

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

**ANALISIS STUDI PENYAMBUNGAN PLTS ATAP 3,5 kWp TERHADAP  
KANDUNGAN HARMONISA GEDUNG BERDASARKAN  
KAPASITAS PEMBEBANAN TRANSFORMATOR**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Sains dan Teknologi



Oleh :

**HAMZAH AL PARESHI**  
**11555102938**

UIN SUSKA RIAU

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SULTAN SYARIF KASIM RIAU  
PEKANBARU**

**2022**

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

**ANALISIS STUDI PENYAMBUNGAN PLTS ATAP 3,5 kWp TERHADAP  
KANDUNGAN HARMONISA GEDUNG BERDASARKAN  
KAPASITAS PEMBEBANAN TRANSFORMATOR**

**TUGAS AKHIR**

oleh:

**HAMZAH AL PARESHI**  
**11555102938**

Telah diperiksa dan disetujui sebagai laporan Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro

Pekanbaru, 21 Juni 2022

**Ketua Program Studi**  
**Teknik Elektro**

  
Digitally  
signed by  
Zulfatri Aini  
Tanggal:  
2022.07.28  
08:00:58 WIB

**Dr. Zulfatri Aini S.T.,M.T**  
**NIP. 19721021 200604 2 001**

**Pembimbing**

  
Digitally  
signed by  
Zulfatri Aini  
Tanggal:  
2022.07.27  
16:16:14 WIB

**Dr. Zulfatri Aini S.T.,M.T**  
**NIP. 19721021 200604 2 001**

UIN SUSKA RIAU



## Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

**ANALISIS STUDI PENYAMBUNGAN PLTS ATAP 3,5 kWp TERHADAP  
KANDUNGAN HARMONISA GEDUNG BERDASARKAN  
KAPASITAS PEMBEBANAN TRANSFORMATOR**

**TUGAS AKHIR**

oleh:

**HAMZAH AL PARESHI**  
**11555102938**

Telah dipertahankan di depan Sidang Dewan Penguji  
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

Pekanbaru, 21 Juni 2022

Mengesahkan,

Dekan



**Dr. Hortono, M.Pd**

NIP. 19640301 199203 1 003

Ketua Program Studi  
Teknik Elektro

Digitally  
signed by  
Zulfatri  
Aini  
Tanggal:  
2022.07.27  
16:16:25 WIB

**Dr. Zulfatri Aini S.T., M.T**

NIP. 19721021 200604 2 001

**Dewan Penguji :**

- Ketua** Ewi Ismaredah, S.Kom., M.Kom  
**Sekretaris** Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T  
**Anggota 1** Dr. Liliana, S.T., M.Eng  
**Anggota 2** Marhama Jelita, S.Pd., M.Sc

Digitally signed  
by  
Liliana  
Tanggal:  
2022.07.27  
16:50:21 WIB

Digitally signed  
by Zulfatri Aini  
Tanggal:  
2022.07.27  
16:16:33 WIB

Digitally signed  
by Marhama  
Jelita  
Date: 2022.07.27  
17:27:44 +0700'





## LEMBAR HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL

Tugas Akhir ini terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau adalah terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta pada penulis. Referensi diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau ringkasan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Penggandaan atau penerbitan sebagian atau seluruh Tugas Akhir ini harus memperoleh izin dari Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau. Perpustakaan yang meminjamkan Tugas Akhir ini untuk anggotanya diharapkan untuk mengisi nama, tanda peminjaman dan tanggal pinjam.

© Hak Cipta dan anisnik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa di dalam Tugas Akhir ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh saya maupun orang lain untuk keperluan lain, dan sepanjang yang saya ketahui, saya juga tidak memuat karya atau pendaat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang telah dilampirkan dalam referensi dan dalam daftar pustaka.

Saya bersedia menerima sanksi jika pernyataan ini tidak sesuai dengan yang sebenarnya.

Pekanbaru, 21 Juli 2022

Saya membuat pernyataan,



**HAMZAH AL PARESHI**

**11555102938**



## HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan menyebut nama Allah yang maha pengasih lagi maha penyayang

Terima Kasih Ya Allah...

Sembah sujud serta syukurku kepada-Mu ya Allah, zat yang Maha Pengasih namun tak pernah pilih kasih dan Maha Penyayang yang kasih sayang-Nya tak terbilang.

Teruntuk Ayah, beliau yang tak pernah kenal lelah demi kebahagiaan keluarga kecilnya. Terima Kasih Ayah, perjuanganmu di setiap tetes keringat yang keluar dari lelahmu tak akan pernah bisa diri ini membalasnya. Kelak akan menjadi amalan bagimu, Aamiin Allahumma Aamiin.

Teruntuk Ibu, Terima Kasih buuu. When i see my face in the mirror, we look so a like and make me shiver. I know it's been a while, but i can see you clear as the day you were away. And there are days when i'm losing my faith, because the lady wasn't good she was great. I will never get to show you these thesis, bu you should see the that i'm on. I'm trying to make you prou, do everything you did. I hope you are up tere and saying "**that's my kid !**". If you could se me now, would you stan in disgrace or take a bow.

Teruntuk adik-adik ku, Hafizah Nabilah, Nurhasna Febriana, Nurhasni Febriani, Hadim Hendarta dan Hafifah Salsabila. Maaf ya, masih belum bisa menjadi kebanggaan untuk kalian.

Teruntuk Nenggala dan Posko Pemenangan yang tidak akan bisa diucap satu per satu. Terima Kasih untuk kalian yang selalu menjadi apapun yang kalin inginkan sepanjang kita menjalani kehidupan perkuliahan bersama. They all the best, withou exception.

*Dan katakanlah: "Ya Tuhan-ku, masukkan aku ketempat masuk yang benar dan keluarkanlah (pula) aku ketempat keluar yang benar dan berilah aku disisi-Mu kekuasaan yang dapat menolongku."*

*(QS: Al-Isra 80)*

| Hamzah Al Pareshi |  
| Juli, 2022 |





# ANALISIS STUDI PENYAMBUNGAN PLTS ATAP 3,5 kWp TERHADAP KANDUNGAN HARMONISA GEDUNG BERDASARKAN KAPASITAS PEMBEBANAN TRANSFORMATOR

**HAMZAH AL PARESHI**

**NIM. 11555102938**

Tanggal Sidang : 21 Juli 2022

Program Studi Teknik Elektro  
Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim  
JL. Soebrantas No.115 Pekanbaru

## ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap merupakan salah satu bidang pemanfaatan energi surya yang sangat diminati saat ini. Selain dari pemasangan yang praktis dan ekonomis, PLTS Atap juga dapat disambung langsung terhadap sistem jaringan kelistrikan yang gedung miliki. Disisi lain, ada kekurangan dari banyaknya manfaat yang dimiliki oleh PLTS Atap, salah satunya gangguan harmonisa yang dibawa oleh komponen inverter sebagai beban non-linier dalam kesatuan PLTS. Untuk mengurangi efek yang terjadi, maka diperlukan studi penyambungan untuk melakukan analisis awal dengan tujuan mengurangi dampak buruk akibat adanya interkoneksi PLTS Atap tersebut. Gedung laboratorium terpadu UIN Sultan Syarif Kasim-Riau terkoneksi dengan PLTS Atap berkapasitas 3,5 kWp dan inverter 5kW memiliki kapasitas optimal trafo sebesar 53,73 kVA untuk lantai 1, 54,44 kVA untuk lantai 2 dan 50,69 kVA untuk lantai 3 sedangkan pada kondisi *existing* sebesar 30,21 kVA untuk lantai 1, 14,56 kVA untuk lantai 2 dan 2,25 kVA untuk lantai 3. Karena keadaan gedung yang belum beroperasi sepenuhnya dan telah interkoneksi dengan PLTS Atap, maka perlu dilakukan analisis dengan studi penyambungan menggunakan bantuan ETAP 19.0.1 untuk melihat nilai kandungan harmonisa arus yang terjadi. Dari hasil simulasi pada kondisi *existing*, nilai kandungan harmonisa arus sebelum dan sesudah interkoneksi PLTS atap masih dalam batas aman walau terjadi lonjakan pada panel lantai 3 sebesar 2%. Pada kondisi optimal, nilai kandungan harmonisa arus sebelum dan sesudah interkoneksi PLTS atap didapatkan nilai dalam batas aman IEEE 519-2014 serta tidak ada lonjakan yang berarti akibat dari adanya interkoneksi PLTS atap pada sambungan lantai 3 gedung laboratorium terpadu.

**Kata Kunci :** PLTS Atap, Harmonisa, Beban Non-Linier, *Grid Study*, IEEE 519-2014

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## **GRID STUDY ANALYSIS OF PLTS ROOFTOP 3.5 kWp ON BASED HARMONIC BUILDING WITH TRANSFORMER OPTIMAL LOADING**

**HAMZAH AL PARESHI**

**STUDENT NUMBER. 11555102938**

*Date of Final Exam : 21 July 2022*

*Department of Electrical Engineering  
Faculty of Science and Technology  
Islamic State University of Sultan Syarif Kasim Riau  
Soebrantas Street, Number.155 Pekanbaru*

### **ABSTRACT**

*Rooftop Solar Power Plant (PLTS) is one of the fields of utilizing solar energy that is in great demand today. Apart from practical and economical installation, Rooftop PLTS can also be connected directly to the building's electrical network system. On the other hand, there are drawbacks to the many benefits of Rooftop PLTS, one of which is the harmonic disturbance brought by the inverter component as a non-linear load in the PLTS unit. To reduce the effects that occur, it is necessary to conduct a connection study to conduct an initial analysis with the aim of reducing the adverse effects due to the interconnection of the PLTS Roof. The integrated laboratory building of UIN Sultan Syarif Kasim-Riau is connected to a PLTS Roof with a capacity of 3.5 kWp and a 5kW inverter has an optimal transformer capacity of 53.73 kVA for the 1st floor, 54.44 kVA for the 2nd floor and 50.69 kVA for the 3rd floor. in the existing conditions of 30.21 kVA for the 1st floor, 14.56 kVA for the 2nd floor and 2.25 kVA for the 3rd floor. Due to the condition of the building that is not yet fully operational and has been interconnected with PLTS Roof, it is necessary to do an analysis with a connection study using ETAP 19.0.1 help to see the value of the current harmonic content that occurs. From the simulation results in existing conditions, the value of the current harmonic content before and after the interconnection of PLTS roofs is still within safe limits even though there is a spike in the 3rd floor panel by 2%. Under optimal conditions, the value of the current harmonic content before and after the interconnection of PV mini-grid roofs is found to be within the safe limits of IEEE 519-2014 and there is no significant spike due to the interconnection of PV mini-grid roofs on the 3rd floor connection of the integrated laboratory building.*

**Keyword:** *PLTS Rooftop, Harmonic, Non-Linear Load, Grid Stdy, IEEE 519-2014*

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT, yang telah mencurahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat dan salam juga penulis haturkan kepada baginda Rasulullah SAW, sebagai seorang sosok pemimpin dan suri tauladan bagi seluruh umat di dunia yang patut di contoh dan di teladani bagi kita semua. Atas ridho Allah SWT penulis telah menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul "**Analisis Studi Penyambungan PLTS Atap 3,5 kWp Terhadap Kandungan Harmonisa Gedung Berdasarkan Kapasitas Pembebanan Transformator**".

Melalui proses bimbingan dan pengarahan yang disumbangkan oleh orang-orang yang berpengetahuan, dorongan, motivasi, dan juga do'a orang-orang yang ada disekeliling penulis sehingga penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan penuh kesederhanaan. Sudah menjadi ketentuan bagi setiap Mahasiswa yang ingin menyelesaikan studinya pada perguruan tinggi UIN Sultan Syarif Kasim-Riau harus membuat karya ilmiah berupa Tugas Akhir guna mencapai gelar sarjana.

Oleh sebab itu sudah sewajarnya penulis menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Ayah dan Alm. Ibu tercinta yang telah memberikan semangat, dukungan moril maupun materil dan doa kepada penulis serta keluarga besar penulis yang selalu mendoakan penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Hairunnas, M.Ag selaku Rektor Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
3. Bapak Dr. Hartono, M.Pd selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau.
4. Ibu Dr. Zulfatri Aini, S.T., M.T selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Fakultas sekaligus Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah banyak memberikan arahan, motivasi, kritikan dan saran dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Sutoyo, S.T., M.T selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro.
6. Ibu Dr. Liliana, ST., M.Eng selaku dosen pengampu mata kuliah Tugas Akhir 1 sekaligus Dosen Penguji 1 yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran yang sangat membangun terhadap penulis.



**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

7. Ibu Marhama Jelita, S.Pd., M.Sc selaku dosen penguji 2 yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi kritikan dan saran yang sangat membangun terhadap penulis.
8. Bapak Dr. Harris Simare-mare, S.T., M.T selaku pembimbing akademik yang selalu sabar dan meluangkan waktunya untuk memberikan nasehat perihal perkuliahan selama kuliah.
9. Bapak Ahmad Faizal, S.T., M.T selaku Kordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro yang telah memberikan arahan dalam melakukan prosedur penyusunan Tugas Akhir hingga selesai.
10. Bapak dan Ibu Dosen Program Studi Teknik Elektro yang telah memberikan bimbingan dan curahan ilmu kepada penulis sehingga bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
11. Keluarga Angkatan 2015 seperjuangan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini dan telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Semoga bantuan yang telah diberikan baik moril maupun materil mendapat balasan pahala dari Allah SWT, dan sebuah harapan dari penulis semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembaca semua pada umumnya.

Semua kekurangan hanya datang dari penulis dan kesempurnaan hanya milik Allah SWT, hal ini yang membuat penulis menyadari bahwa dalam pembuatan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan karena keterbatasan kemampuan, pengalaman, dan pengetahuan penulis. Untuk itu penulis mengharap kritik dan saran dari semua pihak yang bersifat positif dan membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Pekanbaru, 21 Juli 2022  
Penulis,

Hamzah Al Pareshi  
NIM. 11555102938



## DAFTAR ISI

**Halaman**

<b>LEMBAR PERSETUJUAN .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL.....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>I-1</b>
1.1 Latar Belakang .....	I-1
1.2 Rumusan Masalah.....	I-5
1.3 Tujuan Penelitian .....	I-5
1.4 Batasan Masalah .....	I-6
1.5 Manfaat Penelitian .....	I-6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>II-1</b>
2.1 Penelitian Terkait.....	II-1
2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).....	II-3
2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap.....	II-5
2.4 Komponen PLTS Atap.....	II-5
2.4.1 Modul Photovoltaic .....	II-5
2.4.2 Inverter.....	II-6
2.4.3 kWh Meter Ekspor Impor ( <i>Exim</i> ).....	II-6
2.5 Kualitas daya.....	II-7
2.6 Harmonisa.....	II-7
2.6.1 Pengertian Harmonisa.....	II-7
2.6.2 Jenis Harmonisa.....	II-9
2.6.3 Sumber Harmonisa .....	II-9
2.6.4 Efek Harmonisa .....	II-10

Hak Cipta Diduduki Uidang Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

2.6.5	Parameter Harmonisa .....	II-10
2.6.6	Standar Kandungan Harmonisa .....	II-12
2.7	Faktor Daya.....	II-14
2.8	Penyebab Faktor Daya Rendah.....	II-15
2.9	Hubungan Faktor Daya dan Harmonisa.....	II-16
2.10	Studi Penyambungan ( <i>Grid Study</i> ) .....	II-17
2.10.1	Studi Aliran Daya .....	II-17
2.10.2	Studi Hubung Singkat.....	II-17
2.10.3	Studi Harmonisa .....	II-17
2.11	Electric Transient and Analysis Program (ETAP).....	II-18
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>		<b>III-1</b>
3.1	Jenis Penelitian .....	III-1
3.2	Lokasi Penelitian.....	III-1
3.3	Prosedur Penelitian .....	III-2
3.4	Tahapan Penelitian.....	III-2
3.5	Studi Literatur .....	III-3
3.6	Pengumpulan Data .....	III-4
3.7	Tahap Validasi .....	III-6
3.8	Studi Penyambungan .....	III-7
3.9	Simulasi ETAP 19.0.1 .....	III-7
3.9.1	<i>Input</i> Data Penelitian .....	III-7
3.9.2	Simulasi Kondisi Satu .....	III-10
3.9.3	Simulasi Kondisi Dua.....	III-13
3.10	Hasil dan Analisa .....	III-16
3.11	Kesimpulan dan Saran .....	III-16
<b>BAB V PENUTUP .....</b>		<b>1</b>
5.1	Kesimpulan .....	V-1
5.2	Saran .....	V-2
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>xiv</b>
<b>LAMPIRAN A .....</b>		<b>xvi</b>
<b>LAMPIRAN B .....</b>		<b>xviii</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Cara Kerja Sel Surya dengan Prinsip P-N Junction [17].....	II-3
Gambar 2. 2 Junction antara Semikonduktor Tipe-p (Kelebihan Hole) dan Tipe-n (Kelebihan Elektron) [17] .....	II-4
Gambar 2. 3 Cara Kerja Sel Surya [17].....	II-5
Gambar 2. 4 Ilustrasi Perbedaan Modul Surya dan Panel Surya [9] .....	II-6
Gambar 2. 5 Gelombang Fundamental dengan Gelombang Harmonisa [12] .....	II-8
Gambar 2. 6 Kelipatan Frekuensi Fundamental [12] .....	II-8
Gambar 2. 7 (a) Aljabar Fasor Beban Induktif (b) Faktor Daya Lagging [26] .....	II-15
Gambar 2. 8 (a) Aljabar Fasor Beban Kapasitif (b) Faktor Daya Leading [26].....	II-15
Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian.....	III-3
Gambar 3. 2 <i>Input Data</i> Transformator .....	III-8
Gambar 3. 3 <i>Input Data Photovoltaic</i> .....	III-9
Gambar 3. 4 <i>Input Data</i> Beban .....	III-9
Gambar 3. 5 Menu Simulasi Harmonisa .....	III-12

© Hak cipta milik UIN Suska Riau

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

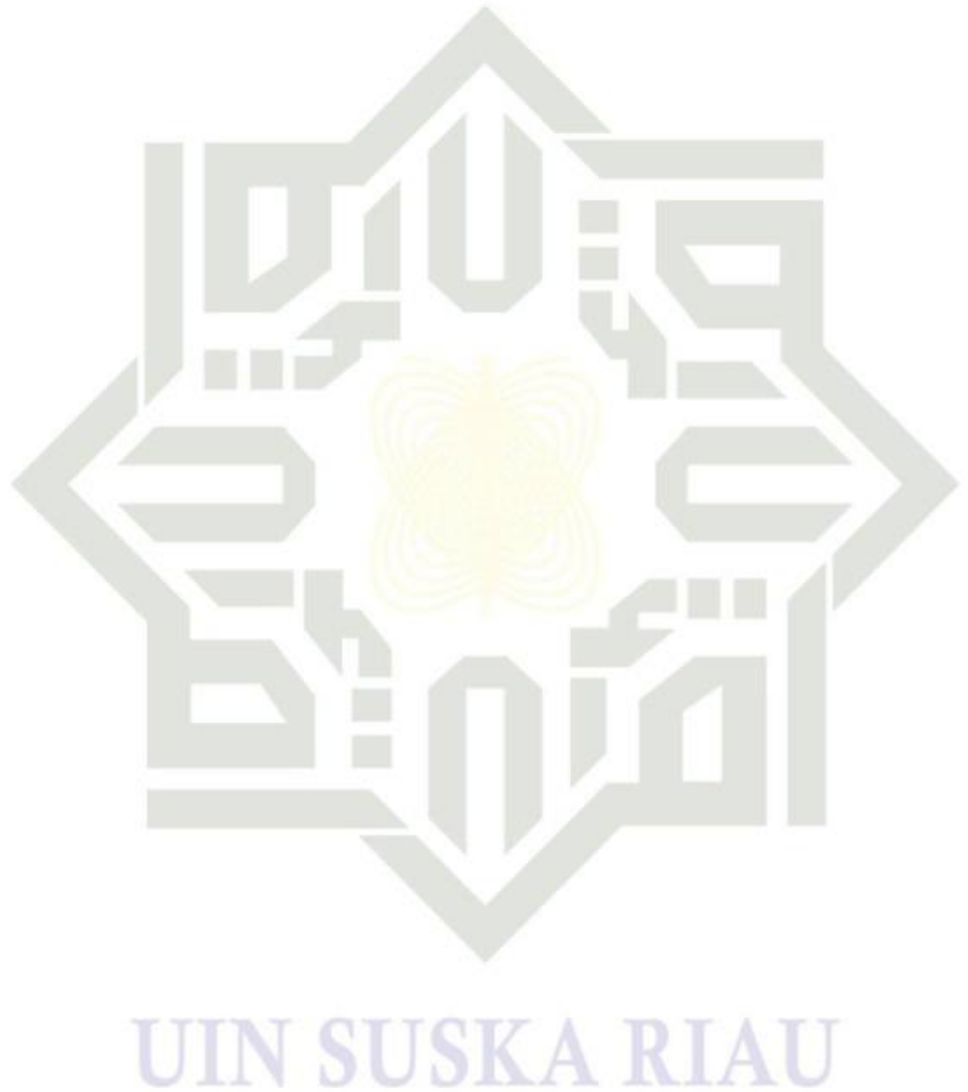
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Standar Batas Maksimum Distorsi Arus Harmonisa [25] .....	II-12
Tabel 2.2	Standar Batas Maksimum Distorsi Tegangan Harmonisa [25] .....	II-13
Tabel 3.1	Data Spesifikasi Modul Photovoltaic LONGi type LR4-72HPH-450M.....	III-5
Tabel 3.2	Data beban gedung laboratorium terpadu UIN Sultan Syarif Kasim-Riau .	III-6







## BAB I PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Perwujudan komitmen Indonesia dalam melakukan transisi energi fosil menjadi Energi Baru Terbarukan (EBT) sudah tertuang dalam Peraturan Pemerintah No.9 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) dengan target bauran EBT Indonesia sebesar 23% pada tahun 2025 [1]. Merujuk pada Peraturan Pemerintah No. 22 tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), Indonesia memiliki beberapa jenis EBT yang dapat dimanfaatkan, dengan total energi yang dapat dikonversikan sebesar 443.208 MW. Diantara jenis energi yang tersedia, energi surya merupakan energi yang memiliki potensi hampir setengah dari total potensi EBT yang ada di Indonesia, dimana total energi yang dapat digunakan sebesar 207.898 MW [2].

Pemanfaatan energi surya menjadi energi listrik di Indonesia telah mengalami peningkatan kapasitas terpasang hingga tahun 2021. Kapasitas Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Indonesia mengalami perkembangan yang cukup masif, baik dari skala utilitas pemerintah, surya atap, *off-grid* ataupun *grid* lainnya dengan total kapasitas sebesar 176,3 MWp. Salah satu peningkatan yang paling signifikan terlihat pada penggunaan surya atap, dengan kapasitas yang sudah terinstal sebesar 39,3 MWp di tahun 2021 dari 6,5 MWp pada tahun 2019. Faktor utama mengapa penggunaan surya atap sangat diminati, yaitu karena memiliki nilai keberlanjutan energi, ramah lingkungan, implementasi praktis serta nilai ekonomis (penghematan) [3].

Bersamaan dengan itu, Universitas Islam Negeri (UIN) Sultan Syarif Kasim-Riau sebagai kampus keislaman negeri yang berada di provinsi Riau, memiliki salah satu visi untuk menjadi kampus yang berbasis riset, inovatif dan integratif di asia tenggara. Implementasi dari visi tersebut dapat dilihat dengan dibangunnya Laboratorium Terpadu di lingkungan kampus. Laboratorium ini akan mengakomodir segala kegiatan riset dibawah satu atap dan memungkinkan untuk tercapainya inovasi yang terintegrasi satu sama lain antara program studi, sehingga menciptakan hasil karya ilmiah yang mendapatkan publikasi pada jurnal berindeks nasional dan internasional [4].

Laboratorium terpadu disuplai oleh transformator berkapasitas 200 kVA dengan total beban 197 kVA. Beban listrik dari laboratorium akan banyak menggunakan beban seperti *Air Conditioning* (AC), printer, infokus, lampu *fluorescent*, motor listrik serta peralatan-peralatan pratikum mahasiswa. Disisi lain, gedung laboratorium terpadu juga telah dilengkapi



PLTS atap, yang mana akan digunakan sebagai bahan riset maupun sebagai pembangkit intermiten penyuplai energi listrik pada gedung. PLTS atap pada laboratorium memiliki kapasitas sebesar 3,5 kWp dan dilengkapi inverter berkapasitas 5 kW.

Keberadaan inverter pada sistem PLTS sangat diperlukan, mengingat fungsinya yang mengubah keluaran *Direct Current* (DC) menjadi *Alternating Current* (AC) yang umum digunakan pada sistem kelistrikan Indonesia. Inverter sebagai peralatan elektronika daya tersusun dari beberapa komponen semi konduktor seperti *Metel Oxide Semiconductor Field Effect Transistor* (MOSFET), induktor, kapasitor dan dioda menjadikan inverter sebagai salah satu kategori dari beban non-linier [5].

Inverter yang dikategorikan sebagai beban non-linier merupakan beban dengan karakter gelombang output yang tidak sebanding dengan gelombang tegangan maupun arus pada setiap setengah siklus gelombang input. Contoh lain dari beban-beban non-linier seperti *Air Conditioning* (AC), printer, infokus, lampu *fluorescent*, motor listrik dan peralatan elektronika daya lainnya. Penggunaan beban non-linier ini dalam suatu sistem jaringan kelistrikan dapat menyebabkan distorsi pada gelombang arus maupun tegangan, hal ini dikarenakan beban non-linier memberikan gelombang gangguan pada gelombang fundamental sistem jaringan kelistrikan yang akan memperburuk bentuk sinusoidal dari gelombang fundamental. Distorsi ini merupakan gangguan yang disebut sebagai gangguan harmonisa [6].

Menurut studi literatur yang telah dilakukan terhadap dampak dari penggunaan inverter. Di antaranya pada penelitian yang menganalisis karakteristik gangguan pada gelombang keluaran inverter, menunjukkan penggunaan inverter dengan kapasitas 200 W, 300 W, 500 W, 00 W dan 1.000 W terhadap beban lampu pijar dengan kapasitas 60 W menghasilkan karakteristik gelombang keluaran yang melebihi dari *peak-noise level* dari inverter serta dapat membentuk gelombang-gelombang harmonisa terhadap gelombang fundamental sistem jaringan kelistrikan. Kandungan *noise* yang tinggi ini disebabkan oleh inverter yang melakukan penyesuaian berupa kompensasi daya terhadap beban sehingga kinerja inverter menjadi lebih berat [5].

Harmonisa diartikan sebagai gejala pembentukan gelombang perkalian dan *integer* dari frekuensi *fundamental* pada frekuensi tinggi yang menyebabkan penyimpangan terhadap frekuensi arus atau tegangan. Terbentuknya frekuensi dari perkalian orde ke-*n* dari harmonisa dengan frekuensi *fundamental* sistem, menjadikan frekuensi yang terbentuk akan dibawa pada frekuensi *fundamental* jaringan [7].





Perhitungan harmonisa pada jaringan listrik disebut dengan *Total Harmonic Distortion* (THD). Dalam menganalisis perhitungan THD maka diperlukan IEEE 519-2014 sebagai standar acuan dalam menentukan batas nilai THD. Apabila nilai THD melebihi nilai standar yang sudah ditetapkan, maka besar resiko terjadinya kerusakan peralatan akibat gelombang harmonisa. Selain dapat merusak peralatan listrik, harmonisa juga mempengaruhi nilai faktor daya, jatuh tegangan dan arus lebih pada jaringan listrik sehingga akan membuat peningkatan terhadap rugi-rugi daya [7].

Pada penelitian yang melakukan pengamatan terhadap *Photovoltaic* (PV) berkapasitas 570 W dan inverter berkapasitas 1000 W dengan beban lampu *Light Emitting Diode* (LED) 40 W. Berdasarkan hasil pengukuran langsung, THD-F memiliki nilai sebesar 78% dan THD-R memiliki nilai sebesar 62%. Nilai tersebut sangat jauh dari batas aman yang sudah ditentukan oleh IEEE 519-2014 sebesar 5% sehingga perlu dilakukan perbaikan kembali terhadap kualitas sistem jaringan kelistrikan yang ada [8].

Adapun penelitian yang dilakukan pada jaringan distribusi penyulang Abang Karangasem-Bali dengan interkoneksi secara radial terhadap pembangkit intermiten PLTS 1 MWp yang menggunakan 50 inverter, untuk melihat kandungan harmonisa pada transformator berkapasitas 14,1 MVA. Didapatkan hasil THDi sebelum interkoneksi PLTS sebesar 13,7% dan setelah terjadi interkoneksi nilai THD arus bertambah menjadi 22,5%. Ini menunjukkan adanya pengaruh dari penetrasi PLTS terhadap sistem jaringan kelistrikan Perusahaan Listrik Negara (PLN) yang sudah ada, dimana penetrasi mengakibatkan penambahan kandungan harmonisa yang sudah ada sebelumnya pada penyulang [9].

Sejalan dengan perkembangan dalam pemanfaatan PLTS sebagai pembangkit EBT, maka kualitas listrik dari suatu jaringan perlu menjadi perhatian, terlebih lagi ketika terjadinya interkoneksi dari pembangkit EBT yang bersifat intermiten terhadap jaringan PLN. Melakukan analisis awal selayaknya perlu dilakukan untuk merancang infrastruktur kelistrikan yang dibutuhkan, analisis ini kemudian berkembang menjadi studi penyambungan atau *Grid study* [10].

Studi penyambungan adalah studi awal yang mempunyai tujuan untuk melihat integrasi pembangkit terhadap sistem jaringan kelistrikan yang sudah ada dengan membahas aspek teknis dalam ruang lingkup studi seperti studi penentuan kandidat titik penyambungan, studi aliran daya, studi hubung singkat, studi tansien dan kestabilan sistem, studi penentuan kapasitas dan studi harmonisa. Studi penyambungan bermanfaat untuk merekomendasikan pasokan daya yang andal secara teknis dan ekonomis [6].

Hal Cipta Dilindungi Undang-Undang  
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.  
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





Penelitian mengenai studi penyambungan sudah dilakukan oleh PLN Enjinerig selaku anak perusahaan PLN Persero dalam mengembangkan kualitas sistem jaringan kelistrikan Indonesia. Penelitian dilakukan pada PLTS 60 MWp Saguling, dimana studi penyambungan mampu memperitungkan *Capacity of Factor* PLTS sebesar 1,96% dan perkiraan umur proyek hingga 25 tahun [11].

Saat ini gedung laboratorium terpadu sudah mulai beroperasi namun belum secara optimal, akibat dari perkuliahan yang masih dalam masa *daring* karena pandemi covid-19 dan belum terpenuhinya peralatan-peralatan pratikum mahasiswa. Untuk PLTS atap yang berada pada gedung laboratorium terpadu juga telah beroperasi secara optimal terhadap sistem jaringan kelistrikan gedung laboratorium. Jaringan kelistrikan PLTS atap tersambung langsung pada panel lantai 3 sistem jaringan kelistrikan gedung, dikarenakan titi penyambungan yang terdekat antara PLTS atap dan sistem jaringan kelistrikan gedung berada pada lantai tersebut.

Gedung laboratorium memiliki pembebanan total sebesar 158,86 kVA yang dibagi pada ketiga lantai gedung. Pembebanan tersebut disesuaikan dengan pembebanan yang optimal berdasarkan 80% kapasitas transformator. Namun saat ini dengan kondisi gedung yang belum beroperasi secara optimal, nilai dari pembebanan hanya mencapai total sebesar 47,02 kVA yang terbagi menjadi 30,21 kVA pada lantai 1, 14,56 kVA pada lantai 2 dan 2,25 kVA pada lantai 3.

Berdasarkan latar belakang permasalahan tersebut dan solusi yang telah dijelaskan, maka perlu dilakukan analisis studi penyambungan terhadap interkoneksi PLTS atap pada sistem jaringan kelistrikan gedung laboratorium terpadu UIN Sultan Syarif Kasim-Riau. PLTS atap yang menggunakan inverter dan ditambah dengan beban non-linier dari peralatan gedung laboratorium, akan memicu terjadinya gelombang harmonisa pada sistem jaringan kelistrikan gedung laboratorium. Studi penyambungan bisa dilakukan dalam ruang lingkup studi aliran daya, studi hubung singkat dan studi harmonisa untuk melihat nilai kandungan harmonisa arus yang akan terjadi pada gedung kondisi saat ini (*existing*) maupun dalam kondisi optimal transformator beroperasi sepenuhnya dengan interkoneksi dari PLTS atap. Maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian menggunakan bantuan *software Electrical Transient and Analysis Program* (ETAP) dengan judul “**Analisis Studi Penyambungan PLTS Atap 3,5 kWp Terhadap Kandungan Harmonisa Gedung Berdasarkan Kapasitas Pembebanan Transformator**” (Studi Kasus Gedung Laboratorim Terpadu UIN Sultan Syarif Kasim-Riau)”.  
 © Hal ini merupakan hak cipta milik UIN Suska Riau  
 © UIN Sultan Syarif Kasim Riau

- Hal ini merupakan hak cipta milik UIN Suska Riau
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



**1.2 Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

**Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang, maka didapat rumusan sebagai berikut :

1. Bagaimana nilai kandungan harmonisa arus pada gedung laboratorium terpadu UIN Sultan Syarif Kasim-Riau saat kondisi *existing* ?
2. Bagaimana nilai kandungan harmonisa arus akibat dari interkoneksi PLTS atap terhadap gedung laboratorium terpadu UIN Sultan Syarif Kasim-Riau saat kondisi *existing* ?
3. Bagaimana nilai kandungan harmonisa arus pada gedung laboratorium terpadu UIN Sultan Syarif Kasim-Riau saat kondisi kapasitas optimal transformator ?
4. Bagaimana nilai kandungan harmonisa arus akibat dari interkoneksi PLTS atap terhadap gedung laboratorium terpadu UIN Sultan Syarif Kasim-Riau saat kondisi kapasitas optimal transformator ?

**1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penulis dalam penelitian ini adalah :

1. Menganalisis nilai kandungan harmonisa arus pada gedung laboratorium terpadu UIN Sultan Syarif Kasim-Riau saat kondisi *existing*
2. Menganalisis nilai kandungan harmonisa arus akibat dari interkoneksi PLTS atap terhadap gedung laboratorium terpadu UIN Sultan Syarif Kasim-Riau saat kondisi *existing*.
3. Menganalisis nilai kandungan harmonisa arus gedung laboratorium terpadu UIN Sultan Syarif Kasim-Riau saat kondisi kapasitas optimal transformator.
4. Menganalisis nilai kandungan harmonisa arus akibat dari interkoneksi PLTS atap terhadap gedung laboratorium terpadu UIN Sultan Syarif Kasim-Riau saat kondisi kapasitas optimal transformator.

UIN SUSKA RIAU



#### 1.4

#### Batasan Masalah

Penulis memberi batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut :

Penelitian dilakukan pada jaringan listrik Gedung Laboratrium Terpadu UIN Sultan Syarif Kasim-Riau.

Pembangkit tambahan yang digunakan pada gedung adalah Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap berkapasitas 3,5 kWp.

Kandungan harmonisa yang akan di analisis adalah harmonisa arus.

Tidak membahas dampak lain dari interkoneksi pembangkit melainkan gangguan harmonisa pada jaringan listrik gedung laboratorium terpadu UIN Sultan Syarif Kasim-Riau.

#### 5.

Mensimulasikan keadan jaringan listrik gedung dengan *Software* ETAP 19.0.1.

#### 1.5

#### Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian adalah :

#### 1.

Kepada Penulis

Dapat melakukan metode *grid study* serta mengaplikasikan *software* ETAP 19.0.1 dalam menganalisis kualitas jaringan listrik.

#### 2.

Kepada Lembaga Pendidikan

Dapat dijadikan sumber referensi bagi pihak yang membutuhkan

#### 3.

Kepada pengelola PLTS atap dan Gedung Laoratorium

Dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam menjaga kualitas jaringan listrik gedung dan apabila melakukan penambahan kapasitas daya dari PLTS atap.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





## 2. Penelitian Terkait

Pada penelitian ini, penulis mengumpulkan beberapa referensi penelitian terdahulu yang berkaitan dengan studi analisis kualitas jaringan listrik terhadap penetrasi PLTS. Pada penelitian “Analisis Harmonisa pada *Off-Grid Photovoltaic Solar Power System* terhadap Beban Non-linier” dilakukan perhitungan harmonisa dan faktor daya terhadap rangkaian PV menggunakan inverter serta beban non-linier untuk melihat kandungan harmonisa dan nilai faktor daya akibat penggunaan PV, dimana spesifikasi PV memiliki daya 190 Watt, inverter dengan daya 1000 watt serta beban non-linier dari 4 buah lampu *Light Emitting Diode* (LED) total daya 40 Watt. Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan alat ukur *Power Quality Meter*, didapatkan hasil kandungan harmonisa pada rangkaian jaringan listrik tersebut sebesar 61,91% yang melebihi batas dari standar 5% IEEE 519-1992 dan nilai faktor daya sebesar 0,552 yang masih jauh dari rekomendasi PLN [8].

Pada penelitian “Karakterisasi *Conducted Emission Noise* pada Inverter di Sistem *Potovoltaic Off-Grid*” dilakukan pengamatan terhadap gangguan elektromagnetik yang ditimbulkan oleh inverter dengan tujuan untuk melihat karakteristik gelombang gangguan inverter berkapasitas 200 W, 300 W, 500 W, 700 W dan 1000 W dengan beban lampu pijar 60 W. Hasil dari pengukuran langsung memperlihatkan gelombang gangguan dari inverter atau kandungan harmonisa arus yang timbul cukup tinggi dengan nilai berturut-turut 34,55%, 29,53%, 4,28%, 29,52% dan 4,1%. Nilai harmonisa yang tinggi disebabkan oleh inverter yang harus bekerja cukup berat untuk melakukan penyesuaian berupa kompensasi daya terhadap beban [5].

Dalam penelitian tentang “Studi Dampak Level Penetrasi Pembangkit Listrik Photovoltaic pada Jaringan Distribusi” terjadi perbaikan profil tegangan pada jaringan distribusi 380 Volt berkapasitas daya 4 MVA yang terhubung pada PLTS berkapasitas masing-masing 2 x 100 kW, 2 x 1000 kW dan 2 x 2500 kW. Analisis dilakukan bantuan *software* MATLAB Simulink, pada skenario kapasitas pertama dan kedua dari penetrasi PLTS terlihat nilai profil tegangan jaringan mencapai 1,04 p.u. Untuk skenario kapasitas ketiga dari penetrasi PLTS, menghasilkan nilai profil tegangan melebihi nilai 1,05 p.u. batas operasi jaringan. Dapat disimpulkan dengan adanya penetrasi PLTS pada suatu jaringan listrik dapat memengaruhi kualitas profil tegangan dengan catatan, dibutuhkan juga pengaturan



tegangan pada jaringan akibat penetrasi yang tinggi dari kapasitas PLTS. Namun apabila dilihat dari sisi kualitas gelombang tegangan, penetrasi yang tinggi dapat memperburuk kualitas gelombang tegangan yang sinusoidal dengan kata lain terentuknya harmonisa pada jaringan listrik [12].

Penelitian mengenai “Analisis Distorsi Harmonisa pada Penyulang Abang Karangasem setelah Terpasang Pembangkit Listrik Tenaga Surya” dilakukan pada penyulang abang karangasem yang memiliki beban puncak 1989 kW dan disuplai oleh trafo 14100 kVA Gardu Induk (GI) Amlapura serta PLTS 1 MWp dengan 50 inverter. Analisis dilakukan untuk melihat perubahan nilai THD arus serta rugi-rugi daya sesaat sebelum dan sesudah terkoneksi PLTS melalui simulasi *software* MATLAB. Nilai THD arus pada penyulang abang sebelum terkoneksi PLTS sebesar 14,81% dengan rugi-rugi daya 0,11 kW. Pada saat dilakukannya koneksi PLTS karangasem, nilai THD arus menjadi 21,60% dan nilai rugi-rugi mencapai 3,72 kW. Dimana kedua nilai THD arus tersebut tidak sesuai dengan standar IEEE 519-1992 serta nilai rugi-rugi daya yang menjadi lebih besar pada saat dilakukannya interkoneksi PLTS karangasem pada penyulan abang. Hal ini dipicu oleh beban non-linier dari total 50 inverter pada PLTS karangasem ditambah dengan total beban puncak sebesar 1989 kW penyulang abang [9].

PLN Enjinereng melakukan penelitian *Grid Study* untuk salah satu proyek nasional yang menggunakan beberapa *software* elektrik seperti ETAP, melakukan studi grid pada pembangunan PLTS 60 MWp saguling, Jawa Barat. Melalui analisis studi grid, PLTS ini akan mampu membangkitkan daya sebesar 220 MWac untuk jaringan listrik Jawa-Bali dengan perkiraan kapasitas faktor 18,96% dan perkiraan umur hingga 25 tahun [11].

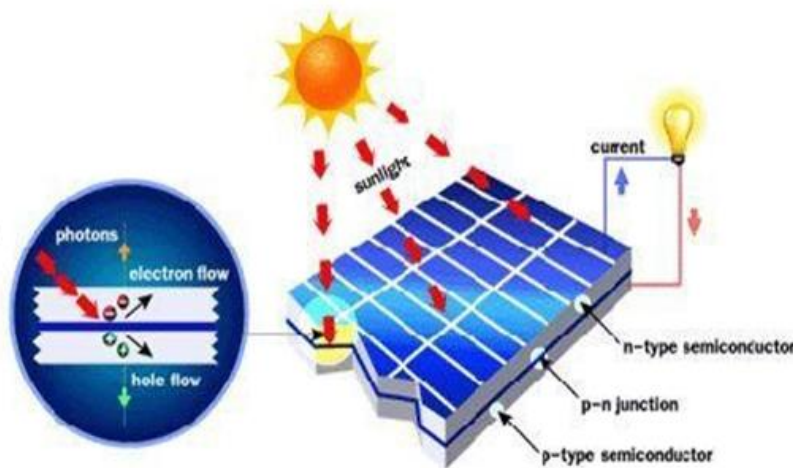
Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian pada Gedung Laboratorium Terpadu UIN Sultan Syarif Kasim-Riau. Penulis akan mengangkat judul “**Analisis Studi Penyambungan PLTS Atap 3,5 kWp Terhadap Kandungan Harmonisa Gedung Berdasarkan Kapasitas Pembebanan Transformator**”. Pengambilan data dilakukan dengan teknik wawancara kepada teknisi UIN Sultan Syarif Kasim dan vendor PLTS gedung laboratorium PT. Prima Solar, dilakukan juga pengamatan dan pengukuran secara langsung pada gedung laboratorium. Data yang diambil berupa kapasitas transformator, kapasitas PV, kapasitas inverter, daya yang digunakan saat ini dan daya penuh gedung yang disanggupi oleh transformator.



Keterbaruan penelitian ini terletak pada studi penyambungan yang diterapkan dalam melakukan perhitungan nilai kandungan harmonisa akibat dari interkoneksi PLTS atap terhadap sistem jaringan kelistrikan gedung. Lingkup studi yang akan dilakukan adalah studi aliran daya untuk mencari arus nominal, studi hubung singkat untuk mencari arus hubung singkat 3 fasa dan studi harmonisa untuk mencari nilai kandungan harmonisa yang mengalir dalam sistem jaringan kelistrikan gedung laboratorium terpadu UIN Sultan Syarif Kasim-Riau. Dikarenakan gedung yang masih belum beroperasi sepenuhnya namun telah interkoneksi dengan PLTS, maka dari itu diperlukan studi awal untuk melihat kualitas sistem jaringan listrik gedung. Kualitas jaringan listrik yang akan dianalisis adalah nilai kandungan harmonisa arus dengan acuan standar *Total Harmonic Distortion* (THD) yang digunakan yaitu *IEEE 519-2014*. Simulasi perhitungan menggunakan bantuan *Electrical Transient Analyzer Program* (ETAP) 19.0.1. Dilakukan dalam 2 skenario, yaitu pada kondisi *existing* pembebanan transformator sebelum dan sesudah interkoneksi PLTS atap serta disaat kondisi pembebanan optimal transformator sebelum dan sesudah interkoneksi PLTS atap.

## 2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit listrik tenaga surya adalah pembangkit listrik yang bersifat intermiten, bersumber dari energi baru terbarukan surya matahari. Pemanfaatan surya matahari sebagai energi primer untuk diubah menjadi energi listrik menggunakan bantuan sel photovoltaic, yang tersusun dari silikon kristal berwarna hitam berbahan semi-konduktor. Radiasi yang dihasilkan oleh matahari akan dikonversi menjadi energi listrik searah oleh sel photovoltaic dengan melepaskan elektron ke pita konduksi yang diteruskan pada baterai atau inverter yang berfungsi untuk mengubah energi listrik searah menjadi energi listrik bolak balik [13].

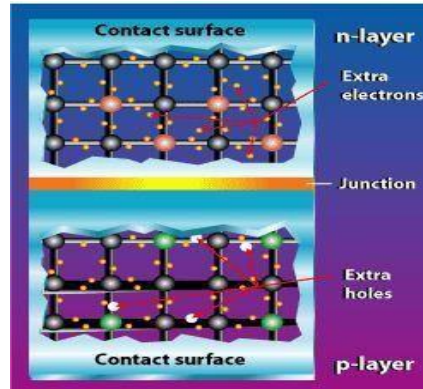


Gambar 2. 1 Cara Kerja Sel Surya dengan Prinsip P-N Junction [14]



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2. 2 Junction antara Semikonduktor Tipe-p (Kelebihan Hole) dan Tipe-n (Kelebihan Elektron) [14]

Untuk memisahkan elektron valensi dari atom semikonduktor, dibutuhkan energi foton yang lebih besar dari celah pita lempengan semikonduktor. Ketika elektron terlepas, elektron akan bergerak bebas di dalam bidang kristal, elektron tersebut akan bermuatan negatif yang bergerak ke daerah pita konduksi dari material semikonduktor. Struktur kristal yang kehilangan elektronnya membentuk suatu lubang (hole) yang bermuatan positif [15].

Daerah semikonduktor yang bermuatan negatif (elektron bebas) bertindak sebagai pendonor elektron yang disebut tipe negatif (*n-type*). Untuk daerah semikonduktor yang bermuatan positif (dengan lubang) bertindak sebagai penerima elektron disebut tipe positif (*p-type*). Ikatan dari kedua sisi positif dan negatif (*p-n junction*) menghasilkan energi listrik internal yang mendorong elektron bebas dan hole untuk bergerak ke arah yang berlawanan. Elektron bergerak ke sisi positif dan hole bergerak ke sisi negatif. Ketika kedua sisi positif dan negatif dihubungkan dengan sebuah beban (tahanan), maka tercipta sebuah arus listrik [16][15].

Besarnya arus listrik yang dihasilkan tergantung pada intensitas cahaya maupun panjang gelombang cahaya yang jatuh pada sel photovoltaic. Intensitas cahaya menentukan jumlah foton, semakin besar intensitas cahaya yang mengenai permukaan sel photovoltaic makin besar pula foton yang dimiliki sehingga mengakibatkan besarnya arus yang mengalir. Makin pendek panjang gelombang cahaya maka makin tinggi energi fotonnya sehingga makin besar energi elektron yang dihasilkan, dan juga berimplikasi pada makin besarnya arus yang mengalir [13].

**2.3 Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

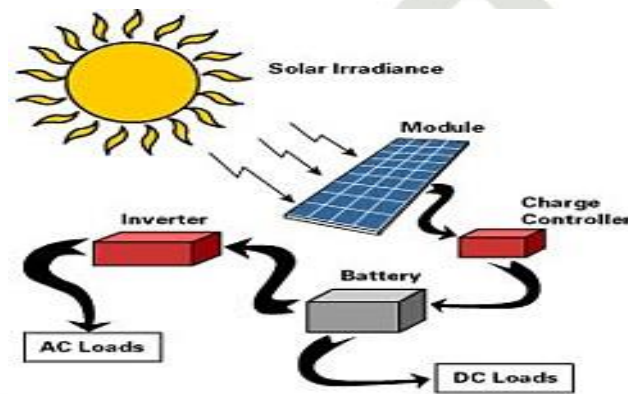
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

**2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap**

PLTS atap merupakan salah satu implementasi dari sistem PLTS berbasis on-grid, yang berarti sistem PLTS terhubung langsung pada jaringan distribusi bersamaan dengan jaringan PLN tanpa adanya komponen baterai sebagai energi cadangan listrik jaringan dimana komponen sel photovoltaic dipasang pada atap bangunan milik PLN. Penggunaan PLTS atap lebih praktis dan mudah untuk dihubungkan dengan sistem jaringan distribusi yang sudah ada, hal tersebut menjadi nilai jual yang dapat dipertimbangkan dari penggunaan PLTS atap [13].



Gambar 2. 3 Cara Kerja Sel Surya [14]

Dapat kita pahami prinsip kerja dari sistem PLTS atap, pada siang hari sel photovoltaic akan mengkonversi sinar radiasi matahari menjadi energi listrik searah. Kemudian komponen inverter akan merubah arus listrik dari photovoltaic menjadi arus listrik bolak-balik yang umum kita gunakan dalam keseharian. Sehingga kebutuhan energi listrik kita pada siang hari dapat mengandalkan suplai dari sel photovoltaic. Jika kita memiliki kelebihan energi yang dihasilkan sel photovoltaic, maka kelebihan energi tersebut dapat dijual kepada PLN melalui kWh meter ekspor impor (exim) disesuaikan dengan kebijakan yang ada. Karena sifatnya yang intermiten (tidak tersedia secara terus-menerus) maka pada malam hari atau pada saat sinar radiasi matahari tidak mencapai nilai optimal sel photovoltaic, sistem jaringan akan disuplai energi listrik oleh PLN [13].

**2.4 Komponen PLTS Atap**

**2.4.1 Modul Photovoltaic**

Modul photovoltaic adalah komponen utama dalam sistem PLTS atap, berfungsi untuk mengubah sinar radiasi matahari menjadi energi listrik. Modul disusun oleh beberapa sel photovoltaic yang terhubung secara seri maupun paralel tergantung pada kapasitas yang



diinginkan. Gabungan dari beberapa modul disebut panel dan gabungan dari beberapa panel disebut *array* [13].



Gambar 2. 4 Ilustrasi Perbedaan Modul Surya dan Panel Surya [13]

### 2.4.2 Inverter

Inverter digunakan untuk menghasilkan listrik dengan karakter bolak-balik pada sisi output dari suatu sumber listrik yang berkarakter searah. Inverter merupakan konverter daya statis yang dapat mengubah gelombang frekuensi jaringan listrik. Tegangan keluaran dari inverter dapat diatur dengan memvariasikan tegangan input DC atau dengan mengubah cara switching inverter. Bentuk keluaran dari inverter adalah sinusoidal dan mengandung harmonisa [5].

Inverter memiliki mekanisme kerja menyerupai saklar, dimana saklar akan mengalami banyak perpindahan dari posisi open dan close per satu detik. Perpindahan tersebut menggunakan osilator yang berfungsi juga untuk membangkitkan frekuensi 50 Hz [5].

### 2.4.3 kWh Meter Ekspor Impor (*Exim*)

Dalam penggunaan PLTS atap, PLN memberikan peluang kepada konsumen penggunaan PLS atap yang menghasilkan lebih daya energi listrik untuk menggunakan kWh meter *exim*. Dimana fungsi dari kWh meter *exim* ini guna mempermudah keperluan ekspor – impor energi listrik dari PLTS atap konsumen kepada jaringan distribusi PLN. Selain itu, kWh meter *exim* juga menjadi acuan perhitungan jual beli energi daya listrik dari konsumen kepada PLN, karena dapat menghitung selisih yang terjadi antara daya listrik yang

Hak cipta Diindungi Undang-Undang  
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.  
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





digunakan oleh konsumen dengan daya listrik yang masuk ke jaringan distribusi PLN. sistem yang digunakan oleh kWh meter *exim* dinamakan dengan sistem net metering [13].

## 2. Kualitas daya

Secara umum, kategori baik atau buruk suatu sistem transmisi dan distribusi dilihat dari kualitas daya (*Power Quality*) yang diterima konsumen. Kualitas daya dapat dikatakan baik apabila kapasitas daya terpenuhi dan tegangan yang diterima konsumen selalu konstan. Kualitas daya yang buruk akan menyebabkan banyak permasalahan pada suatu sistem jaringan kelistrikan dan menimbulkan kerugian bagi konsumen. Salah satu permasalahan kualitas daya listrik adalah permasalahan harmonisa [7].

Tegangan dan frekuensi yang tidak stabil dapat merusak alat-alat yang sensitif akan perubahan tegangan dan frekuensi (khususnya alat-alat elektronik). Salah satu syarat penyambungan alat-alat listrik, yaitu tegangan dan frekuensi sumber harus sama dengan tegangan dan frekuensi yang dibutuhkan oleh peralatan listrik tersebut. Tegangan dan frekuensi terlalu tinggi akan dapat merusak alat-alat listrik [7].

## 2.6 Harmonisa

### 2.6.1 Pengertian Harmonisa

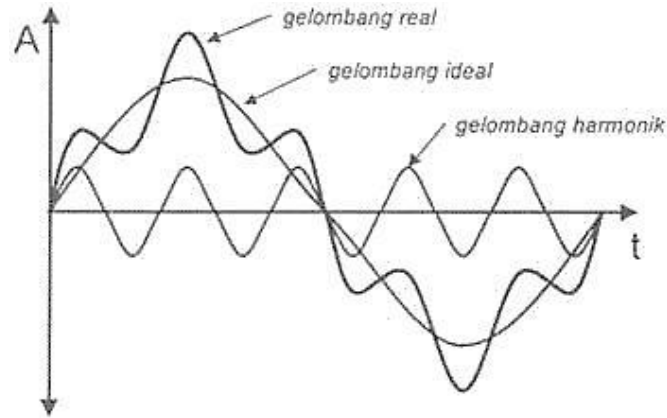
Harmonisa adalah fenomena terjadinya distorsi pada gelombang jaringan listrik, yang mengganggu bentuk murni sinusoidal dari suatu gelombang arus maupun tegangan sistem jaringan listrik [7].

Frekuensi gelombang distorsi terbentuk pada kelipatan nilai frekuensi gelombang fundamental, dimana gelombang ini akan menumpang pada gelombang fundamental sehingga mengakibatkan terbentuknya gelombang cacat yang merupakan jumlah antara gelombang fundamental dengan gelombang distorsi (gelombang harmonik) [7].

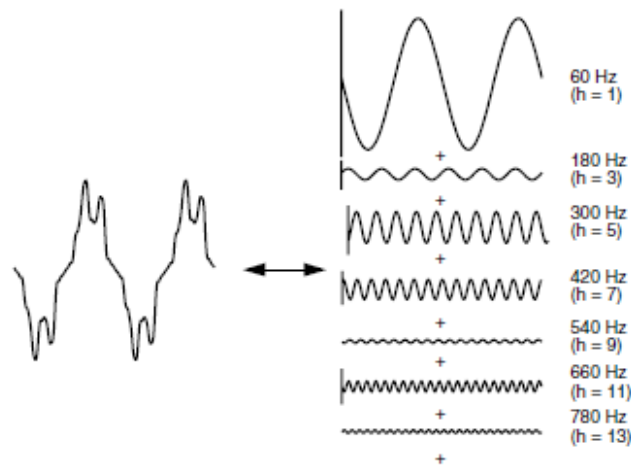
Frekuensi beroperasinya sistem tenaga listrik di Indonesia berada ada gelombang frekuensi 50 Hz. Sehingga gelombang distorsi harmonisa akan terjadi pada gelombang kelipatan dari gelombang fundamentalnya, yaitu pada gelombang frekuensi 100 Hz, 150 z, 200 Hz dan seterusnya [7].

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Diarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Diarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2. 5 Gelombang Fundamental dengan Gelombang Harmonisa [7]



Gambar 2. 6 Kelipatan Frekuensi Fundamental [7]

Saat gelombang fundamental membentuk satu gelombang penuh, orde ketiga dari gelombang fundamental akan membentuk tiga gelombang penuh dan begitupun untuk orde selanjutnya. Gelombang harmonisa dimulai pada orde ke-dua samai orde ke-h, karena orde pertama merupakan frekuensi dasar dari gelombang fundamental [17].

Perbandingan frekuensi harmonik dengan frekuensi dasar merupakan orde dari harmonisa, dinyatakan kedalam persamaan berikut [7] :

$$h = \frac{f_h}{f} \quad (2.1)$$

Keterangan:

- h = orde harmonisa
- $f_h$  = frekuensi harmonisa ke-n
- f = frekuensi dasar (50 Hz)



### 2.6.2 Jenis Harmonisa

#### 1. Harmonisa Ganjil dan Harmonisa Genap

Harmonisa dapat dikategorikan berdasarkan urutan ordenya, sesuai dengan namanya ganjil maupun genap. Sehingga pada orde ganjil seperti ke-3, 5, 7, 9 dan seterusnya itu merupakan harmonisa ganjil, sedangkan ada orde ke-2, 4, 6, 8 dan seterusnya adalah harmonisa genap. Orde ke-1 merupakan frekuensi fundamental dan tidak dapat dikatakan sebagai gelombang harmonisa [7][18].

#### 2. Harmonisa urutan Positif

Harmonisa yang mempunyai urutan fasa sama dengan fasor aslinya, terdiri dari fasor yang sama besarnya dan saling berbeda fasa  $120^\circ$  (R, S, T atau a, b, c). Berada pada harmonisa dengan orde ke-1, 4, 7, 10 dan seterusnya. Harmonisa urutan positif dapat menyebabkan penambahan panas di konduktor, circuit breaker dan panel-panel lainnya [7][18].

#### 3. Harmonisa urutan Negatif

Harmonisa ini memiliki urutan fasa yang berlawanan dengan fasor aslinya, terdiri dari fasor yang sama besarnya dan saling berbeda fasa  $120^\circ$  (R, S, T atau a, b, c). Berada pada orde ke-2, 5, 8 dan seterusnya. Selain menyebabkan panas, urutan negatif ini dapat menyebabkan masalah pada motor induksi sehingga mengalami perlambatan [7][18].

#### 4. Harmonisa urutan Nol (*Zero Sequence*)

Dapat diartikan sebagai harmonisa yang memiliki nilai fasor sama besarnya dan sefasa satu sama lain (beda fasa satu sama lain  $0^\circ$ ), disebut juga sebagai *tripelen harmonic*. Terdiri dari urutan orde ke-3, 6, 9 dan seterusnya. Harmonisa ini tidak memproduksi perputaran medan di kedua arah, sehingga menyebabkan arus normal yang lebih besar dan dapat menyebabkan kebakaran [7][18].

### 2.6.3 Sumber Harmonisa

Harmonisa disebabkan oleh adanya beban non linier, karena memiliki bentuk gelombang keluaran yang tidak seimbang dengan gelombang masukannya baik itu pada gelombang arus maupun gelombang tegangan. Hal ini dikarenakan beban non linier yang tersusun dari komponen semikonduktor, dengan prinsip kerja sebagai saklar dan bekerja pada setiap siklus gelombang dari sumber tegangan. Selain itu, harmonisa bisa terjadi karena adanya peralatan penyearah seperti penyearah dioda dan *thyristor* [7].



Peralatan yang dapat menjadi sumber harmonisa [19] :

1. Peralatan Industri : Mesin Las, *Variable Speed Drive* dan sebagainya.
2. Peralatan Kantor : Komputer, *Air Conditioning Load*, *Elevator*, Mesin Fax dan sebagainya.
3. Peralatan Rumah Tangga : Televisi, *Microwife*, Lampu Hemat Energi dan sebagainya.

#### 2.6.4 Efek Harmonisa

Akibat dari terjadinya harmonisa pada suatu jaringan diklasifikasikan dalam rentang waktu. Dalam jangka pendek, harmonisa dapat menyebabkan penurunan faktor daya, kesalahan pengukuran listrik, getaran dan suara pada mesin-mesin listrik. Sedangkan dalam jangka panjang, harmonisa akan berdampak pada melemanya isolasi, dielektrik, penyusutan umur trafo dan motor listrik [7][19].

#### 2.6.5 Parameter Harmonisa

1. *Individual Harmonic Distortion (IHD)*

Merupakan rasio antara nilai *Root Means Square* dari harmonisa orde ke-*h* dengan nilai *Root Means Square* fundamental. Dapat kita lihat pada persamaan [7] :

$$IHD_i = \sqrt{\frac{I_{sh}^2}{V_1^2}} \times 100\% \quad (2.2)$$

$$IHD_v = \sqrt{\frac{V_{sh}^2}{V_1^2}} \times 100\% \quad (2.3)$$

Dengan:

- $IHD_i$  = distorsi harmonisa individu arus (%),
- $IHD_v$  = distorsi harmonisa individu tegangan (%),
- $I_{sh}$  = arus harmonisa pada orde ke-*h* (A),
- $V_{sh}$  = tegangan harmonisa pada orde ke-*h* (V),
- $I_1$  = arus fundamental (A),
- $V_1$  = tegangan fundamental (A)



2. *Total Harmonic Distortion (THD)*

Merupakan total nilai persentase harmonisa yaitu perbandingan nilai *Root Means Square* komponen harmonisa dan nilai *Root Means Square* fundamental. Nilai THD ini mempersentasikan besaran penyimpangan dari bentuk gelombang periodik yang terkandung harmonisa pada gelombang fundamentalnya. Berikut persamaan untuk mencari nilai THD arus

[7] :

$$THDi = \frac{\sqrt{\sum_{h>1}^{h_{max}} I_h^2}}{I_1} \times 100\% \tag{2.4}$$

Keterangan :

- THDi = *Total Harmonic Distortion* (%) ,
- I<sub>h</sub> = nilai arus atau arus harmonik ke-*h* (A),
- I<sub>1</sub> = nilai arus atau arus pada frekuensi dasar (A).

THD untuk gelombang tegangan adalah [7] :

$$THDv = \frac{\sqrt{\sum_{h>1}^{h_{max}} V_h^2}}{V_1} \times 100\% \tag{2.5}$$

Keterangan:

- THDv = *Total Harmonic Distortion* (%) ,
- V<sub>h</sub> = nilai tegangan harmonik ke-*h* (V),
- V<sub>1</sub> = nilai tegangan pada frekuensi dasar (V).

3. *Root Means Square (RMS)*

RMS adalah nilai akar kuadrat rata-rata dari fungsi berkala pada suatu periode yang terdapat amplitudo. Untuk mengitung nilai RMS, digunakan persamaan berikut [7] :

$$V_{rms} = \sqrt{\sum_{h=1}^{h_{max}} V_h^2} \tag{2.6}$$

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{h=1}^{h_{max}} I_h^2} \tag{2.7}$$

Keterangan :

- V<sub>rms</sub> = Tegangan rms
- I<sub>rms</sub> = Arus rms

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.  
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

### 2.6.6 Standar Kandungan Harmonisa

Dalam penerapannya, standar harmonisa didasari pada standarisasi yang terkandung dalam IEEE 519-2014. Standar nilai kandungan harmonisa dibagi menjadi dua, yaitu standar harmonisa arus dan standar harmonisa tegangan. Untuk standar harmonisa arus, ditentukan oleh rasio  $I_{sc}/I_L$ .  $I_{sc}$  adalah arus hubung singkat yang ada pada PCC (*Point of Common Coupling*), sedangkan  $I_L$  adalah arus beban fundamental nominal. Sedangkan untuk standar harmonisa tegangan ditentukan oleh tegangan sistem yang dipakai [7][19].

$$I_{sc} = \frac{1000 \times kVA}{\sqrt{3}kV} \quad (2.8)$$

$$I_L = \frac{kW}{PF\sqrt{3}kV} \quad (2.9)$$

Keterangan:

- kW = permintaan rata-rata daya (masing-masing fasa)
- PF = *power factor*
- kV = tegangan *line to line* di PCC

$$SC_{Ratio} \frac{I_{sc}}{I_L} \quad (2.10)$$

Keterangan:

- $I_{sc}$  = Arus hubung singkat
- $I_L$  = Arus beban nominal

Berikut batas maksimum dari distorsi armonisa arus maupun tegangan berdasarkan IEEE Standard 519-2014 :

Tabel 2.1 Standar Batas Maksimum Distorsi Arus Harmonisa [20]

Batasan Distorsi Harmonisa Arus						
$V_n \leq 66 \text{ Kv}$						
$I_{sc}/I_L$	Distorsi Harmonisa Arus Maksimum dalam persen $I_L$					Total Harmonic Distortion (THD)
	Orde Harmonisa Individu "h" Harmonisa Ganjil					
	$h < 11$	$11 \leq h \leq 17$	$17 \leq h \leq 23$	$23 \leq h \leq 25$	$35 \leq h$	
< 20	4,0 %	2,0 %	1,5 %	0,6 %	0,3 %	5,0 %
20 – 50	7,0 %	3,5 %	2,5 %	1,0 %	0,5 %	8,0 %

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang  
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.  
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



50 - 100	10,0 %	4,5 %	4,0 %	1,5 %	0,7 %	12,0 %
100 - 1000	12,0 %	5,5 %	5,0 %	2,0 %	1,0 %	15,0 %
> 1000	15,0 %	7,0 %	6,0 %	2,5 %	1,4 %	20,0 %
<b>66 kV &lt; Vn &lt; 150 kV</b>						
$I_{sc}/I_L$	Orde Harmonisa Individu "h" Harmonisa Ganjil					<i>THD</i>
	$h < 11$	$11 \leq h \leq 17$	$17 \leq h \leq 23$	$23 \leq h \leq 25$	$35 \leq h$	
< 20	2,0 %	1,0 %	0,75 %	0,3 %	0,15 %	2,5 %
20 - 50	3,5 %	1,75 %	1,25 %	0,5 %	0,25 %	4,0 %
50 - 100	5,0 %	2,25 %	2,0 %	0,75 %	0,35 %	6,0 %
100 - 1000	6,0 %	2,75 %	2,5 %	1,0 %	0,5 %	7,5 %
> 1000	7,5 %	3,5 %	3,0 %	1,25 %	0,7 %	10,0 %
<b>Vn &gt; 150 kV</b>						
$I_{sc}/I_L$	Orde Harmonisa Individu "h" Harmonisa Ganjil					<i>THD</i>
	$h < 11$	$11 \leq h \leq 17$	$17 \leq h \leq 23$	$23 \leq h \leq 25$	$35 \leq h$	
< 20	2,0 %	1,0 %	0,75 %	0,3 %	0,15 %	2,5 %
20 - 50	3,5 %	1,75 %	1,25 %	0,5 %	0,25 %	4,0 %

Tabel 2.2 Standar Batas Maksimum Distorsi Tegangan Harmonisa [20]

Tegangan Pada Titik Sambung (Vn)	Distorsi Harmonisa Tegangan Individu (%)	Distorsi Harmonisa Tegangan Total – THD <sub>vn</sub> (%)
Vn ≤ 66 kV	3,0	5,0
66 kV < Vn ≤ 150 kV	1,5	2,5
Vn > 150 kV	1,0	1,5

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## 2.7 Faktor Daya

Faktor daya didefinisikan sebagai perbandingan daya aktif (kW) dan daya semu (kVA). Faktor daya selalu lebih kecil atau sama dengan satu. Dari kedua persamaan tersebut, dapat didefinisikan nilai Power factor displacement (PFD) sesuai Persamaan [7].

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (2.11)$$

Keterangan:

- $\cos \varphi$  = Faktor Daya
- $P$  = Daya Nyata (Watt)
- $S$  = Daya Semu (VoltAmpere)

Dalam sistem tenaga listrik dikenal 3 jenis faktor daya yang ditentukan oleh jenis beban yang ada pada sistem [7][21] :

### 1. Faktor Daya Unity

Faktor daya unity adalah keadaan dimana nilai  $\cos \varphi$  adalah satu dan tegangan sefasa dengan arus. Faktor daya Unity terjadi apabila jenis beban resistif murni. Secara matematis dinyatakan dengan persamaan [7] :

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.12)$$

Keterangan:

- $R$  = Resistansi ( $\Omega$ )
- $V$  = Tegangan (Volt)
- $I$  = Arus (Ampere)

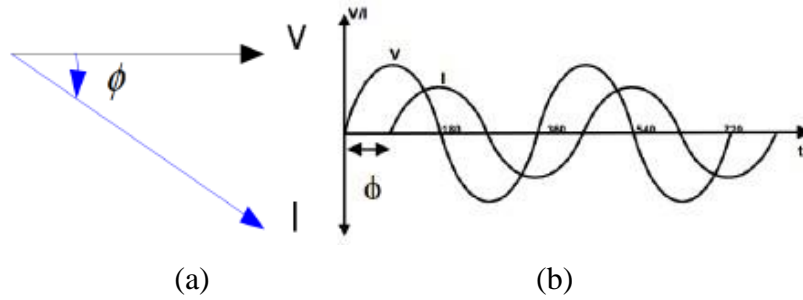
### 2. Faktor Daya Terbelakang

Faktor daya terbelakang (lagging) adalah keadaan beban/ peralatan listrik memerlukan daya reaktif dari sistem atau beban bersifat induktif. Arus ( $I$ ) tertinggal dari tegangan ( $V$ ), sehingga  $V$  mendahului  $I$  dengan sudut  $\varphi$ . Pada gambar 2.11, dapat dilihat bentuk aljabar fasor dari beban induktif dan faktor daya *lagging*.

2. Diarangi mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.  
 Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang  
 1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

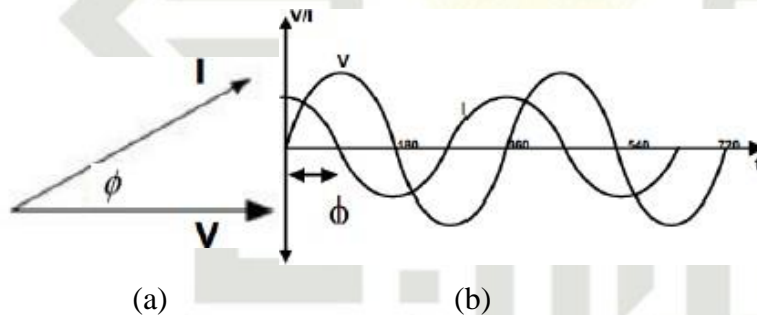


Gambar 2. 7 (a) Aljabar Fasor Beban Induktif (b) Faktor Daya Lagging [21]

Dari Gambar 2.7, terlihat bahwa arus tertinggal dari tegangan maka daya reaktif mendahului daya semu, berarti beban membutuhkan atau menerima daya reaktif dari sistem.

**3. Faktor Daya Mendahului**

Faktor daya mendahului (leading) adalah keadaan beban/ peralatan listrik memberikan daya reaktif dari sistem atau beban bersifat kapasitif. Arus mendahului tegangan, sehingga V terbelakang dari I dengan sudut  $\phi$ . Pada gambar 2.12, dapat dilihat bentuk aljabar fasor dari beban kapasitif dan faktor daya *leading*.



Gambar 2. 8 (a) Aljabar Fasor Beban Kapasitif (b) Faktor Daya Leading [21]

Dari Gambar 2.8, terlihat bahwa arus mendahului tegangan maka daya reaktif tertinggal dari daya semu, berarti beban memberikan daya reaktif kepada system.

**2.8 Penyebab Faktor Daya Rendah**

Penyebab utama rendahnya faktor daya suatu sistim jaringan kelistrikan adalah beban induktif. Pada sebuah rangkaian induktif murni, arus akan tertinggal sebesar  $90^\circ$  terhadap tegangan, perbedaan yang besar pada sudut fase antara arus dan tegangan akan menyebabkan faktor daya mendekati nilai nol. Perbedaan sudut fase ( $\theta$ ) antara arus dan tegangan sehingga menimbulkan faktor daya [7].





Berikut ini adalah beberapa sumber yang menyebabkan rendahnya factor daya (*power factor*) pada sistim jaringan listrik [18] :

1. Variasi besar kecilnya beban pada jaringan sistem tenaga listrik. Pada beban rendah, tegangan suplai meningkat sehingga arus *magnetizing* meningkat yang menyebabkan faktor daya menurun
2. Tungku pembakaran/pemanas pada industri
3. Lampu penerangan yang memanfaatkan gas.

### 2.9 Hubungan Faktor Daya dan Harmonisa

Faktor daya yang diperoleh dari pengukuran, sebenarnya merupakan power factor displacement, bukan merupakan faktor daya keseluruhan sistem. Power factor displacement dapat dianggap sebagai faktor daya total jika beban yang digunakan bersifat linier dan gelombang keluarannya berbentuk sinusoidal murni. Faktor daya total untuk beban non linier dipengaruhi oleh nilai Power factor displacement, nilai distorsi faktor daya, serta nilai total distorsi harmonisa sistem [21].

Dapat dilihat dalam persamaan sebagai berikut [21] :

$$PF_T = PF_D \times DPF \tag{2.13}$$

$$V_{rms} = V_t \sqrt{1 + \left(\frac{THD}{100}\right)^2} \tag{2.14}$$

$$I_{rms} = I_{rms} I_1 = I_1 \sqrt{1 + \left(\frac{THD}{100}\right)^2} \tag{2.15}$$

$$Pf_{tot} = \frac{P}{V_1 I_1 \sqrt{1 + \left(\frac{THD}{100}\right)^2} \sqrt{1 + \left(\frac{THD}{100}\right)^2}} \tag{2.16}$$

$$Pf_{tot} = \frac{P}{V_1 I_1 \sqrt{1 + \left(\frac{THD}{100}\right)^2}} \tag{2.17}$$

$$DPF = \frac{1}{\{1 + (THD)^2\}^{\frac{1}{2}}} \tag{2.18}$$

Keterangan :

$PF_T$  = Total faktor daya

$PF_D$  = Displacement faktor daya

$DPF$  = Distorsi faktor daya

$THD$  = Total Harmonic distortion

Hal-Cipta Diindungi Undang-Undang  
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.  
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## 2.10 Studi Penyambungan (*Grid Study*)

Studi penyambungan merupakan studi awal yang tengah berkembang dalam pemanfaatan EBT pada saat ini dengan tujuan untuk merencanakan integrasi pembangkit intermiten terhadap sistem jaringan listrik. Alasan utamanya yaitu untuk mendapatkan rekomendasi skenario penyambungan terbaik terhadap pembangkit intermiten EBT pada sistem jaringan listrik. Metode ini menggunakan bantuan software teknikal seperti *Elictrical Transient and Analysis Program* (ETAP), Digsilent dan sebagainya [11].

### 2.10.1 Studi Aliran Daya

Studi aliran daya merupakan penentuan atau perhitungan tegangan, arus nominal, daya aktif maupun daya reaktif yang terdapat pada berbagai titik jaringan listrik pada keadaan operasi normal, baik yang sedang berjalan maupun yang diharapkan akan terjadi di masa yang akan datang. Dengan studi aliran daya dapat mengetahui tegangan pada setiap bus yang ada dalam sistem, baik magnitude maupun sudut fasa tegangan, daya aktif dan daya reaktif yang mengalir dalam setiap saluran yang ada dalam system, kondisi dari semua peralatan, apakah memenuhi batas batas yang ditentukan untuk menyalurkan daya listrik yang diinginkan [22].

### 2.10.2 Studi Hubung Singkat

Studi hubung singkat merupakan perhitungan arus hubung singkat satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, fasa ke fasa dan tiga fasa yang terdapat pada titik jaringan listrik pada keadaan operasi normal, baik yang sedang berjalan maupun yang akan terjadi di masa yang akan datang. Dengan melakukan studi hubung singkat, suatu jaringan kelistrikan dapat diketahui kemungkinan yang akan terjadi apabila terjadi gangguan hubung singkat. Studi ini sangat dekat kaitannya dengan sistem proteksi dan keandalan suatu sistem jaringan kelistrikan [23].

### 2.10.3 Studi Harmonisa

Studi harmonisa merupakan perhitungan untuk mengungkapkan nilai kandungan dan gelombang harmonisa dalam keadaan sistem jaringan kelistrikan. Analisis harmonisa juga memberikan informasi mengenai kondisi harmonisa baik arus maupun tegangan di setiap lokasi untuk evaluasi regulasi kinerja sistem. Secara umum tujuan analisa aliran daya adalah

untuk memeriksa nilai kandungan harmonisa tegangan maupun arus di setiap bus serta memastikan suatu sistem berada dalam batasan untuk beroperasi [24].

Dalam menentukan batas aman dari harmonisa yang ada pada sistem jaringan listrik, digunakan rasio hubung singkat antara nilai arus hubung singkat dengan arus nominal yang mengalir dalam sistem. Sehingga nilai rasio hubung singkat dapat menjadi acuan batas aman dari harmonisa yang terjadi sesuai dengan standar IEEE 519-2014 [20].

## 2.11 Electric Transient and Analysis Program (ETAP)

*Electrical Transient Analysis Program* (ETAP) merupakan perangkat lunak yang mendukung analisa sistem tenaga listrik. ETAP dirancang untuk memudahkan dalam perhitungan dan analisa sistem tenaga listrik. Sehingga, dapat melakukan simulasi pada jaringan distribusi yang rumit serta menganalisa sistem dengan lebih mudah. ETAP memungkinkan pengguna untuk bekerja secara langsung dengan tampilan gambar *single line diagram* (diagram satu garis) berdasarkan spesifikasi komponen sesuai keadaan pada lapangan atau menggunakan spesifikasi yang ada pada *library* ETAP. Untuk standar kerja, ETAP memiliki dua standar yaitu ANSI dan IEC. Perbedaan dua standar ini terletak pada simbol komponen [25].

Berikut fitur-fitur yang terdapat pada ETAP untuk menganalisa sistem tenaga listrik, antara lain.:

1. *Load Flow Analysis*
2. *Short-Circuit Analysis*
3. *Motor Acceleration Analysis*
4. *Harmonic Analysis*
5. *Transient Stability Analysis*
6. *Star-Protective Device Coordination*
7. *DC Load Flow Analysis*
8. *DC Short-Circuit Analysis*
9. *Unbalanced Load Flow Analysis*
10. *Optimal Power Flow Analysis*
11. *Reliability Assessment*
12. *Optimal Capacitor Placement*
13. *Switching sequence manageme*





### 3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian kuantitatif dengan tujuan penelitian sebagai pengembangan (*research and development*). Penelitian kualitatif yang memiliki metode sistematis dengan cara mengupulkan data terukur menggunakan ilmu statistik, matematika dan komputasi dapat penulis gunakan karena penelitian ini akan mengukur dan menghitung besaran nilai penetrasi PLTS dan nilai kandungan harmonisa pada jaringan kelistrikan gedung laboratorium terpadu UIN Sultan Syarif Kasim-Riau. Tujuan penelitian yang bersifat pengembangan akan selaras dengan hasil akhir penelitian ini, dimana penulis akan menyimpulkan dampak dari penetrasi PLTS atap terhadap sistem jaringan kelistrikan gedung terkait nilai kandungan harmonisa dan dapat dijadikan bahan rujukan untuk pengembangan penelitian maupun pengembangan kondisi sistem jaringan kelistrikan gedung.

### 3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada gedung laboratorium terpadu UIN Sultan Syarif Kasim-Riau. Alasan pemilihan lokasi sebagai tempat penelitian yaitu :

1. Gedung laboratium terpadu disuplai oleh transformator berkapasitas 200 kVA dengan daya beban penuh gedung mencapai 197 kVA
2. Gedung laboratorium terpadu dilengkai dengan PLTS atap berkapasitas 3,5 kWp dan inverter 5 kW yang nanti akan menjadi penyuplai energi listrik pada gedung selain dari PLN sebagai penyuplai utama energi listrik.
3. Gedung laboratorium terpadu sendiri belum beroperasi secara menyeluruh namun secara bersamaan sudah dilakukan interkoneksi dengan PLTS atap, hal ini menjadi faktor utama dilakukannya analisis studi grid pada gedung untuk melihat secara menyeluruh aliran kelistrikan gedung pada saat interkoneksi dengan PLTS atap.



### 3.3

#### Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini terdiri dari beberapa langkah, sebagai berikut :

##### Identifikasi Masalah

Masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah kualitas daya jaringan listrik akibat adanya penetrasi dari pemangkit tambahan (*intermittent*) PLTS menggunakan metode analisis studi grid

##### Membuat Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah mengetahui berapa nilai kandungan armonisa yang mengalir pada sistem jaringan kelistrikan gedung laboratorium terpadu UIN Sultan Syarif Kasim-Riau dengan menggunakan metode *grid study*

##### 3. Menentukan Judul

Sebagai kerangka dasar berfikir dalam suatu penelitian untuk menggambarkan penelitian secara garis besar, maka perlu dipresentasikan kepada suatu judul. Berdasarkan permasalahan dan tujuan, maka penulis menetapkan judul “**Analisis Pengaruh Penetrasi PLTS Atap Terhadap Kandungan Harmonisa Gedung Berdasarkan Kapasitas Transformator Dengan Metode *Grid Study***”

### 3.4 Tahapan Penelitian

Penelitian diawali dengan proses studi literatur, diantaranya identifikasi masalah, menentukan masalah dan meninjau penelitian terkait dengan penelitian yang dilakukan. Kemudian observasi terkait objek penelitian, dalam proses ini penulis mengumpulkan data yang diperlukan dalam penelitian. Adapun diagram alur dari penelitian ini sebagai berikut :

UIN SUSKA RIAU

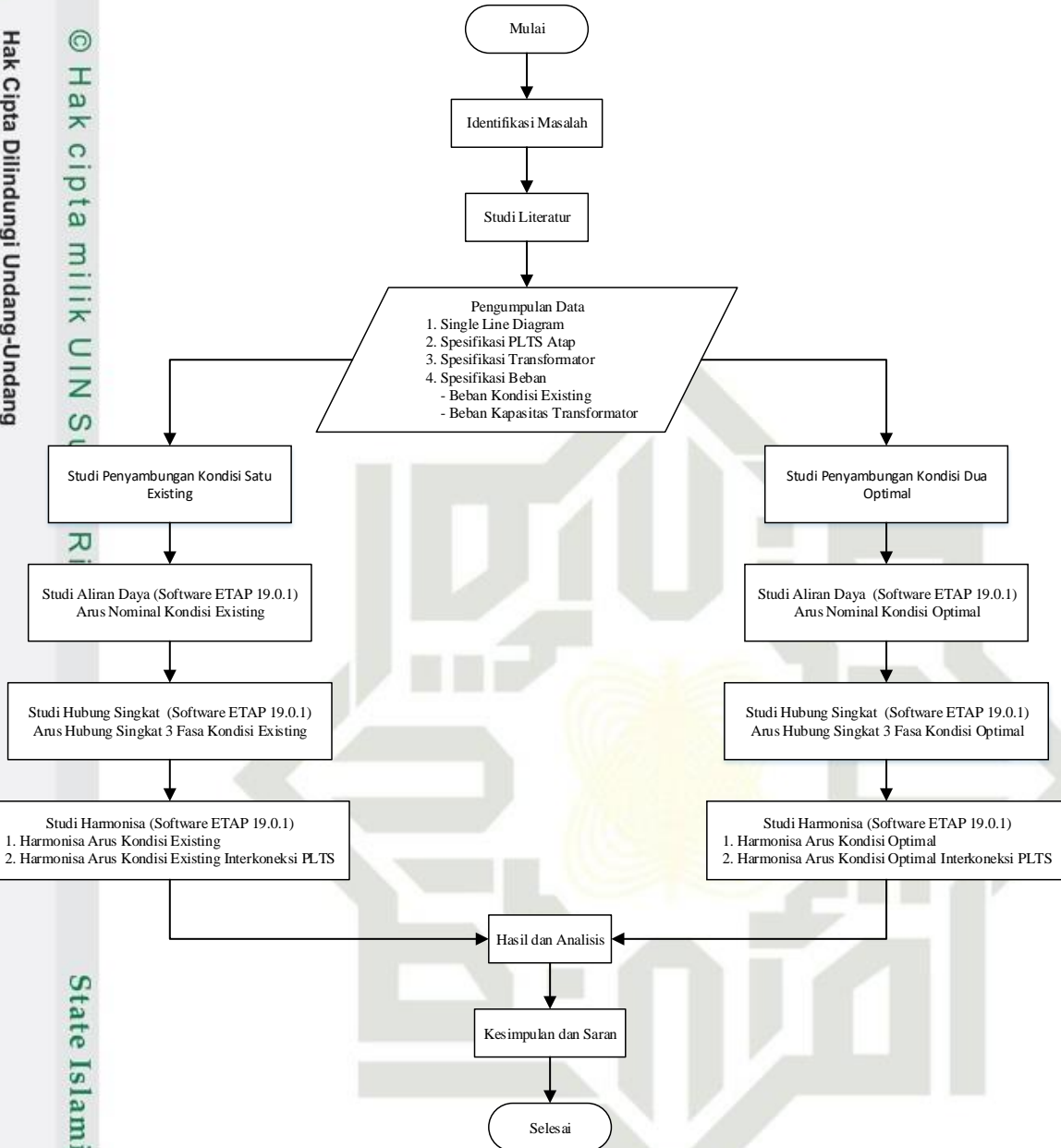
- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
    - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
    - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
  2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Diarangi mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian

### 3.5 Studi Literatur

Dalam studi literatur, penulis melakukan pengumpulan sejumlah sumber referensi terkait jurnal penelitian terdahulu dan buku. Pada jurnal terkait akan dilakukan analisa mengenai teori yang dipakai dan metode yang diterapkan. Pada buku akan diambil teori pendukung dalam penelitian.



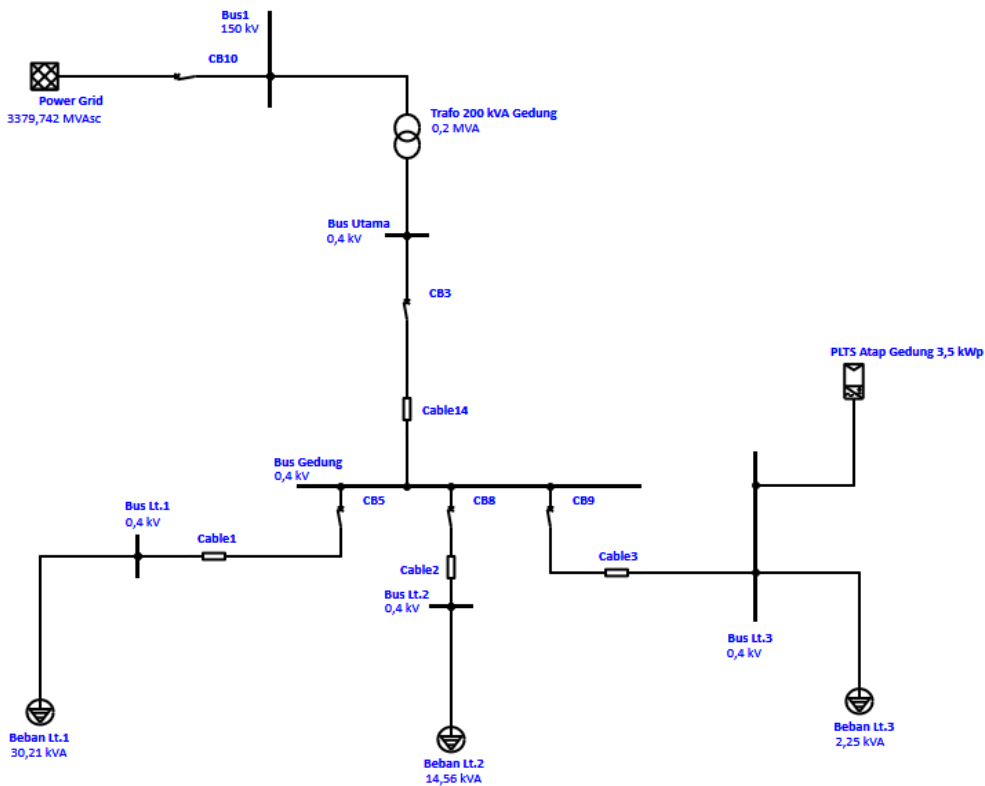


### 3.6 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder milik PLN dan data yang diperoleh dari hasil wawancara bersama teknisi UIN Sultan Syarif Kasim serta vendor PLTS atap, selain itu dilakukan juga pengamatan secara langsung serta pengukuran menggunakan *Lutron Power & Harmonic Analyzer*. Adapun data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah *single line diagram* kelistrikan gedung laboratorium terpadu UIN Sultan Syarif Kasim-Riau, *power grid* yang digunakan sebagai sumber utama kelistrikan gedung, spesifikasi transformator, spesifikasi PLTS atap dan spesifikasi beban gedung tersebut.

#### 1. Single Line Diagram (SLD) Gedung Laboratorium Terpadu

*Single line diagram* (SLD) adalah gambar elektrik yang menggambarkan keseluruhan serta konfigurasi jaringan listrik. Data ini diperlukan dalam membuat konfigurasi jaringan pada ETAP 19.0.1. Gedung laboratorium terpadu memulai aliran pada penyulang 20 kV kemudian masuk ke dalam transformator step down berkapasitas 200 kVA. Berikut gambar *Single Line Diagram* sistem jaringan kelistrikan gedung laboratorium terpadu UIN Sultan Syarif Kasim-Riau.



Gambar 1. Single Line Diagram Kelistrikan Gedung Laboratorium Terpadu UIN SUSKA

2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.



2. Spesifikasi Transformator

Gedung laoratorium terpadu memiliki tranforator step down 3 fasa “*mastergreen electric*” berkapasitas 200 kVA dengan frekuensi 50 Hz. Tegangan kerja primer sebesar 20 kV yang akan menghasilkan tegangan sekunder 380 V/ 220 V. Dengan data spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 3.1 Data spesifikasi Transformator *Mastergreen Electric*

Spesifikasi	Keterangan
Kapasitas	200 kVA
Tegangan Kerja	20 kV
Tegangan Output	0,4 kV
Impedansi	4

3. Spesifikasi PLTS

PLTS atap pada gedung laboratorium terpadu menggunakan modul PV dengan merk LONGi tipe LR4-72HPH-450M dengan kapasitas daya 450 W. Dengan data spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 3. 1 Data Spesifikasi Modul Photovoltaic LONGi type LR4-72HPH-450M

Spesifikasi	Keterangan
<i>Maximum Power (Pmax)</i>	450 W
<i>Tolerance of Pmax</i>	0 ~ +5 W
<i>Open Circuit Voltage (Voc)</i>	49,3 V
<i>Maximum Power Voltage (Vpm)</i>	41,5 V
<i>Short Circuit Current (Isc)</i>	11,6 A
<i>Maximum Power Current (Ipm)</i>	10,85 A
<i>Module Efficiency (%)</i>	10,87 %
<i>Maximum System (DC) Voltage</i>	1500 V
<i>Serves Fuse Rating</i>	20 A
<i>Standar Test Conditions (STC)</i>	25° C
<i>NOCT</i>	20° C
<i>Dimensions</i>	2094 x 1038 x 35 mm
<i>Weight</i>	27,5 kg

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.  
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

#### 4. Spesifikasi Beban Gedung

Data beban yang dijadikan objek penelitian ini adalah data pembebanan gedung laboratorium terpadu UIN Sultan Syarif Kasim-Riau. Data pembebanan yang diambil dikelompokkan menjadi 2 yaitu kondisi pembebanan *existing* dan kondisi pembebanan optimal kapasitas transformator yang tertera pada setiap panel. Data didapatkan melalui hasil wawancara dengan teknisi UIN Sultan Syarif Kasim serta melakukan pengukuran langsung untuk data pembebanan *existing*.

Berikut adalah data beban yang dimiliki oleh gedung laboratorium terpadu UIN Sultan Syarif Kasim-Riau :

Tabel 3. 2 Data Beban Optimal Kapasitas Transformator

No	Panel	Beban	
		Beban Nyata	Beban Semu
1	Panel Lt.1	42,98 kW	53,73 kVA
2	Panel Lt.2	43,55 kW	54,44 kVA
3	Panel Lt.3	40,55 kW	50,69 kVA

Tabel 3. 3 Data Beban *Existing* Transformator

No	Panel	Beban	
		Beban Nyata	Beban Semu
1	Panel Lt.1	24,95 kW	30,21 kVA
2	Panel Lt.2	8,76 kW	14,56 kVA
3	Panel Lt.3	0,75 kW	2,25 kVA

### 3.7 Tahap Validasi

Dalam melakukan pemodelan sistem, akan dilakukan tahapan validasi. Tahapan validasi merupakan tahapan perbandingan antara nilai simulasi ETAP 19.0.1 dengan perhitungan manual. Penulis akan mensimulasikan kondisi *existing* transformator dengan menggunakan ETAP 19.0.1 dan melakukan perhitungan manual. Nilai perbandingan yang akan diambil adalah nilai dari arus hubung singkat 3 fasa. Sehingga apabila terdapat kecocokan atau selisih yang sedikit diantara keduanya, maka software ETAP 19.0.1 bisa digunakan sebagai alat bantu dalam mensimulasikan penelitian ini dan dapat dilanjutkan pada tahapan berikutnya. Validasi akan dicantumkan pada lampiran a.





### 3.8 Studi Penyambungan

Studi Penyambungan dilakukan untuk melihat kemungkinan yang akan terjadi pada penyambungan pembangkit EBT yang bersifat intermiten pada suatu sistem jaringan kelistrikan. Sehingga penyambungan yang dilakukan dapat menjadi efisien dan tidak mengganggu sistem jaringan kelistrikan yang sudah ada. Studi Penyambungan memerlukan alat bantu berupa *software* yang bersifat teknis seperti ETAP 19.0.1.

Adapun ruang lingkup studi yang akan dilakukan dalam mencari nilai kandungan harmonisa arus dengan bantuan software ETAP 19.0.1 adalah studi aliran daya, studi hubungan singkat dan studi harmonisa.

### 3.9 Simulasi ETAP 19.0.1

Software ETAP 19.0.1 akan digunakan untuk melakukan analisis harmonisa pada sistem jaringan kelistrikan gedung yang sudah interkoneksi dengan PLTS atap. Simulasi dilakukan dalam 4 skenario, yaitu pada kondisi pembebanan transformator keadaan *existing* tanpa PLTS atap dan interkoneksi PLTS Atap serta disaat pembebanan penuh dari transformator tanpa PLTS atap dan interkoneksi PLTS atap.

#### 3.9.1 Input Data Penelitian

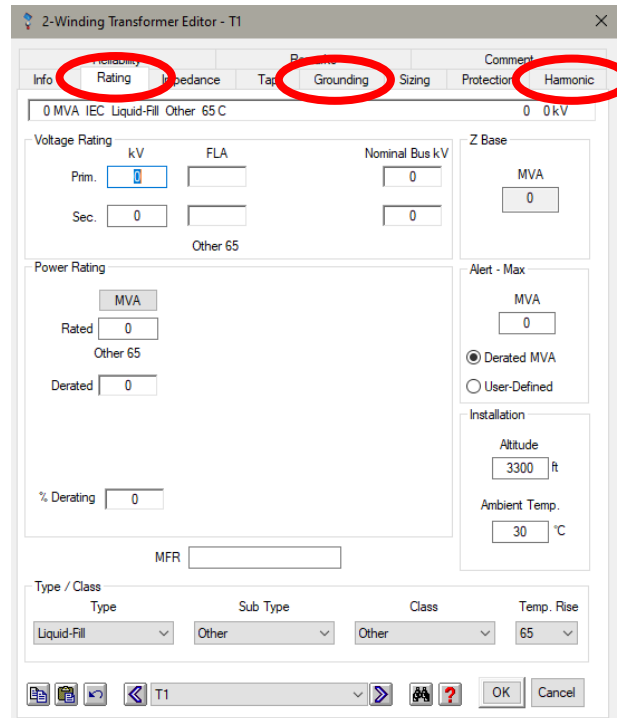
Adapun langkah selanjutnya setelah mendapatkan data penelitian yaitu menentukan parameter tersebut sebagai inputan pada *software* ETAP 19.0.1

##### 1. Input data transformator

Data yang dibutuhkan meliputi data tegangan, kapasitas, *grounding* dan *harmonic*.

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3. 2 Input Data Transformator

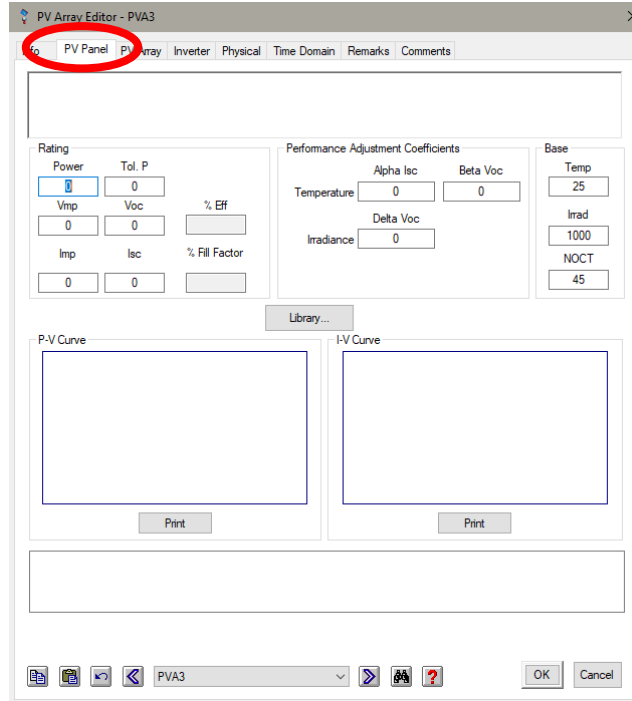
Data yang digunakan sesuai pada data yang telah didapatkan dan didasarkan pada spesifikasi terpasang. Adapun data yang digunakan adalah tegangan nominal primer/sekunder 150/20 kV, kapasitas 200 kVA, impedansi 5% dan koneksi belitan transformator.

2. *Input Data Photovoltaic (PV)*

Dalam memasukkan data PV disesuaikan dengan kapasitas daya sebesar 3,5 kWp serta bersamaan dengan data kaapsitas inverter. Penyambungan PV pada *single line diagram* ETAP 9.0.1 akan dilakukan putus dan sambung untuk memenuhi tujuan dari penelitian ini

**Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**

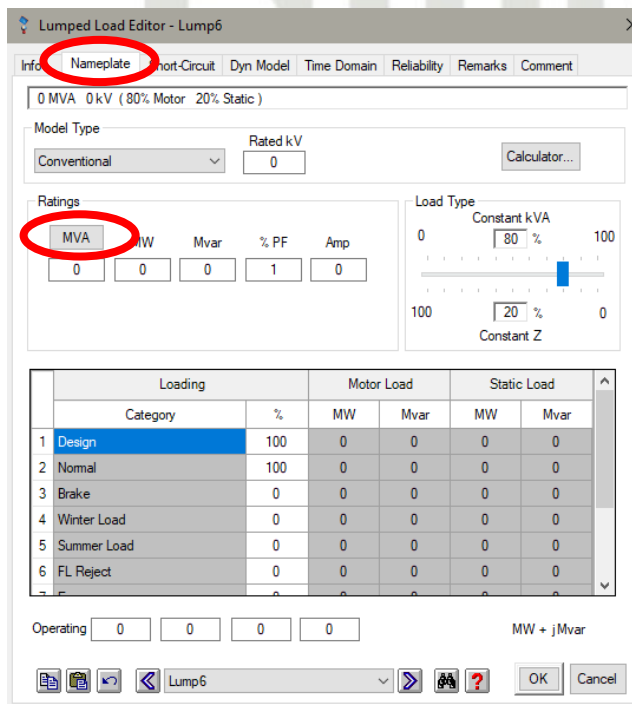
1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Diarangi mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 3. 3 *Input Data Photovoltaic*

3. *Input Data Beban*

Tahapan ini, penulis akan memasukkan data beban berupa data arus dan rating tegangan. Adapun data yang dibutuhkan adalah data arus beban, tegangan beban, daya semu beban..



Gambar 3. 4 *Input Data Beban*

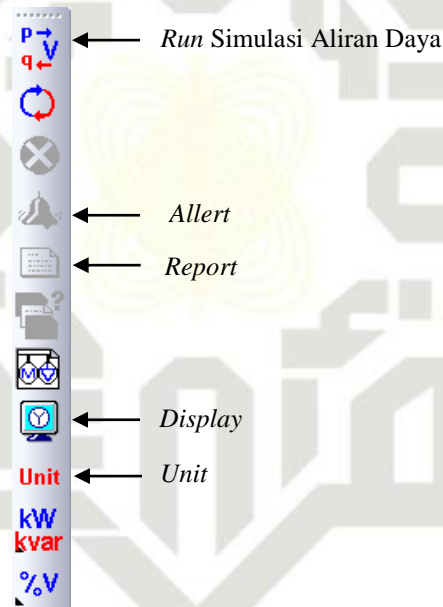


### 3.9.2 Simulasi Kondisi Satu

Pada kondisi satu, penulis akan melakukan studi penyambungan terhadap pembebanan kondisi *existing* dengan data yang tertera pada tabel 3.4 untuk melihat nilai kandungan harmonisa arus yang terjadi sebelum dan sesudah interkoneksi PLTS atap pada sistem jaringan kelitrikan gedung laboratorium terpadu UIN Sultan Syarif Kasim-Riau. Adapun rincian penelitian yang dilakukan sebagai berikut :

#### 3.9.2.1 Studi Aliran Daya

Simulasi aliran daya ini bertujuan untuk mencari arus nominal ( $I_L$ ) yang mengalir pada sistem jaringan kelistrikan gedung laboratorium terpadu. Nilai arus nominal yang akan dilihat terdiri dari setiap lantai gedung serta pada kondisi pembebanan *existing* dengan data tabel 3.4. Adapun menu pilihan dalam simulasi aliran daya sebagai berikut :



Gambar 3.5 Menu Simulasi Aliran Daya

Berikut fungsi dari menu simulasi aliran daya yang dtampilkan pada gambar 3.5 :

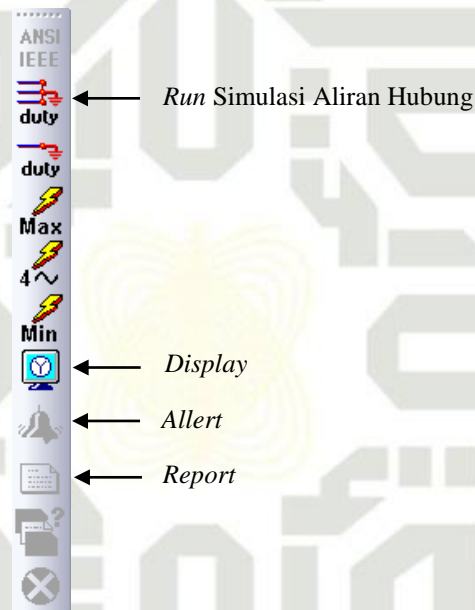
1. *Run Simulasi* aliran daya, menu untuk menjalankan simulasi aliran daya
2. *Alert*, menu untuk menampilkan komponen dengan kondisi kritis
3. *Report*, menu untuk menyimpan hasil simulasi dalam bentuk lembar kerja yang diinginkan (Word, PDF dan lain-lain)
4. *Display*, menu untuk mengatur keterangan pilihan yang ingin ditampilkan
5. *Unit*, menu untuk menampilkan satuan unit

Setelah *input* data pada *single line diagram*, langkah berikutnya menjalankan simulasi aliran daya. Hasil Arus nominal dapat disimpan melalui menu *report*, dan nilai

tersebut akan digunakan untuk mencari rasio hubung singkat ( $SC_{ratio}$ ) sebagai perbandingan dengan arus hubung singkat ( $I_{SC}$ ).

### 3.2.2 Studi Hubung Singkat

Simulasi hubung singkat bertujuan untuk mencari arus hubung singkat ( $I_{SC}$ ) 3 fasa yang mungkin terjadi pada sistem jaringan kelistrikan gedung laboratorium terpadu. Nilai arus hubung singkat yang akan dilihat terdiri dari setiap lantai gedung serta pada kondisi pembebanan *existing* dengan data tabel 3.4. Adapun menu pilian dalam simulasi hubung singkat sebagai berikut :



Gambar 3.6 Menu Simulasi Hubung Singkat

Berikut fungsi dari menu simulasi aliran daya yang dtampilkan pada gambar 3.6 :

1. *Run Simulasi* aliran hubung singkat, menu untuk menjalankan simulasi aliran hubung singkat
2. *Display*, menu untuk mengatur keterangan pilihan yang ingin ditampilkan
3. *Allert*, menu untuk menampilkan komponen dengan kondisi kritis
4. *Report*, menu untuk menyimpan hasil simulasi dalam bentuk lembar kerja yang diinginkan (Word, PDF dan lain-lain)

Setelah menjalankan simulasi aliran daya dan mendapatkan nilai arus nominal yang mengalir, langkah yang kedua yaitu menjalankan simulasi hubung singkat untuk mencari nilai arus hubung singkat.. Hasil Arus hubung singkat dapat disimpan melalui menu *report*, dan nilai tersebut akan digunakan untuk mencari rasio hubung singkat ( $SC_{ratio}$ ) bersamaan dengan nilai arus nominal ( $I_L$ ) yang sudah didapatkan.

### 3.9.2.3 Studi Harmonisa

Studi harmonisa akan mensimulasikan aliran harmonisa pada sistem kelistrikan dengan kondisi pembebanan *existing* sebelum dan sesudah akibat adanya interkoneksi dari PLTS atap.

Sebelum melakukan studi harmonisa atau simulasi aliran harmonisa, maka dilakukan perhitungan rasio hubung singkat ( $SC_{ratio}$ ). Rasio hubung singkat ( $SC_{ratio}$ ) merupakan perbandingan antara  $I_{SC}$  dengan  $I_L$ , peritungan dilakukan mengikuti persamaan 2.10. Nilai  $SC_{ratio}$  digunakan sebagai acuan dalam menentukan batasan harmonisa arus yang sudah ditetapkan pada standar IEEE 519-2014 sesuai tabel 2.1.

Setelah melakukan *input* data beban sesuai pada tabel 3.4, transformator dan *photovoltaic* maka selanjutnya dilakukan simulasi harmonisa pada skenario pertama ini untuk melihat nilai kandungan harmonisa arus yang terjadi sebelum dan sesudah interkoneksi PLTS atap. Adapun menu pilihan pada simulasi harmonisa adalah :



Gambar 3. 5 Menu Simulasi Harmonisa

Berikut fungsi dari menu simulasi aliran daya yang dtampilkan pada gambar 3.5 :

1. Aliran Harmonisa, menu untuk menjalankan simulasi aliran harmonisa
2. Frekuensi Harmonisa, menu untuk menjalankan simulasi frekuensi harmonisa
3. *Display*, menu untuk mengatur pilihan yang ingin ditampilkan
4. *Alert*, menu untuk menampilkan komponen yang mengalami gangguan harmonisa
5. *Report*, menu untuk menyimpan hasil simulasi dalam bentuk kerja yang diinginkan

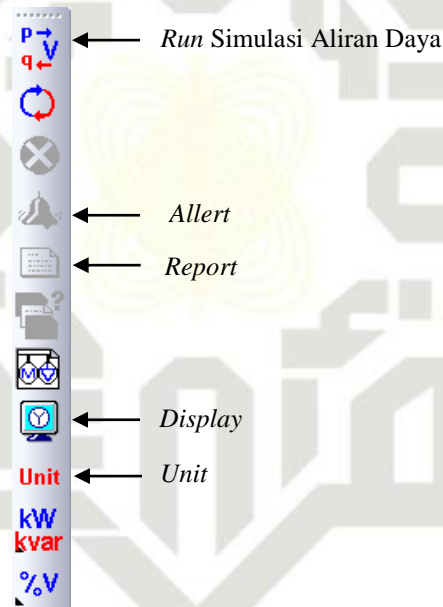


### 3.9.3 Simulasi Kondisi Dua

Pada kondisi dua ini, penulis akan melakukan studi penyambungan terhadap pembebanan kondisi optimal transformator dengan data yang tertera pada tabel 3.3 untuk melihat nilai kandungan harmonisa arus yang terjadi sebelum dan sesudah interkoneksi PPTTS atap pada sistem jaringan kelitrikan gedung laboratorium terpadu UIN Sultan Syarif Kasim Riau. adapun rincian penelitian yang dilakukan sebagai berikut :

#### 3.9.3.1 Studi Aliran Daya

Simulasi aliran daya ini bertujuan untuk mencari arus nominal ( $I_L$ ) yang mengalir pada sistem jaringan kelistrikan gedung laboratorium terpadu. Nilai arus nominal yang akan dilihat terdiri dari setiap lantai gedung pada pembebanan kondisi optimal transformator dengan data tabel 3.3. Adapun menu pilihan dalam simulasi aliran daya sebagai berikut :



Gambar 3.5 Menu Simulasi Aliran Daya

Berikut fungsi dari menu simulasi aliran daya yang dtampilkan pada gambar 3.5 :

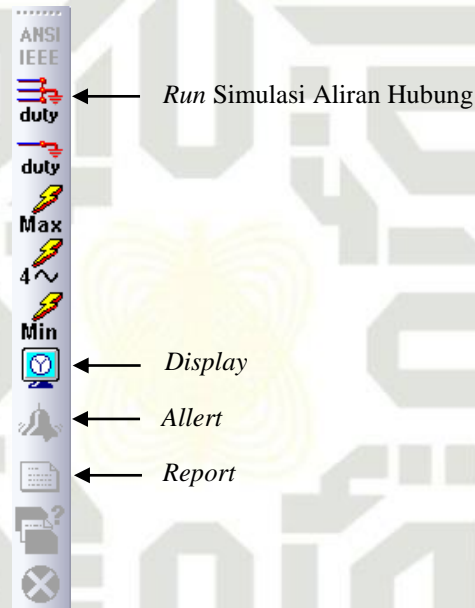
1. *Run Simulasi* aliran daya, menu untuk menjalankan simulasi aliran daya
2. *Alert*, menu untuk menampilkan komponen dengan kondisi kritis
3. *Report*, menu untuk menyimpan hasil simulasi dalam bentuk lembar kerja yang diinginkan (Word, PDF dan lain-lain)
4. *Display*, menu untuk mengatur keterangan pilihan yang ingin ditampilkan
5. *Unit*, menu untuk menampilkan satuan unit

Setelah *input* data pada *single line diagram*, langkah berikutnya menjalankan simulasi aliran daya. Hasil Arus nominal dapat disimpan melalui menu *report*, dan nilai

tersebut akan digunakan untuk mencari rasio hubung singkat ( $SC_{ratio}$ ) sebagai perbandingan dengan arus hubung singkat ( $I_{SC}$ ).

### 3.3.2 Studi Hubung Singkat

Simulasi hubung singkat bertujuan untuk mencari arus hubung singkat ( $I_{SC}$ ) 3 fasa yang mungkin terjadi pada sistem jaringan kelistrikan gedung laboratorium terpadu. Nilai arus hubung singkat yang akan dilihat terdiri dari setiap lantai gedung pada pembebanan kondisi optimal transformator dengan data tabel 3.3. Adapun menu pilihan dalam simulasi hubung singkat sebagai berikut :



Gambar 3.6 Menu Simulasi Hubung Singkat

Berikut fungsi dari menu simulasi aliran daya yang dtampilkan pada gambar 3.6 :

1. *Run* Simulasi aliran hubung singkat, menu untuk menjalankan simulasi aliran hubung singkat
2. *Display*, menu untuk mengatur keterangan pilihan yang ingin ditampilkan
3. *Allert*, menu untuk menampilkan komponen dengan kondisi kritis
4. *Report*, menu untuk menyimpan hasil simulasi dalam bentuk lembar kerja yang diinginkan (Word, PDF dan lain-lain)

Setelah menjalankan simulasi aliran daya dan mendapatkan nilai arus nominal yang mengalir, langkah yang kedua yaitu menjalankan simulasi hubung singkat untuk mencari nilai arus hubung singkat.. Hasil Arus hubung singkat dapat disimpan melalui menu *report*, dan nilai tersebut akan digunakan untuk mencari rasio hubung singkat ( $SC_{ratio}$ ) bersamaan dengan nilai arus nominal ( $I_L$ ) yang sudah didapatkan.

### 3.9.3.3 Studi Harmonisa

Studi harmonisa akan mensimulasikan aliran harmonisa pada sistem kelistrikan gedung dengan kondisi pembebanan *existing* sebelum dan sesudah akibat adanya interkoneksi dari PLTS atap.

Sebelum melakukan studi harmonisa atau simulasi aliran harmonisa, maka dilakukan perhitungan rasio hubung singkat ( $SC_{ratio}$ ). Rasio hubung singkat ( $SC_{ratio}$ ) merupakan perbandingan antara  $I_{SC}$  dengan  $I_L$ , peritungan dilakukan mengikuti persamaan 2.10. Nilai  $SC_{ratio}$  digunakan sebagai acuan dalam menentukan batasan harmonisa arus yang sudah ditetapkan pada standar IEEE 519-2014 sesuai tabel 2.1.

Setelah melakukan *input* data beban sesuai pada tabel 3.3, transformator dan *photovoltaic* maka selanjutnya dilakukan simulasi harmonisa pada skenario pertama ini untuk melihat nilai kandungan harmonisa arus yang terjadi sebelum dan sesudah interkoneksi PLTS atap. Adapun menu pilihan pada simulasi harmonisa adalah :



Gambar 3. 6 Menu Simulasi Harmonisa

Berikut fungsi dari menu simulasi aliran daya yang dtampilkan pada gambar 3.5 :

1. Aliran Harmonisa, menu untuk menjalankan simulasi aliran harmonisa
2. Frekuensi Harmonisa, menu untuk menjalankan simulasi frekuensi harmonisa
3. *Display*, menu untuk mengatur pilihan yang ingin ditampilkan
4. *Alert*, menu untuk menampilkan komponen yang mengalami gangguan harmonisa
5. *Report*, menu untuk menyimpan hasil simulasi dalam bentuk kerja yang diinginkan





### 3.10 Hasil dan Analisa

Hasil merupakan output data yang didapatkan dari proses simulasi dalam penelitian ini sejalan dengan tujuan yang sudah ditentukan. Analisis adalah bagaimana cara penulis mendeskripsikan hasil dari simulasi untuk disajikan dan mudah dipahami.

Hasil yang didapatkan pada skenario satu merupakan data nilai harmonisa arus pada saat kondisi *existing* transformator dengan interkoneksi PLTS atap dan tanpa adanya interkoneksi PLTS atap. Hasil yang ditampilkan sesaat melakukan simulasi akan dianalisis, analisis yang dilakukan berupa analisis harmonisa yang terjadi pada gedung laboratorium terpadu, dengan tujuan untuk mengetahui nilai harmonisa arus yang terkandung pada sistem kelistrikan gedung akibat dari interkoneksi dengan PLTS atap. Apakah dengan adanya daya penetrasi dari PLTS atap dapat menimbulkan harmonisa di dalam sistem jaringan kelistrikan gedung laboratorium terpadu UIN Sultan Syarif Kasim-Riau.

Hasil yang didapatkan pada skenario dua merupakan data nilai harmonisa arus pada saat kondisi pembebanan kapasitas transformator dengan interkoneksi PLTS atap dan tanpa adanya interkoneksi PLTS atap. Hasil yang ditampilkan sesaat melakukan simulasi akan dianalisis, analisis yang dilakukan berupa analisis harmonisa yang terjadi pada gedung laboratorium terpadu, dengan tujuan untuk mengetahui nilai harmonisa arus yang terkandung pada sistem kelistrikan gedung akibat dari interkoneksi dengan PLTS atap. Apakah dengan adanya daya penetrasi dari PLTS atap dapat menimbulkan harmonisa di dalam sistem jaringan kelistrikan gedung laboratorium terpadu UIN Sultan Syarif Kasim-Riau.

### 3.11 Kesimpulan dan Saran

Setelah melakukan analisa dan mendapatkan hasil dari proses simulasi, penulis akan memberikan rangkuman secara keseluruhan proses penelitian berdasarkan dengan tujuan yang telah ditentukan. Penulis juga akan memberikan saran yang berbasis berupa usulan dan masukan yang bersifat membangun untuk dijadikan dasar pengembangan penelitian selanjutnya.

#### Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



## Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

## BAB V PENUTUP

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian Pengaruh Penetrasi PLTS Atap terhadap Sistem Jaringan Kelistrikan Gedung Laboratorium Terpadu UIN Sultan Syarif Kasim-Riau, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada simulasi harmonisa kondisi *existing*, nilai kandungan harmonisa arus masih dalam batas aman sesuai standar IEEE 519-2014. Memiliki nilai orde ke-5, ke-7, ke-11 dan ke-13 yang tinggi dengan berada pada nilai 1,5%. Walau nilai orde harmonisa tersebut dikatakan tinggi, namun total dari nilai kandungan harmonisa arus dalam batas aman.
2. Pada simulasi harmonisa kondisi *existing* interkoneksi PLTS atap, nilai kandungan harmonisa arus masih dalam batas aman sesuai standar IEEE 519-2014. Tetapi dengan adanya interkoneksi PLTS atap pada sistem jaringan kelistrikan di lantai 3 gedung, membuat nilai kandungan harmonisa mengalami kenaikan sebesar 2,2%. Dimana nilai orde ke-5, ke-7, ke-11, ke-13, ke-17 dan ke-19 mengalami peningkatan tinggi yang berada di atas nilai 2%
3. Pada simulasi harmonisa kondisi optimal, nilai kandungan harmonisa arus masih dalam batas aman sesuai standar IEEE 519-2014. Memiliki nilai orde ke-5 yang hanya menunjukkan nilai tertinggi dengan berada pada nilai 1,5%.
4. Pada simulasi harmonisa kondisi optimal interkoneksi PLTS atap, nilai kandungan harmonisa arus juga dalam batas aman. Untuk nilai kandungan harmonisa arus pada sistem jaringan kelistrikan lantai 3 gedung hanya mengalami kenaikan sebesar 0,2%. Dimana nilai orde ke-5, ke-7 dan ke-11 mengalami peningkatan tinggi yang berada di atas nilai 1,5%.



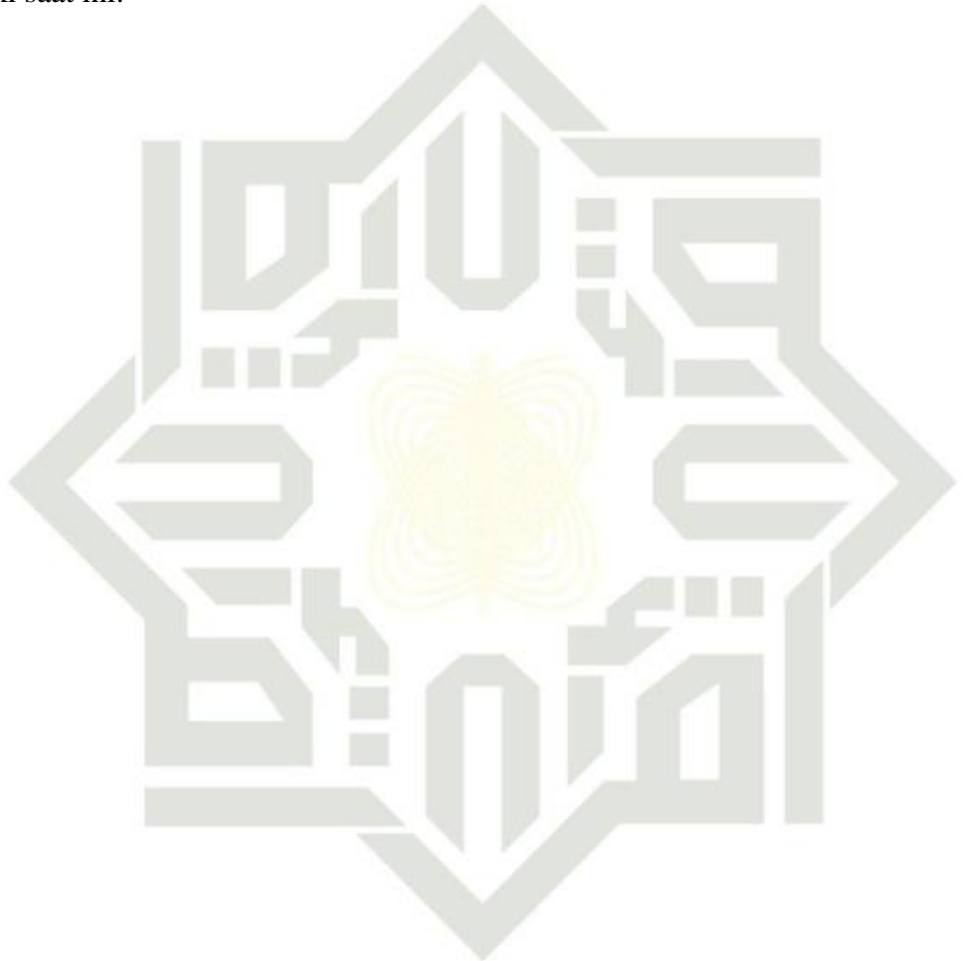
## 5.2 Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

### Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk membahas kualitas daya sistem jaringan kelistrikan gedung dari adanya interkoneksi PLTS atap seperti rugi-rugi daya hingga proteksi.

Penelitian ini dapat menjadi rujukan bagi pihak UIN Sultan Syarif Kasim-Riau apabila ingin melakukan penambahan kapasitas PLTS ataupun pembebanan yang gedung miliki saat ini.



UIN SUSKA RIAU



## DAFTAR PUSTAKA

- Presiden, *Peraturan Presiden Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional*. 2014, pp. 1–36.
- Presiden, *Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional*, vol. 4, no. 1. 2017, pp. 139–152. doi: 10.38011/jhli.v4i1.53.
- IESR, “Indonesia Energy Transition Outlook 2021,” 2021.
- UIN Sultan Syarif Kasim-Riau, “Visi dan Misi UIN Sultan Syarif Kasim-Riau,” 2021. <https://www.uin-suska.ac.id/profil/visi-dan-misi/>
- Yudhistira *et al.*, “Karakterisasi Conducted Emission Noise pada Inverter di Sistem Photovoltaic Off-Grid,” *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 10, no. 1, pp. 100–109, 2021, doi: 10.22146/jnteti.v10i1.1066.
- J. Sreedevi, N. Ashwin, and M. Naini Raju, “A Study on grid Connected PV System,” *Natl. Power Syst. Conf.*, pp. 0–5, 2016, doi: 10.1109/NPSC.2016.7858870.
- R. C. Dugan, M. F. McGraagan, S. Santoso, and H. W. Beaty, *Electrical Power Systems Quality*, 2nd ed. McGraw-Hill, 2004.
- A. W. Leonardus Heru Pratomo, Satrio Fitrianto, “Analisis Harmonisa pada off-grid Photovoltaic Solar Power System terhadap Beban non-linier,” *Pros. RITEKTRA*, pp. 1–9, 2021.
- I Gede Aries Gunawan, I Wayan Rinas, and I Wayan Arta Wijaya, “Analisis Distorsi Harmonisa Pada Penyulang Abang Karangasem Setelah Terpasangnya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS),” *SPEKTRUM*, vol. 2, no. 3, pp. 130–135, 2015.
- A. Fatoni, “Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20 kV PT.PLN Rayon Lumajang dengan Metode FMEA (Failure Modes and Effects Analysis),” *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, pp. 462–467, 2017, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.16150.
- P. L. N. Enjiniring, “Grid Study,” Indonesia.
- S. Azzahra, A. Yogiarto, and I. Hajar, “Studi Dampak Level Penetrasi Pembangkit Listrik Fotovoltaik pada Jaringan Distribusi,” *Energi & Kelistrikan*, vol. 11, no. 1, pp. 1–8, 2019, doi: 10.33322/energi.v11i1.388.
- A. Rachmi, B. Prakoso, Hanny Berchmans, I. Devi Sara, and Winne, *Panduan Perencanaan dan Pemanfaatan PLTS atap di Indonesia*. 2020.
- N. Anggoro Arso Pambudi, “Rancang Bangun Filter Harmonik Untuk Perbaikan Kualitas Daya Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya 320 WP,” vol. 3, no. August,

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dianggap mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dianggap mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



**HaScipta Didukung Undang-Undang**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

pp. 1–8, 2016.

[1] Rusdiana, D. Pravitasari, and ..., “Perencanaan PLTS Untuk Bisnis Indekos Ramah Lingkungan,” *Pros. Semin. Nas. Ris. Teknol. Terap.*, pp. 2–7, 2021.

[2] D. G. Yaya Putra Pratama, I. N. Satya Kumara, and I. N. Setiawan, “Potensi Pemanfaatan Atap Gedung Pusat Pemerintahan Kabupaten Badung Untuk Plts Rooftop,” *SPEKTRUM*, vol. 5, no. 2, p. 119, 2018, doi: 10.24843/spektrum.2018.v05.i02.p15.

[3] C. Das, *Power System Harmonics and Passive Filter Designs*, First Edit. 2015. doi: 10.1002/9781118887059.

[4] A. A. Stephen, “Assessment of Renewable Energy,” Cape Town, 2015.

[5] H. L. Willis, *Power System Analysis: Short-Circuit Load Flow and Harmonics*, vol. 22, no. 12. 2002. doi: 10.1109/mper.2002.1098043.

[6] IEEE, “IEEE Std 519-2014 (Revision of IEEE Std 519-1992),” *IEEE Std 519-2014*, vol. 2014, pp. 1–29, 2014.

[7] W. M. Grady and R. J. Gilleskie, “Harmonics and How They Relate to Power Factor,” *Proc. EPRI Power Qual. Issues Oppor. Conf.*, no. November, pp. 1–8, 1993.

[8] A. Supriadi, “Analisa Aliran Daya pada Sistem Tenaga Listrik menggunakan Software ETAP12.6.0,” *SWARA PATRA PPSDM MIGAS*, vol. 6, pp. 1–6, 2016.

[9] F. R. Syah, “Analisis Hubung Singkat pada Sistem Distribusi 20 kV PT. PERTAMINA EP Asset 4 Field Cepu Distrik Ledok Menggunakan ETAP 12.6.0,” *J. Tek. Elektro*, vol. 10, pp. 699–706, 2021.

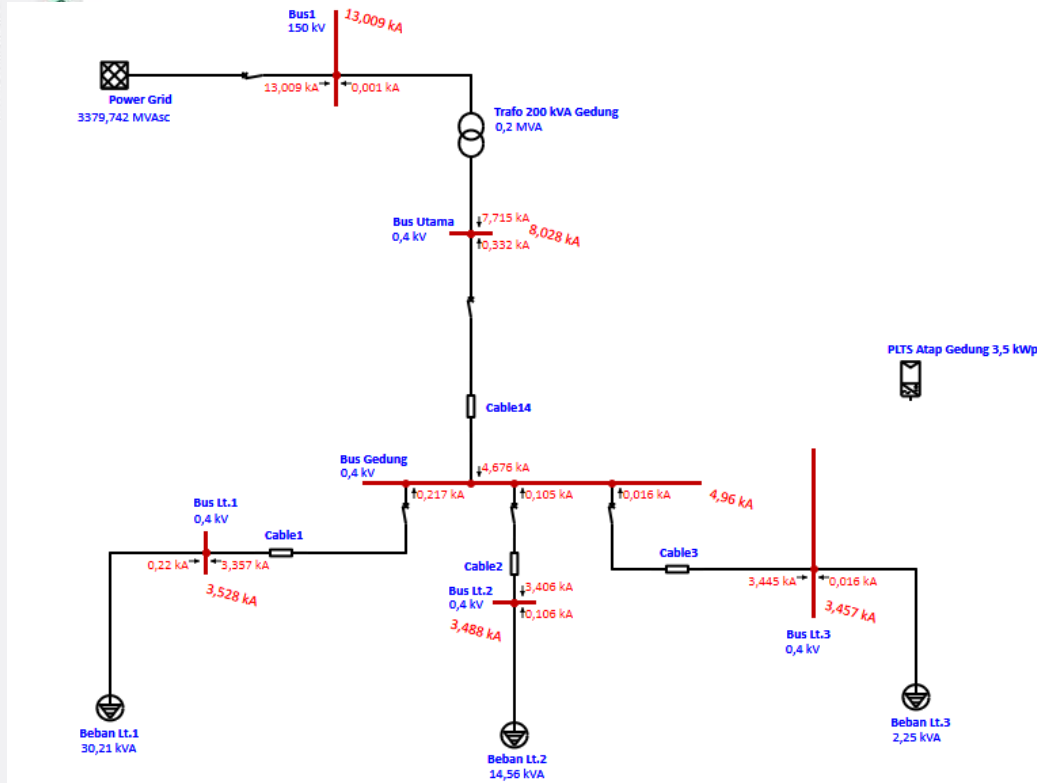
[10] K. R. Alfian, “Analisis Harmonisa pada Sistem AC-DC Hybrid Microgrid Menggunakan ETAP,” Institut Teknologi Sepuluh November, 2017.

[11] D. Pardi, “Penetrasi PV dan Ketidakseimbangan Beban Pada Feeder 1 Gardu Induk Wirobrajan,” *ELECTRICES*, vol. 3, no. 1, pp. 7–13, 2021, doi: 10.32722/ees.v3i1.3818.

## LAMPIRAN A

### SINGLE LINE DIAGRAM

SLD yang digunakan untuk validasi yaitu SLD yang digunakan juga dalam penelitian ini. Nilai simulasi validasi adalah hasil simulasi arus hubung singkat ( $I_{SC}$ ) pada saat kondisi pembebanan kapasitas optimal transformator :



Nilai arus hubung singkat yang akan penulis validasi adalah nilai yang diperlukan pada BUS 1 dan BUS Utama.

### B. Mengitung Impedansi Jaringan

1. Impedansi Sumber

$$Z_{base} = \frac{(V_{base})^2}{VA_{base}}$$

$$Z_{base} = \frac{150.000^2}{3380.000.000}$$

$$Z_{base} = 6,7 \text{ ohm}$$

2. Impedansi Transformator

$$Z_{base} = 4 \text{ ohm}$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.





**C. Hak Cipta Bimbingan dan Undang-Undang**

1. Diarangi mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Diarangi mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

**Menghitung Arus ubung Singkat**

Arus Hubung Singkat pada BUS 1

$$I_{3F} = \frac{c \times V_{L-L}}{\sqrt{3} \times Z_{base}}$$

$$I_{3F} = \frac{1 \times 150 \text{ kV}}{\sqrt{3} \times 6,7}$$

$$I_{3F} = 12,9 \text{ kA}$$

Arus ubung Singkat pada BUS Utama

$$I_{3F} = \frac{c \times V_{L-L}}{\sqrt{3} \times Z_{base} + Z_{Trafo}}$$

$$I_{3F} = \frac{1 \times 150 \text{ kV}}{\sqrt{3} \times (6,7 + 4)}$$

$$I_{3F} = \frac{150}{\sqrt{3} \times 10,7}$$

$$I_{3F} = 8,1 \text{ kA}$$

**D. Perbandingan Hasil Hitung Manual dengan Hasil Simulasi**

BUS	ARUS HUBUNG SINGKAT	
	Hitung Manual	Simulasi
1	12,9 kA	13,0 kA
Utama	8,1 kA	8,0 kA



LAMPIRAN B

**Perhitungan Rasio Hubung Singkat (SC<sub>ratio</sub>) Kondisi Existing**

1. Lantai 1

$$SC_{ratio} = \frac{I_{sc}}{I_L}$$

$$SC_{ratio} = \frac{3528 A}{44,1 A}$$

$$SC_{ratio} = 80 A$$

2. Lantai 2

$$SC_{ratio} = \frac{I_{sc}}{I_L}$$

$$SC_{ratio} = \frac{3488 A}{21,2 A}$$

$$SC_{ratio} = 164,5 A$$

3. Lantai 3

$$SC_{ratio} = \frac{I_{sc}}{I_L}$$

$$SC_{ratio} = \frac{3457 A}{3,3 A}$$

$$SC_{ratio} = 1047,6 A$$

**B. Perhitungan Rasio Hubung Singkat (SC<sub>ratio</sub>) Kondisi Kapasitas Optimal**

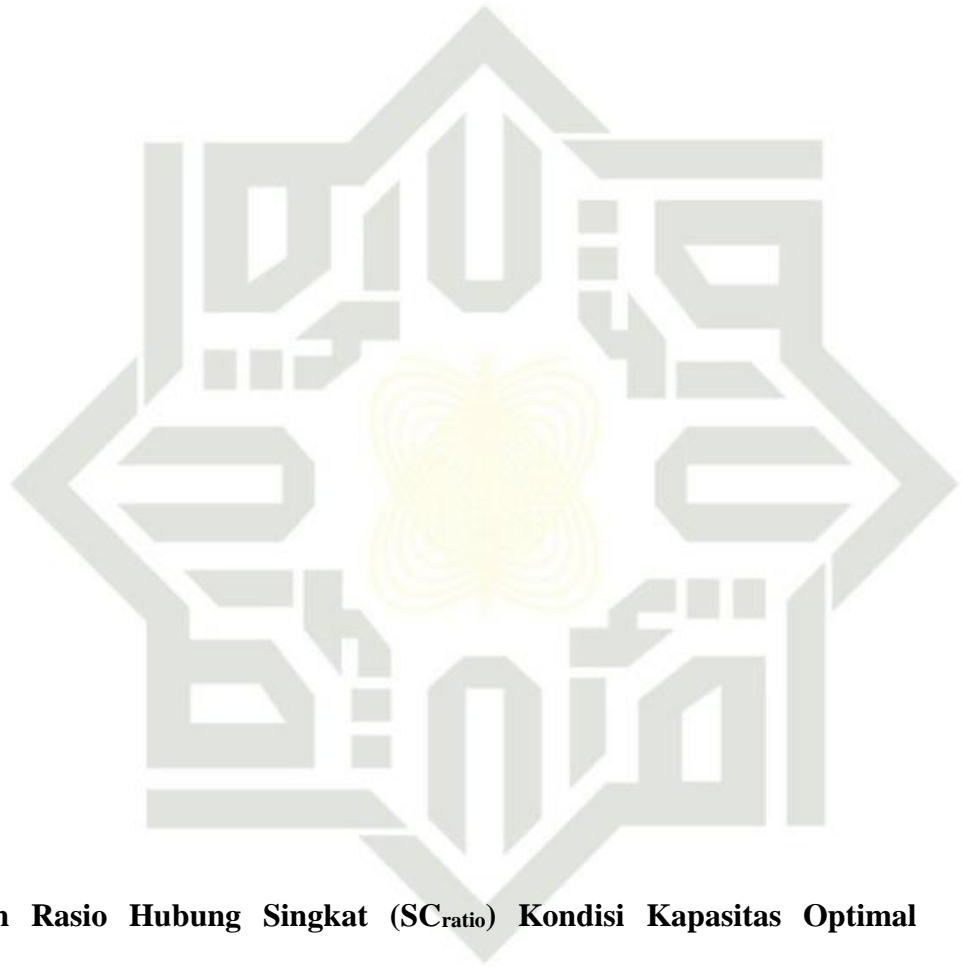
**Transformator**

1. Lantai 1

$$SC_{ratio} = \frac{I_{sc}}{I_L}$$

$$SC_{ratio} = \frac{3947 A}{80,67 A}$$

$$SC_{ratio} = 48,9 A$$



UIN SUSKA RIAU

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang  
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber.  
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.  
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

© Hak Cipta milik UIN Suska Riau  
 State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau



Lantai 2

$$\frac{I_{SC}}{I_L}$$

$$\frac{3949 A}{81,74 A}$$

$$48,3 A$$

Lantai 3

$$\frac{I_{SC}}{I_L}$$

$$\frac{3939 A}{76 A}$$

$$51,8 A$$

Hak cipta dilindungi undang-undang

State Islamic University of Sultan Syarif Kasim Riau

2.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



UIN SUSKA RIAU