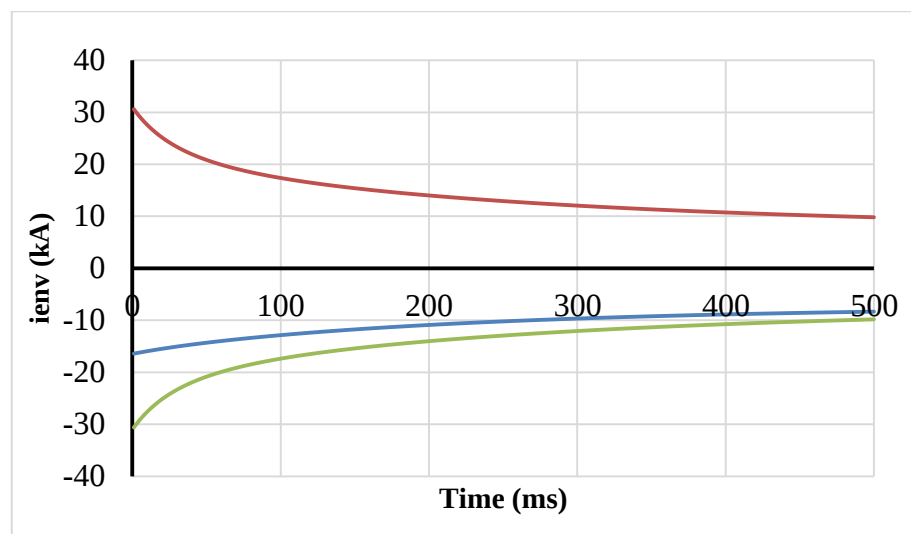


Gambar 4.2 Grafik total Arus Gangguan di Sisi Outgoing GI Isimu 20 KV Sebelum Masuknya PLTS atau Generator Sinkron

Pada saat terjadi gangguan hubung singkat, akan mengalir arus yang sangat besar secara tiba-tiba dari sumber ke titik gangguan. Gambar 4.2 merupakan bentuk gelombang arus hubung singkat. Reaktansi pada beberapa *cycle* pertama sangat kecil dan arus hubung singkatnya sangat tinggi. Reaktansi pada saat ini disebut reaktansi subtransien atau *subtransient reactance* (X''_d). Pada umumnya, reaktansi subtransien digunakan untuk menentukan arus awal atau arus hubung singkat simetris awal (*initial symmetrical short-circuit current*) yang mengalir pada saat gangguan hubung singkat terjadi. Beberapa *cycle* kemudian arus hubung singkat cenderung menurun

dan reaktansi pada saat ini disebut reaktansi transien atau *transient reactance* ($X'd$), dan akhirnya kondisinya mencapai *steady state* dan pada saat ini reaktansinya disebut reaktansi sinkron atau *synchronous reactance* (X_d).

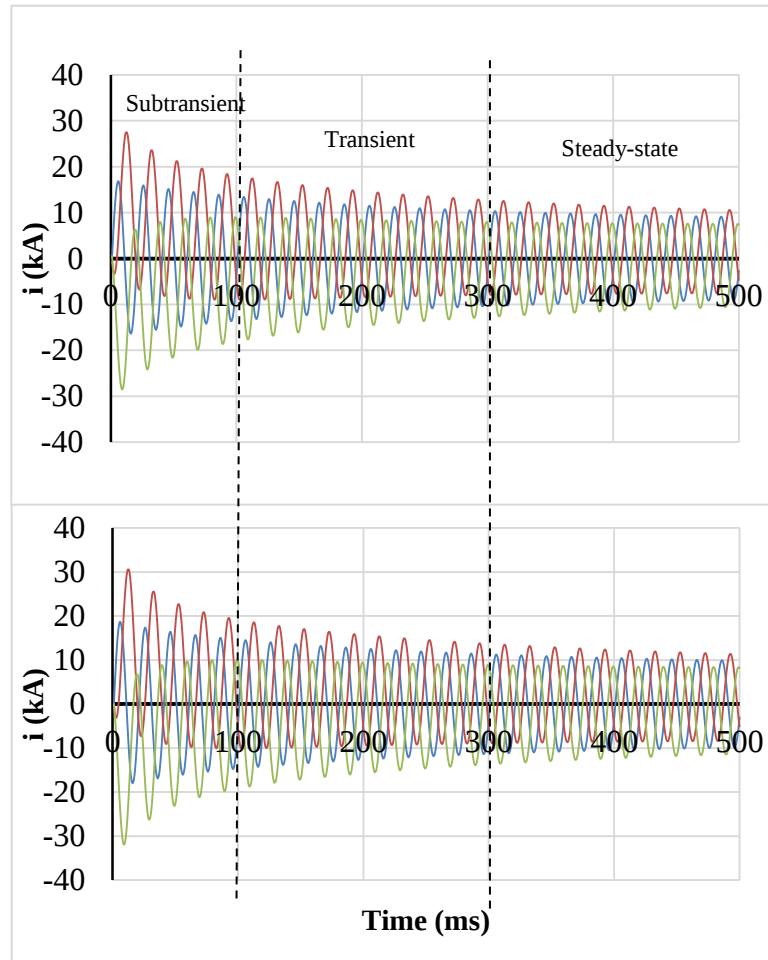
Nilai arus puncak awal hubung singkat sebesar 26.692kA yang terjadi pada detik 0.0109 pada phase B asimetris.



Gambar 4.3 Grafik Top Envelope dari Arus Gangguan di Sisi Outgoing GI Isimu 20 KV Sebelum Masuknya PLTS atau Generator Sinkron

4.6.2 Arus Hubung Singkat di Sisi GI Isimu Outgoing 20 KV

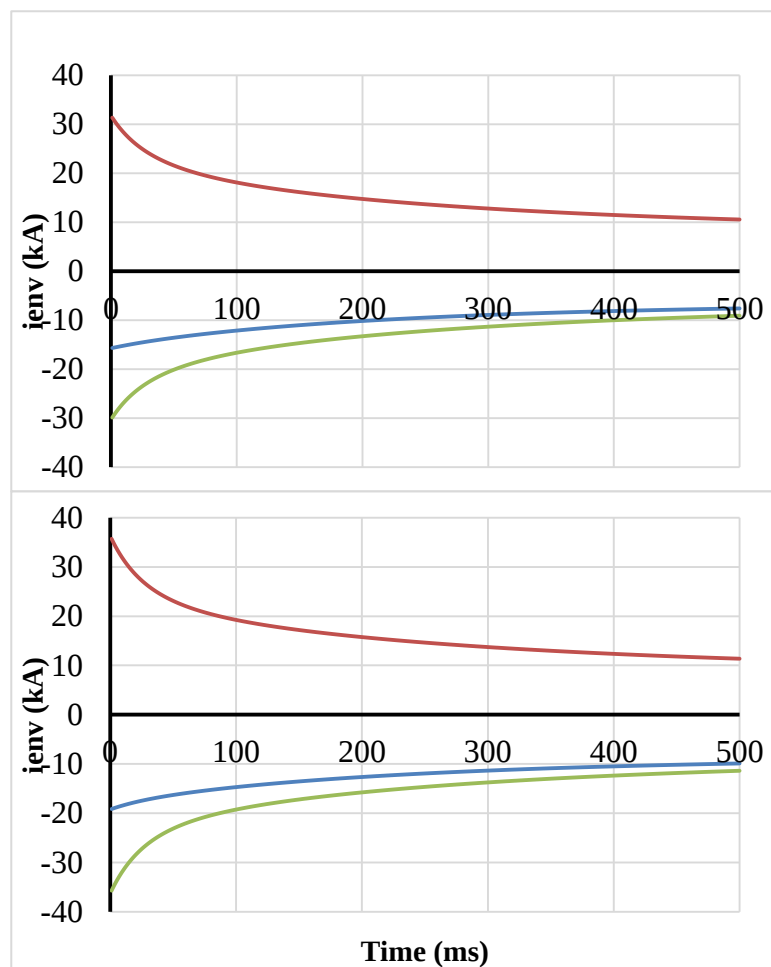
Menggunakan Inverter dan Generator Sinkron



Gambar 4.4 Grafik total Arus Gangguan di Sisi Outgoing GI Isimu 20 KV menggunakan Inverter dan Genertor Sinkron

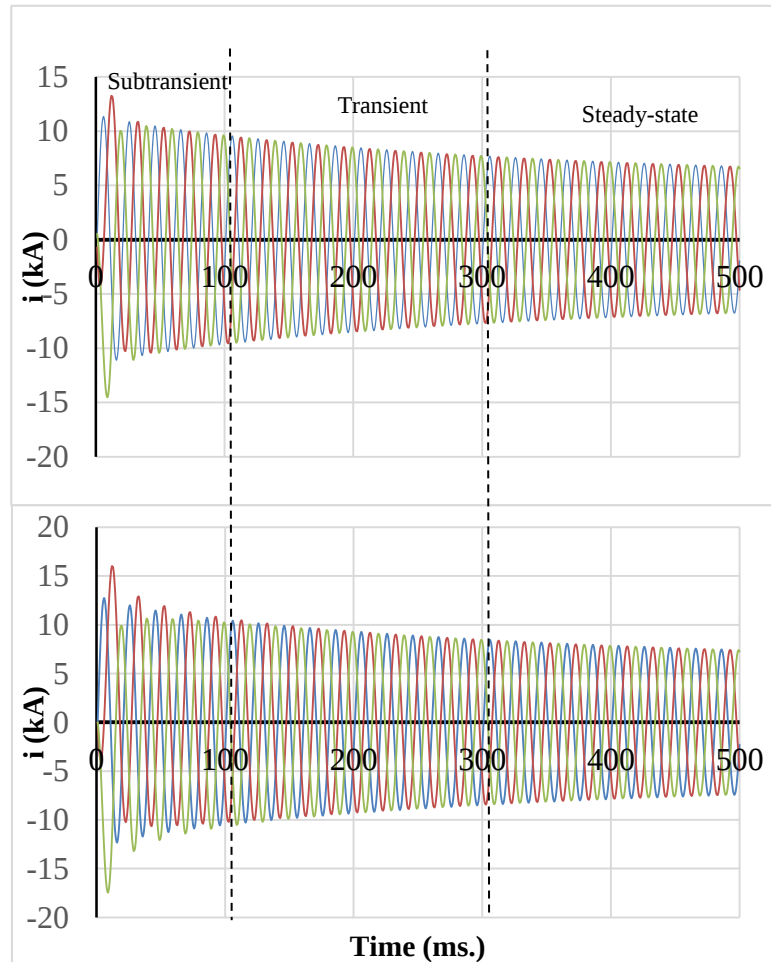
Pada gambar 4.4 dapat dilihat bahwa tidak banyak perbedaan antara arus hubung singkat ketika gangguan disisi Outgoing GI Isimu antara menggunakan Photovoltheic dan Generator Sinkron. Nilai arus hubung singkat yang diberikan dari PV lebih kecil atau reaktansi subtransiennya tidak mencapai 30kA, berbeda dengan GS nilai arus reaktansi subtransient bisa sampai 30kA. Pada reaktansi subtransien

terjadi di waktu 0 detik sampai dengan 0.1 detik (100ms) *cycle* disetiap phasa berjumlah 5 *cycle*. Kemudian untuk reaktansi transien terjadi pada waktu 0.1detik sampai 0.3 detik jumlah *cycle* masing-masing phasa 10 *cycle*. Steady-state terjadi pada waktu 0.3 detik sampai dengan 0.5 detik dengan 10 *cycle* setiap phasanya.



Gambar 4.5 Grafik Top Envelope dari Arus Gangguan di Sisi Outgoing GI Isimu 20 KV menggunakan Inverter dan Generator Sinkron

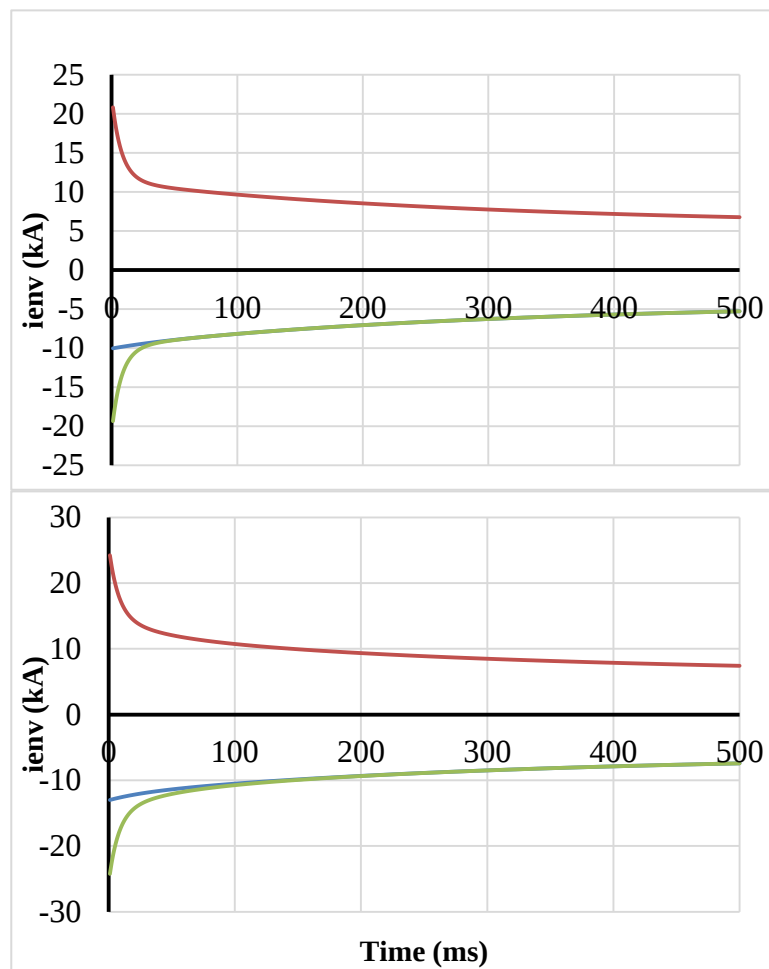
4.6.3 Arus Hubung Singkat di Sisi Bus Paralel Menggunakan Inverter dan Generator Sinkron



Gambar 4.6 Grafik Total Arus Gangguan di Sisi Bus Paralel menggunakan Inverter dan Generator

Grafik total arus gangguan di sisi bus paralel dengan menggunakan inverter dan generator tidak nampak perbedaan yang spesifik, hanya tingkat nilai arus yang berbeda. Pada bustransien reaktansi memiliki jumlah *cycle* yang sama antara Inverter dan dengan Generator. Begitupun ketika arus menurun pada keadaan transien

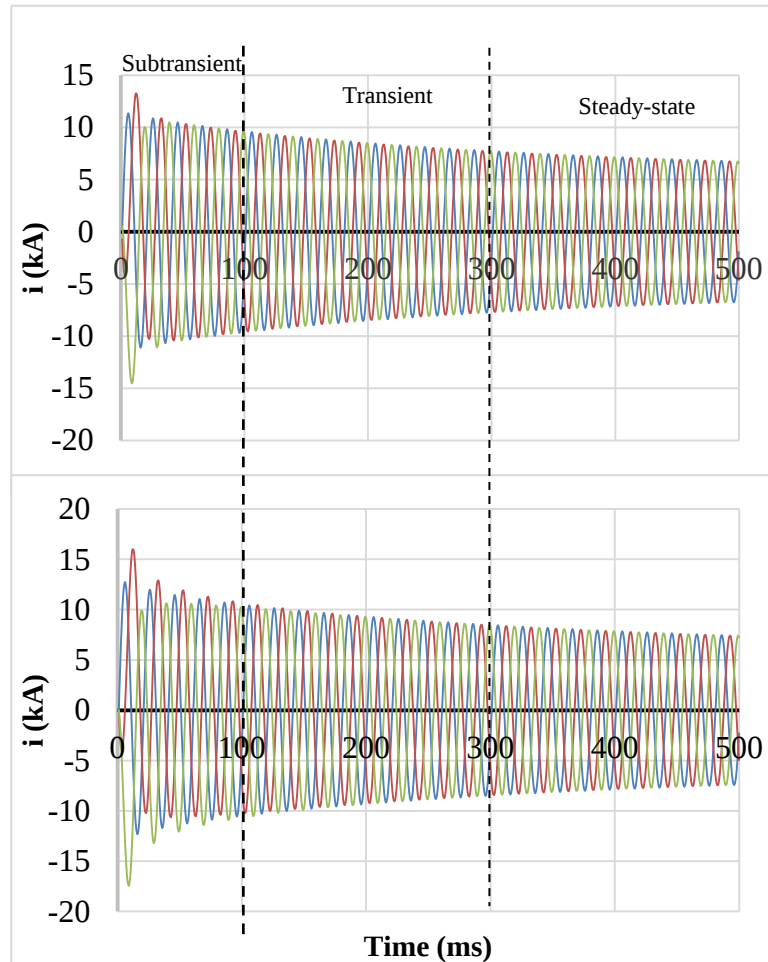
hingga steady-state, jumlah *cycle* tetap sama antar phase dengan menggunakan inverter maupun generator.



Gambar 4.7 Grafik Top Envelope dari Arus Gangguan di Sisi Bus Paralel menggunakan Inverter dan Generator

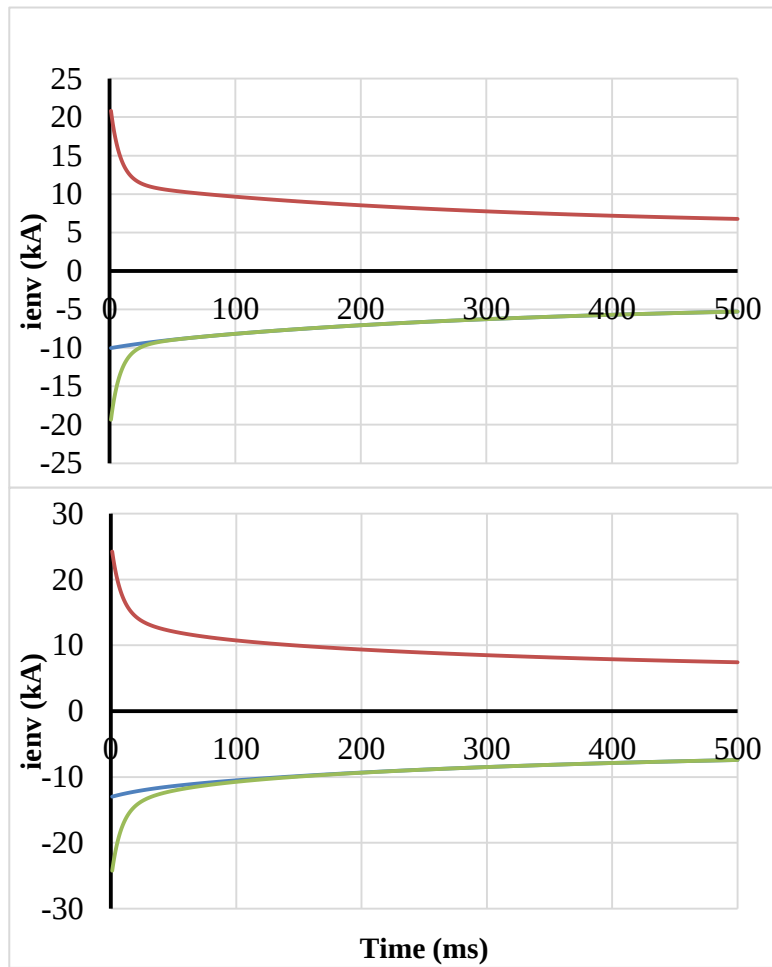
4.6.4 Arus Hubung Singkat di Sisi Outgoing Transformator

Menggunakan Inverter dan Generator Sinkron



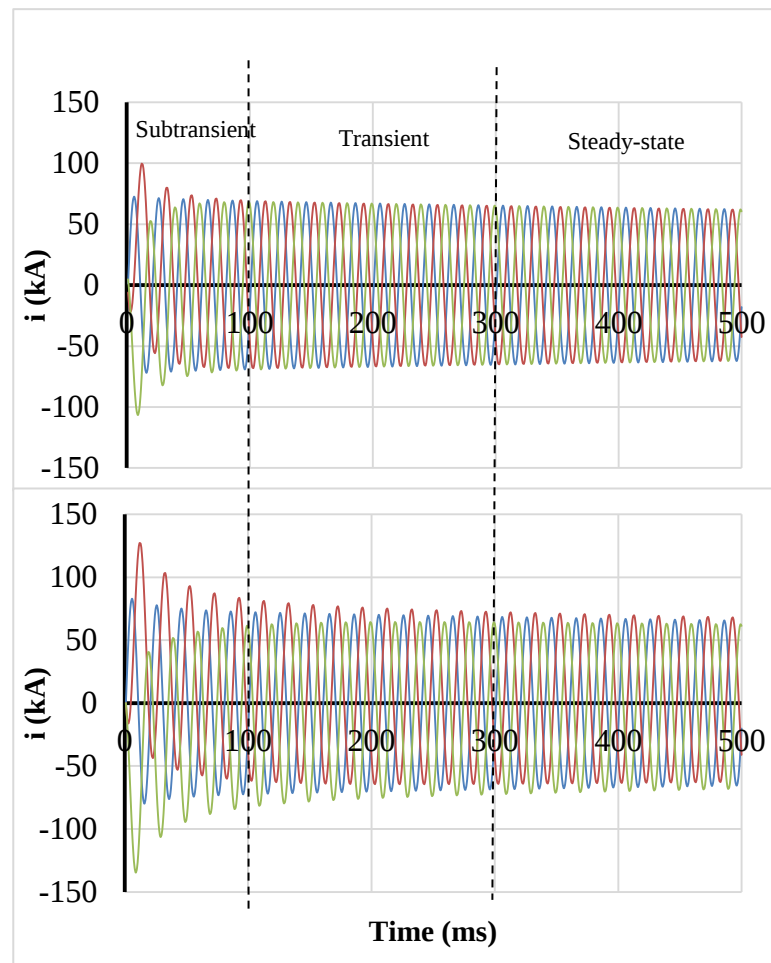
Gambar 4.8 Grafik Total Arus Gangguan di Sisi Outgoing Trafo dengan Inverter dan Generator

Grafik gangguan arus hubung singkat di sisi bus trafo dengan menggunakan inverter dan generator tidak nampak perbedaan yang spesifik, hanya tingkat nilai arus yang berbeda. Pada bustransien reaktansi memiliki jumlah *cycle* yang sama antara Inverter dan dengan Generator. Begitupun ketika arus menurun pada keadaan transien hingga steady-state, jumlah *cycle* tetap sama antar phase dengan menggunakan inverter maupun generator.



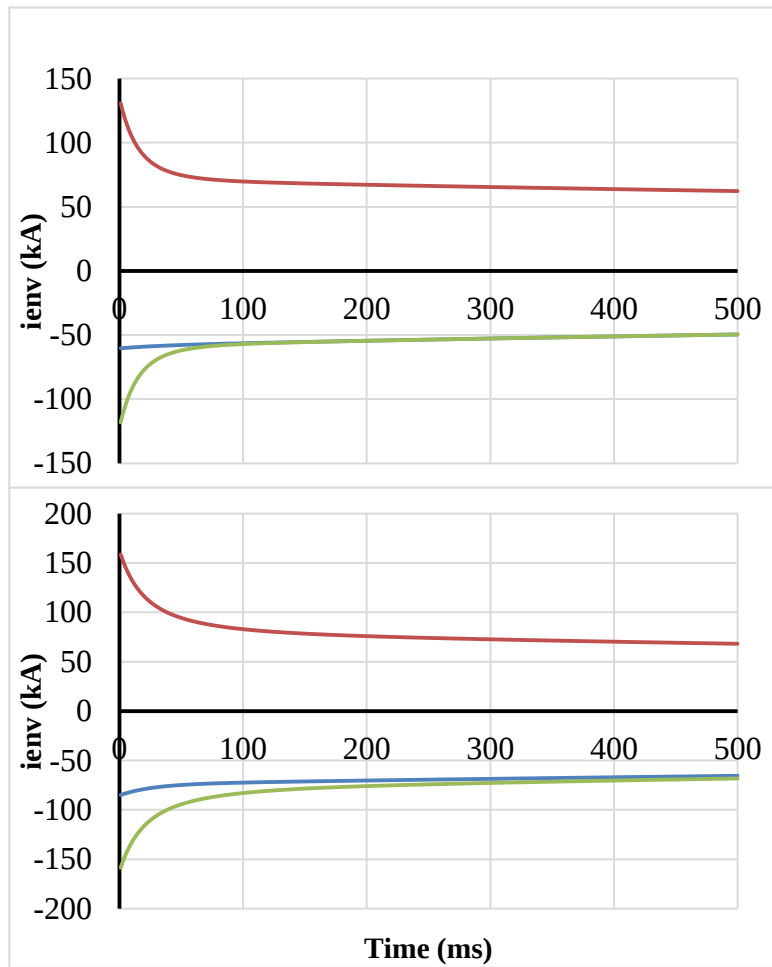
Gambar 4.9 Grafik Top Envelope dari Arus Gangguan di Sisi Outgoing Trafo dengan Inverter dan Generator

4.6.5 Arus Hubung Singkat di Sisi Inverter dan Generator Sinkron



Gambar 4.10 Grafik Total Arus Gangguan di Sisi Inverter dan Generator Sinkron

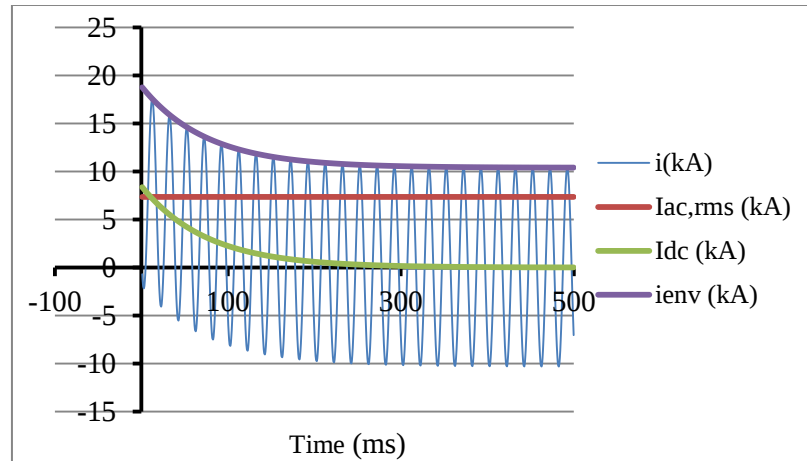
Gangguan arus hubung singkat yang terjadi di sisi inverter dan juga Generator Sinkron memiliki karakteristik jumlah *cycle* yang sama pada setiap reaktansi, hanya saja nilai arus hubung singkat pada generator sangat tinggi dibandingkan dengan nilai arus pada Inverter. Penurunan arus hubung singkat antara Inverter dan GS dari subtransien menjadi reaktansi transien dengan durasi waktu yang sama.



Gambar 4.11 Grafik Top Envelope dari Arus Gangguan di Sisi Inverter dan menggunakan Generator

4.7 Arus hubung singkat Simetris dengan Photovolthaic (schematic diagram)

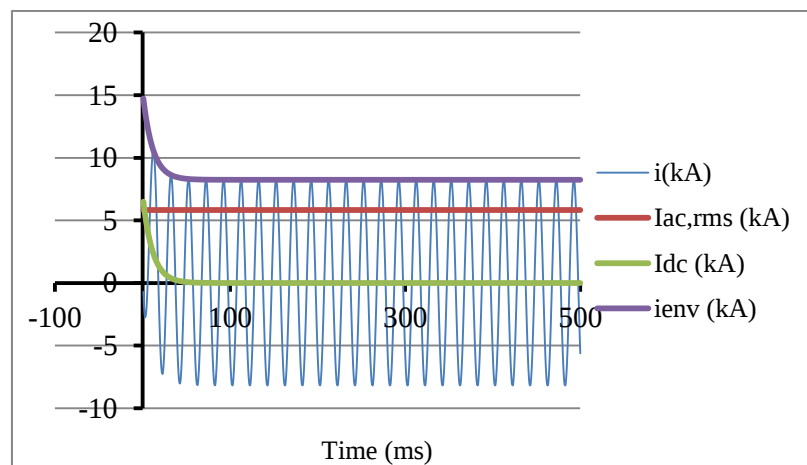
4.7.1 Isc pada sisi GI Isimu



Gambar 4.12 Grafik Simetris gangguan GI Isimu

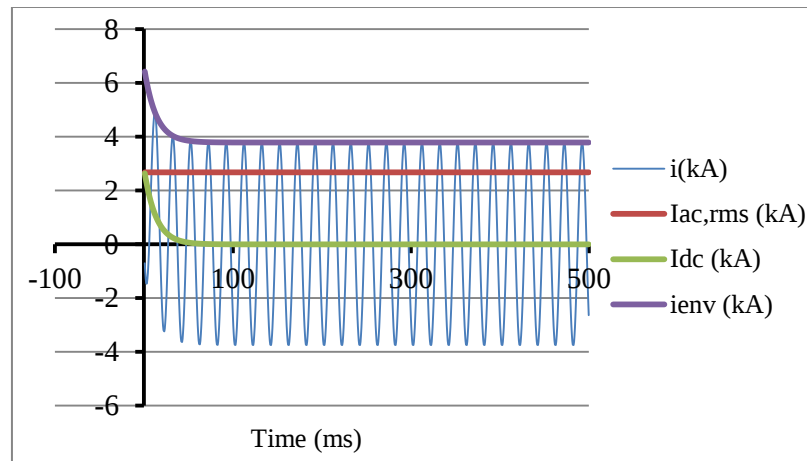
Arus gangguan hubung singkat yang terjadi pada awal simetris atau juga disebut Subtransien rektansi terjadi di detik 0 sampai dengan 0.1. $I_{ac,rms}$ (arus rata-rata gangguan) sebesar 7.34 kA dari data hasil simulasi. Top envelope yaitu titik lebur dari arus gangguan.

4.7.2 Isc pada sisi paralel PLTS



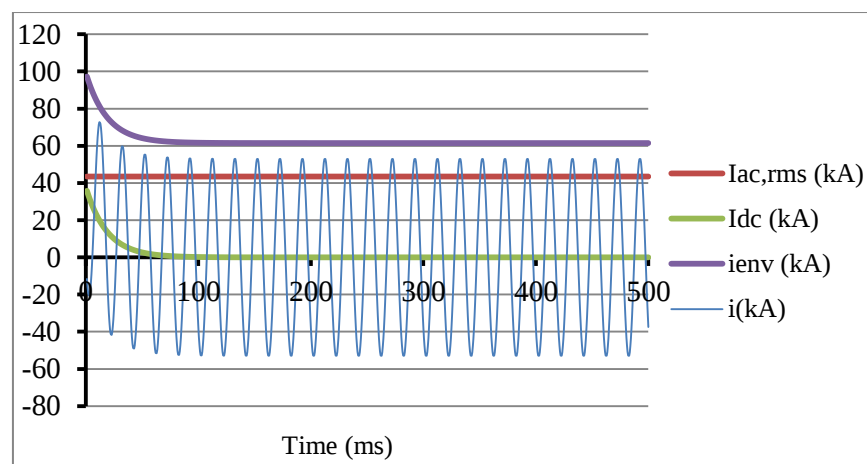
Gambar 4.13 Grafik Simetris Gangguan di sisi PLTS

4.7.3 Isc Outgoing Trafo PLTS



Gambar 4.14 Grafik Simetris Gangguan di sisi Trafo PLTS

4.7.4 Isc Inverter



Gambar 4.15 Grafik Simetris Gangguan pada Inverter

Tabel 4.9 Arus hubung singkat report by ETAP 19.0.1

Bus fault	Tegangan (kV)	Isc puncak ip (kA)	Isc awal simetris Ik" (kA)	Isc steady-state Ik (kA)
GI Isimu	20	19.079	7.413	6.928
sisi Paralel Plts	20	5.326	2.689	2.165
Trafo PLTS	20	5.326	2.689	2.165
Inverter	0.6	80.532	38.814	33.634

Dalam waktu kisaran milidetik, arus gangguan hubung singkat besarnya bisa mencapai ribuan kali lebih besar dari arus operasi normal. Kerusakan akibat gangguan dapat dicegah dengan menggunakan *circuit breaker*, atau proteksi beban berlebih yang memutuskan daya sebagai reaksi terhadap arus berlebih.

Analisis arus hubung singkat ini dilakukan bertujuan untuk menentukan arus gangguan yang tersedia disetiap titik dalam sistem. Menghitung arus gangguan hubung singkat maksimum agar dapat dibandingkan dengan settingan sistem proteksi. Menentukan konduktor yang sesuai dengan arus atau beban yang lewat, agar tidak terjadi pemanasan berlebih. Analisis ini juga bermanfaat ketika adanya perencanaan pada industri tenaga listrik dengan menggunakan generator, arus hubung singkat yang di dapat bisa menjadi acuan dengan daya yang sama ketika menggunakan inverter pada PLTS.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan *software* ETAP 19.0.1 arus hubung singkat pada gangguan 3 phase (L-L) setelah masuknya PLTS sebesar 0.519kA dan gangguan phasa-tanah (L-G) sebesar 1.732kA. Sebelum adanya PLTS total arus hubung singkat pada sisi outgoing GI Isimu sebesar 6.928kA, dan bertambah menjadi 7.441kA setelah masuknya PLTS ke dalam jaringan eksisting. PLTS Isimu memberikan kontribusi arus hubung singkat sebesar 7.4% dari arus gangguan awal pada sisi outgoing GI Isimu.
2. Kontribusi arus hubung singkat ketika Inverter di ganti dengan Generator Sinkron dengan daya yang sama pada outgoing GI Isimu gangguan 3 phase (L-L) sebesar 1.576kA, serta sebesar 2.382kA arus hubung singkat pada gangguan phasa-tanah (L-G).
3. Gangguan arus hubung singkat yang terjadi di sisi inverter dan juga Generator Sinkron memiliki karakteristik jumlah *cycle* yang sama pada setiap reaktansi, hanya saja nilai arus hubung singkat pada generator sangat tinggi dibandingkan dengan nilai arus pada Inverter. Penurunan arus hubung singkat antara Inverter dan GS dari subtransien menjadi reaktansi transien dengan durasi waktu yang sama. Kontribusi arus hubung singkat oleh GS lebih besar dibandingkan dengan Inverter. Inverter

membatasi arus hubung singkat yang keluar berdasarkan faktor koefisien, berbeda dengan GS yang memiliki nilai impedansi yang besar yaitu 19%.

5.2 Saran

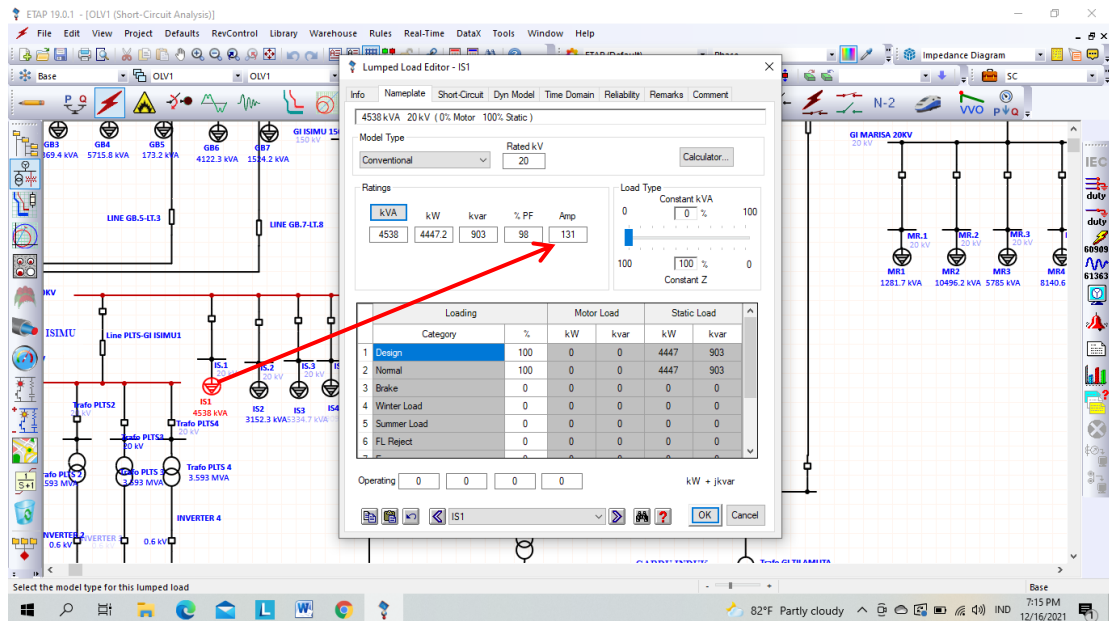
Nilai kontribusi arus hubung singkat PLTS pada GI Isimu dari hasil simulasi yang bertambah sebesar 7.4% kiranya dapat menjadi pertimbangan ketika adanya penambahan daya pada PLTS atau penambahan pembangkit listrik menggunakan generator sinkron dalam setting proteksi yang lebih handal di sisi outgoing GI Isimu.

DAFTAR PUSTAKA

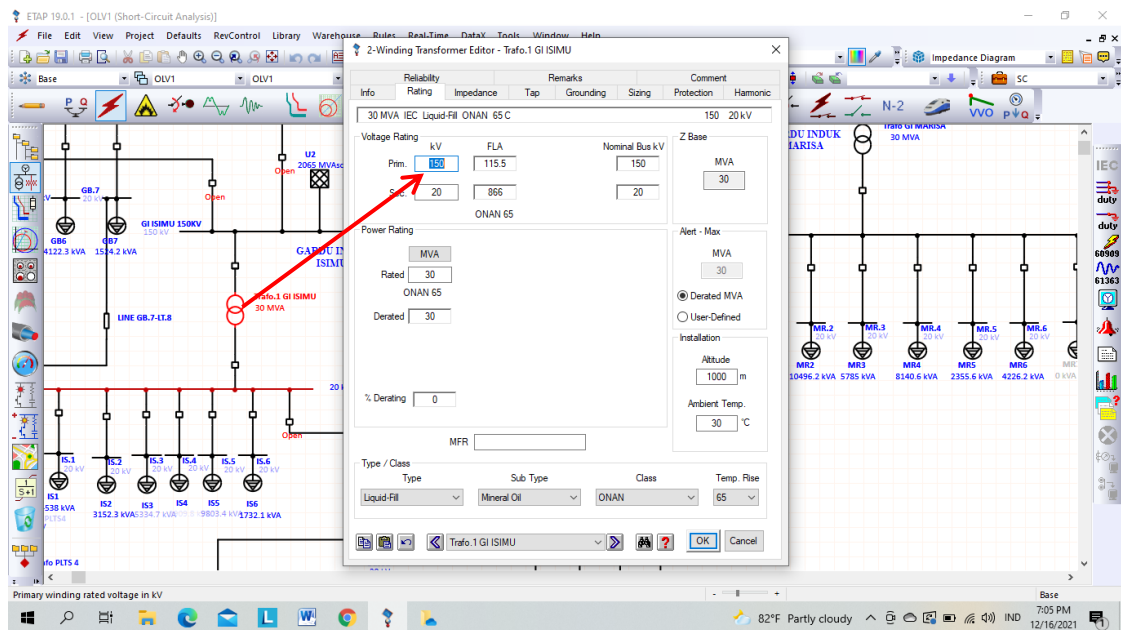
- [1] P. Jawab *et al.*, “Penerbit LP3M UMY Penerbit LP3M UMY,” *Tek. 37* (2), 2016, 59-63, vol. 11, no. 2, pp. 61–78, 2016, doi: 10.14710/teknik.v37n2.9011.
- [2] T. S. Sidhu and D. Bejmert, “SHORT-CIRCUIT CURRENT CONTRIBUTION FROM LARGE SCALE PV POWER PLANT IN THE CONTEXT OF DISTRIBUTION POWER SYSTEM PROTECTION PERFORMANCE.”
- [3] M. Djamin, “Penelitian Penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dan Dampaknya Terhadap Lingkungan,” *J. Teknol. Lingkung.*, vol. 11, no. 2, p. 221, 2016, doi: 10.29122/jtl.v11i2.1206.
- [4] D. Transmisi, W. Eka, and S. Humena, “Im p Skema Kontrol Pengikut pada Daya Transmisi rna f tion h e t SEBUAH Hai u t r Hai e s c e l Hai u Sys s (L IC e Sebuah d e- r Peningkatan Stabilitas Sistem,” pp. 1–5, 2020.
- [5] M. B. Nurcahyadi, I. W. Rinas, and A. A. G. M. Pemayun, “Analisis Sistem Pengaman Arus Lebih Pada Penyulang Abang Dengan Beroperasinya Plts Pada Saluran Distribusi Tegangan Listrik 20 Kv Di Karangasem,” *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 16, no. 1, p. 61, 2016, doi: 10.24843/mite.1601.09.
- [6] M. Harjunang, *Analisis Gangguan Hubung Singkat Simetri dan Tidak Simetri pada Jaringan Distribusi 20 kV DI Gardu Induk Panakukang*, no. September. 2018.
- [7] A. Hidayat, “Analisa Setting Rele Arus Lebih dan Rele Gangguan Tanah pada Penyulang Topan Gardu Induk Teluk Betung,” *J. Rekayasa dan Teknol. Elektro Anal.*, vol. vol.7 No.5, pp. 5–28, 2013.
- [8] T. Darmana, W. Yuliansyah, and T. Elektro, “Arus hubung singkat diamankan oleh pengaruh kecepatan pmt,” vol. 5, no. 2, pp. 85–90, 2015.
- [9] T. Neumann and I. Erlich, “Short circuit current contribution of a photovoltaic power plant,” *IFAC Proc. Vol.*, vol. 8, no. PART 1, pp. 343–348, 2012, doi: 10.3182/20120902-4-fr-2032.00061.
- [10] A. Gaffar, A. Agussalim, and D. Arisandi, “Analisis Gangguan Hubung Singkat Pada Jaringan Distribusi 20 Kv Di Gardu Induk Panakkukang,” *J. Teknol. Elekterika*, vol. 14, no. 2, p. 156, 2017, doi: 10.31963/elekterika.v14i2.1221.
- [11] M. Zainuddin, “Pengaruh Masuknya PLTS on Grid Skala Besar Pada Sistem Distribusi 20 KV Terhadap Kualitas Tegangan dan Rugi-rugi

Daya,” *Pros. Semin. Nas. FORTEI*, no. October 2017, pp. 131–136, 2017.

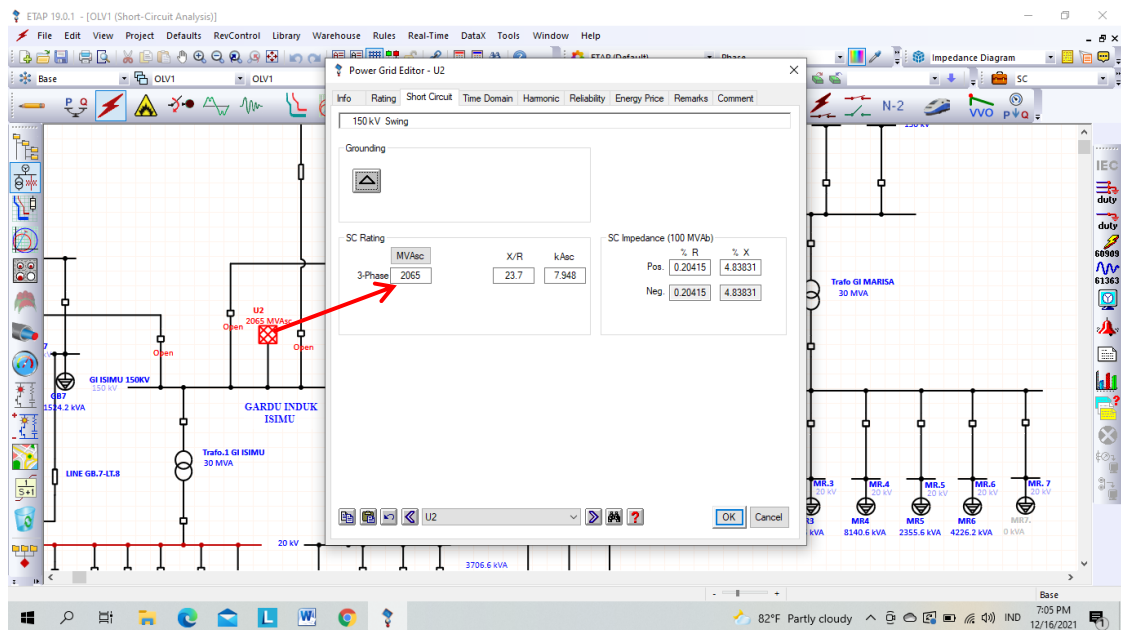
- [12] R. Sianipar, “Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya,” vol. 11, no. 2, pp. 61–78, 2014.
- [13] K. J. Aryamantara, I. A. . Giriantari, and I. . Sukerayasa, “Analisis Hubung Singkat Pada Jaringan Tegangan Menengah 20 kV Penyulang Kedonganan,” *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 17, no. 2, p. 213, 2018, doi: 10.24843/mite.2018.v17i02.p08.
- [14] W. Maidien, “Gangguan Hubung Singkat Di Saluran Udara Tegangan Menengah (Sutm),” 2008.



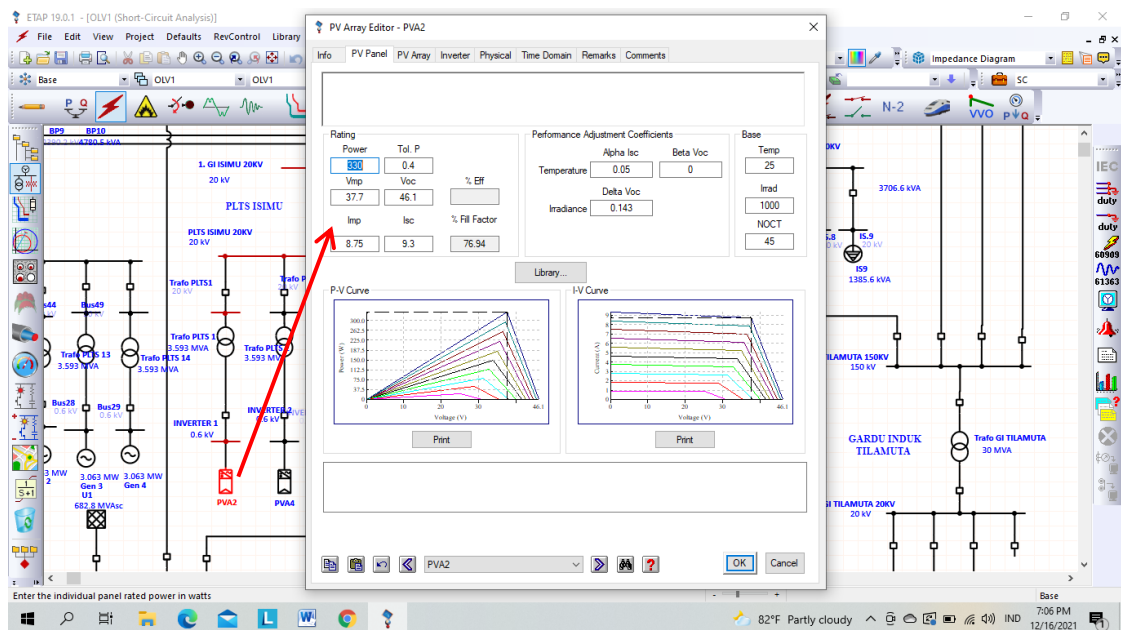
Tampilan pengisian data beban (Amp) penyulang



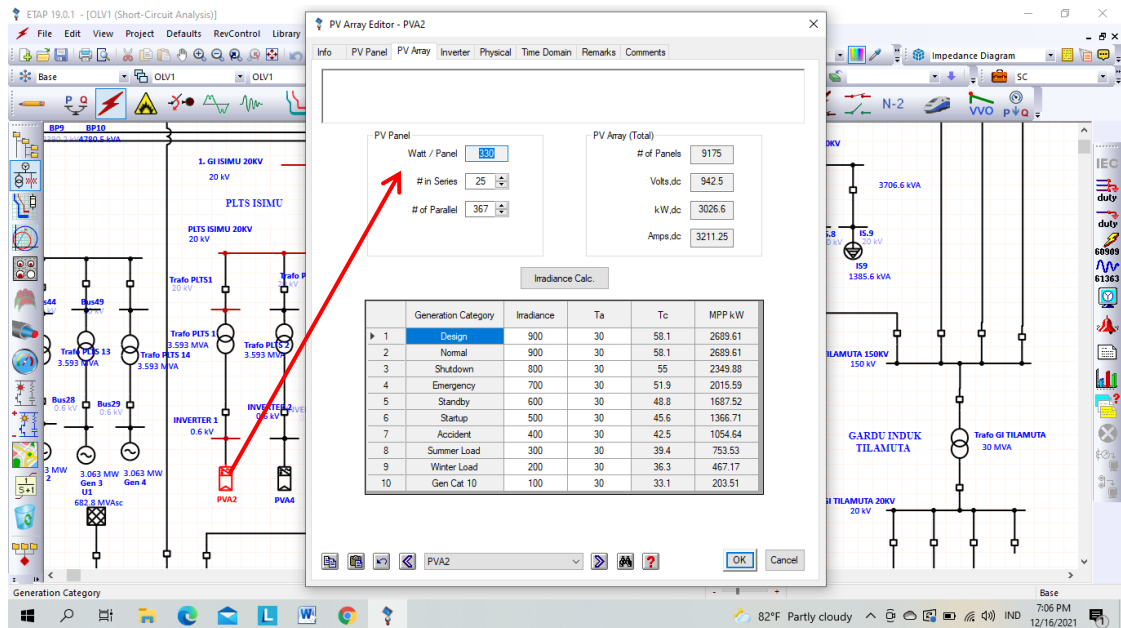
Tampilan pengisian data tegangan dan daya pada transformator Gardu Induk Isimu



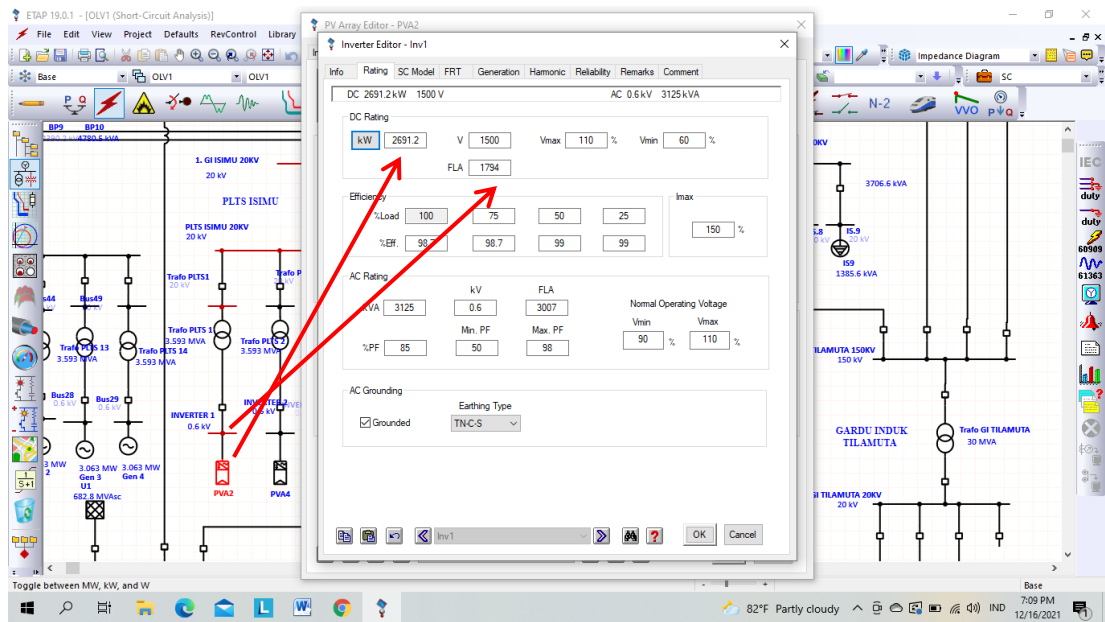
Tampilan pengisian data MVAsc Power Grid



Tampilan pengisian data PV panel surya



Tampilan pengisian data PV Array panel surya



Tampilan pengisian data daya dan tegangan DC-AC Inverter