

**ANALISA HARMONISA ARUS DAN TEGANGAN PADA RUANG
NOC (NETWORK OPERATIONS CENTER) UPT TIK**

(Skripsi)

Oleh

**MUHAMMAD YUSUF SYAMIL
NPM 1815031040**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

ABSTRAK

ANALISA HARMONISA ARUS DAN TEGANGAN PADA RUANG NOC (*NETWORK OPERATIONS CENTER*) UPT TIK

Oleh

MUHAMMAD YUSUF SYAMIL

Unit Pelayanan Terpadu Teknologi Informasi dan Komunikasi (UPT TIK) berfungsi untuk menjaga operasi jaringan server Universitas Lampung agar beroperasi dengan baik setiap harinya. Dalam operasionalnya UPT TIK mempunyai fasilitas ruang *Network Operations Center* (NOC) yang setiap harinya menggunakan beban non linier yang merupakan sumber harmonisa. Harmonisa adalah gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik akibat terjadinya distorsi gelombang arus dan tegangan. Tingkat harmonisa yang melebihi standar dapat menyebabkan terjadinya peningkatan panas dan rugi-rugi energi pada peralatan listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa arus dan tegangan harmonik yang terdapat pada ruang NOC apakah harmonisa yang dihasilkan melebihi batas atau dibawah batas yang diperbolehkan oleh Standar PLN D5. 004-1: 2012 dan IEEE 519-1992. Metode yang digunakan untuk menganalisa harmonisa pada ruang NOC tersebut adalah pengukuran pada panel menggunakan alat *FLUKE 435-II Power Quality and Energy Analyzer* yang bertujuan untuk mendapatkan data secara langsung pada sistem yang beroperasi di tempat tersebut. Dari data hasil analisa menunjukkan bahwa kandungan harmonisa tegangan (THD_v) pada ketiga fasa masih sesuai standar, untuk harmonisa arus (THD_i) fasa T melebihi batasan, dan pada THD_i fasa R dan fasa S berada diambang batas. Untuk mengatasi distorsi harmonisa arus (THD_i) yang tidak sesuai ketentuan dapat digunakan filter pasif. Data yang didapatkan pada penelitian ini dapat dijadikan referensi untuk dilakukannya perancangan filter pasif pada Simulink Matlab.

Kata Kunci: NOC, Harmonisa, THD, Simulink Matlab

ABSTRACT

ANALYSIS OF CURRENT AND VOLTAGE HARMONICS IN THE NETWORK OPERATIONS CENTER (NOC) ROOM OF UPT TIK

By

MUHAMMAD YUSUF SYAMIL

The Information and Communication Technology Service Unit (UPT TIK) functions to maintain the operation of the University of Lampung's server network to operate properly every day. In its operation, the UPT TIK has a Network Operations Center (NOC) facility which uses a non-linear load every day that is a source of harmonics. Harmonics are disturbances that occur in the power system due to waveform distortion of current and voltage. Harmonic levels that exceed the standard can cause increased heat and energy losses in electrical equipment. This study aims to analyze the harmonic current and voltage in the NOC room to determine whether the resulting harmonics exceed or are below the limits allowed by the PLN D5. 004-1: 2012 and IEEE 519-1992 standards. The method used to analyze harmonics in the NOC room is measurement on the panel using a FLUKE 435-II Power Quality and Energy Analyzer tool, which aims to obtain data directly from the operating system in that place. The results of the analysis data show that the voltage harmonic content (THD_v) on all three phases still conforms to the standard, while the current harmonics (THD_i) in phase T exceed the limit, and in THD_i in phases R and S are at the threshold. To overcome the non-compliant harmonic distortion of the current (THD_i), a passive filter can be used. The data obtained in this study can be used as a reference for designing a passive filter in Simulink Matlab.

Keywords: NOC, Harmonics, THD, Matlab Simulink

**ANALISA HARMONISA ARUS DAN TEGANGAN PADA RUANG
NOC (NETWORK OPERATIONS CENTER) UPT TIK**

Oleh:

MUHAMMAD YUSUF SYAMIL

Skripsi

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

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2023**

Judul Skripsi : **ANALISA HARMONISA ARUS DAN TEGANGAN PADA RUANG NOC (NETWORK OPERATIONS CENTER) UPT TIK**

Nama Mahasiswa : **Muhammad Yusuf Syamil**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1815031040**

Jurusan : **Teknik Elektro**

Fakultas : **Teknik**



Ir. Khairudin, S.T., M. Sc., Ph.D. Eng
NIP. 197007192000121001

Zulmiftah Huda, S. T., M, Eng.
NIP. 198806242019031000

2. Mengetahui

**Ketua Jurusan
Teknik Elektro**

Herlinawati, S.T., M.T
NIP. 197103141999032001

**Ketua Program Studi
Teknik Elektro**

Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T.
NIP. 197404222000122001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Ir. Khairudin, S.T., M. Sc., Ph.D.Eng

Keane
.....

Sekretaris : Zulmiftah Huda, S. T., M, Eng.

Zul
.....

Penguji : Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T.

Nining Purwasih
.....

2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.

NIP. 197509282001121002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 10 Maret 2023

SURAT PERNYATAAN

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

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

Bandar Lampung, 30 Maret 2023



Muhammad Yusuf Syamil
NPM 1815031040

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Tangerang, 21 Mei 2000. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Dedi Suyatna dan Ibu Kusiyah.

Penulis memiliki riwayat pendidikan antara lain : SD Negeri 2 Natar dari tahun 2006 hingga 2012, SMP Negeri 1 Natar dari tahun 2012 hingga 2015 dan SMA Negeri 1 Natar pada tahun 2015 hingga 2018.

Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung pada tahun 2018 melalui jalur SBMPTN Barat (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri). Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif berorganisasi pada Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO) Universitas Lampung sebagai Anggota Departemen PPD divisi Minat dan bakat pada Periode 2019-2020. Kemudian pada tahun 2020 – 2022, penulis berkesempatan menjadi asisten di Laboratorium Sistem Tenaga Listrik serta menjadi asisten Mata Kuliah Menggambar Teknik dan Praktikum Analisa Sistem Tenaga. Selain proses perkuliahan, penulis juga pernah melaksanakan kerja praktik di PT. PLN (PERSERO) Unit Pelaksana Pembangkitan Sektor Sebalang dengan mengangkat judul “Analisis Pengaruh Daya Aktual Turbin Terhadap Efisiensi Generator Unit 1 PLTU 2 x 100 MW PT. PLN (Persero) UPK Sebalang” dan penulis juga pernah melakukan kerja sama kontrak kerja dengan PLN UP3 Metro selama 2 bulan. Selain hal tersebut, penulis juga pernah mengerjakan pekerjaan “Re-Drawing MEP Gedung Pasca Sarjana Unila” dan Perbaikan Jaringan PLTMH Talang Dikun. Penulis juga pernah mengikuti MSIB di *Orbit Future Academy* mengambil studi *Artificial Intelligence* selama 6 bulan.

PERSEMBAHAN



Alhamdulillahirabbil'alamin, Puji Syukur kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala, Tuhan Yang Maha Esa dan Maha Besar atas segala rahmat dan hidayah-Nya serta Solawat kepada Nabi Muhammad Shallallahu Alaihi Wa Sallam yang selalu menjadi suri tauladan bagi kehidupan

KUPERSEMBAHKAN DENGAN TULUS KARYA INI TERUNTUK:

"Ibunda Kusiayah dan Ayahanda Dedi Suyatna sebagai wujud cinta, kasih sayang, dan bakti atas segala yang telah diberikan. Juga tidak lupa kepada Kak Alam, dan Adik Anas atas do'a dan motivasi yang selalu diberikan"

"Dosen Pembimbing dan Penguji serta Civitas Akademik Jurusan Teknik Elektro, terimakasih telah memberikan bimbingan, arahan, saran, dan ilmu yang sangat banyak selama perkuliahan serta pengerjaan skripsi ini"

"Tak lupa kepada teman-teman ELTICS 2018, terimakasih telah menemani, membantu, dan pembelajaran kepada saya selama duduk di bangku perkuliahan."

MOTTO

*“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.
Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”
(QS. Al-Insyirah:5-6)*

*“Allah tidak membebani seseorang itu melainkan sesuai dengan
kesanggupannya”
(QS. Al-Baqarah:286)*

*“Raihlah ilmu dan untuk meraih ilmu belajarlah tenang dan sabar”
(Umar bin Khattab)*

*“Manusia yang berakhlak ialah
manusia yang suka menerima dan meminta nasihat”
(Umar bin Khatab RA)*

SANWACANA

Puji syukur penulis ucapkan Allah Subhanahu Wata'ala atas segala karunia, rahmat, dan nikmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini. Solawat serta salam tidak lupa juga penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW sebagai suri tauladan yang baik seluruh umat manusia dan senantiasa mengharapkan syafaat nya di yaumul akhir kelak.

Skripsi dengan judul “**Analisa Harmonisa Arus dan Tegangan Pada Ruang NOC (Network Operations Center) UPT**” ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Allah SWT sebagai Zat yang selalu memberikan rahmat, karunia, serta berbagai nikmat-Nya yang telah diberikan sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
2. Kedua orangtua tercinta Bapak Dedi Suyatna dan Ibu Kusiyah, terimakasih atas segala kasih sayang, perhatian, dukungan, dan doa pada tiap jalan perjuangan selama penulis menempuh jalan untuk masa depan.
3. Kakak dan adik tersayang, Alam dan Anas yang sudah memberikan masukan, dukungan, serta doa untuk penulis.
4. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M. selaku Rektor Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
6. Ibu Herlinawati, S.T., M.T Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
7. Ibu Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T. selaku Ketua Prodi Teknik Elektro Universitas Lampung dan dosen penguji yang telah memberikan masukan, kritik dan saran yang membangun kepada penulis dalam pengerjaan skripsi ini.

8. Bapak Ir. Khairudin, S.T., M. Sc., Ph.D.Eng. selaku pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan rutin, motivasi, arahan dan pandangan mengenai dunia pekerjaan kepada penulis di setiap kesempatan dengan baik dan ramah.
9. Bapak Zulmiftah Huda, S. T., M, Eng. selaku pembimbing pendamping dan telah memberikan bimbingan, masukan, arahan, dan ilmu yang sangat bermanfaat kepada penulis dengan baik
10. Osea Zebua, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik (PA) yang telah memberikan nasihat, pengetahuan, arahan dan bimbingan yang membangun saat penulis menempuh perkuliahan mulai dari semester I hingga semester X.
11. Segenap Dosen dan staff di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu, wawasan dan pengalaman yang sangat bermanfaat bagi penulis ke depannya.
12. Segenap keluarga besar Laboratorium Sistem Tenaga Listrik: Pak Herri dan Pak Rachman atas kerjasamanya dan nasihatnya selama studi. Kepada Rekan Asisten STL 2018: Naftali, Natasyah, Azis, Abdul, Reihan, Iqbal, Adrian, Ucok, dan Kidan yang telah memberikan semangat, motivasi untuk berjuang dan juga memberikan kebahagiaan setiap harinya di Lab. Dan untuk kakak-kakak asisten Lab. STL 2017 dan Kak Alfandi dan Kak Yoel yang memberikan ilmu dan semangat. Untuk adik-adik asisten STL 2019 dan 2020: Fatur, Hadi, Aqil, Adam, Muchlas, Adrian, Riski, Saka, dan lainnya yang telah banyak membantu penulis.
13. Angkatan tercinta ELTICS 2018, terimakasih sudah menjadi rumah, saudara dan teman dalam segala kesusahan dan kebaikan yang sudah kalian berikan.
14. Segenap keluarga besar HIMATRO yang telah mengajarkan berorganisasi dan mengajarkan banyak hal dan juga menjadi rumah yang sangat nyaman selama kuliah. Sukses selalu Himpunan ku HIMATRO Luar Biasa.
15. Semua pihak yang terlibat dalam menyelesaikan laporan Skripsi yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.
16. *Last but not least. I wanna thank me. I wanna thank me for believing in me. I wanna thank me for doing all this hard work. I wanna thank me for having No. days off, I wanna thank me for never quitting.*

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

Bandar Lampung, 30 Maret 2023

Muhammad Yusuf Syamil

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
HALAMAN JUDUL.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN.....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vi
SURAT PERNYATAAN.....	vii
RIWAYAT HIDUP.....	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
MOTTO.....	x
SANWACANA.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.3 Rumusan Masalah	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Hipotesis	3
1.7 Sistematika Penulisan.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5

2.1	Penelitian Terkait	5
2.2	Beban Listrik	7
2.2.1	Beban Linier	7
2.2.2	Beban Non-Linier	8
2.3	Harmonisa	8
2.3.1	Harmonisa Ganjil dan Genap	9
2.4	Distorsi Harmonisa Individu (IHD)	10
2.5	Distorsi Harmonisa Total (THD)	10
2.6	Standar Harmonisa	11
III.	METODE PENELITIAN.....	14
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian	14
3.2	Alat dan Bahan	14
3.3	Metode Penelitian.....	14
3.4	Diagram Alir Penelitian.....	16
3.5	Spesifikasi Transformator Ruang NOC UPT TIK	16
3.6	Pengukuran	17
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	18
4.1	Data Hasil Pengukuran	18
4.1.1	Pengukuran hari pertama	18
4.1.2	Pengukuran hari kedua	19
4.1.3	Pengukuran hari ketiga	19
4.2	Menentukan Standar Harmonisa	20
4.2.1	Standar Harmonisa Tegangan.....	20
4.2.2	Standar Harmonisa Arus.....	20
4.3	Analisa.....	22
4.3.1	Analisa THD _v	22
4.3.2	Analisa THD _i	25
4.3.3	Analisa pengaruh arus terhadap THD _i	31
4.3.4	Analisa Orde Harmonisa	36
4.4	Perancangan filter pasif	42
V.	PENUTUP.....	46
5.1	Kesimpulan.....	46

5.2	Saran.....	46
	DAFTAR PUSTAKA	47

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2. 1 Batasan Harmonisa Arus (SPLN D5.004-1: 2012)[2]	12
Tabel 2. 2 Batasan Harmonisa Tegangan (SPLN D5.004-1: 2012)[2]	12
Tabel 2. 3 Batasan Harmonisa Arus (IEEE 519-1992)[10]	12
Tabel 2. 4 Batasan Harmonisa Tegangan (IEEE 519-1992)[10]	12
Tabel 4. 1 Hasil pengukuran tegangan, arus, frekuensi, THDv dan THDi hari pertama.....	18
Tabel 4. 2 Hasil pengukuran orde harmonisa hari pertama	18
Tabel 4. 3 Hasil pengukuran tegangan, arus, frekuensi, THDv dan THDi hari kedua	19
Tabel 4. 4 Hasil pengukuran orde harmonisa hari kedua.....	19
Tabel 4. 5 Hasil pengukuran tegangan, arus, frekuensi, THDv dan THDi hari ketiga	19
Tabel 4. 6 Hasil pengukuran orde harmonisa hari ketiga.....	20
Tabel 4. 7 Desain pasif filter harmonisa	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2. 1 Hubungan antara tegangan, arus, dan daya dalam rangkaian resistif murni[8].....	7
Gambar 2. 2 Bentuk Gelombang Tegangan dan Arus dengan Beban Non-Linier..	8
Gambar 2. 3 Harmonisa dasar, harmonisa kedua dan harmonisa ketiga	9
Gambar 2. 4 Gelombang Fundamental, Harmonisa Ketiga dan Hasil.....	9
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	16
Gambar 3. 2 Rangkaian Pengukuran.....	17
Gambar 4. 1 Grafik Data Pengukuran THD _v pada hari pertama.....	22
Gambar 4. 2 Grafik Data Pengukuran THD _v pada hari kedua	23
Gambar 4. 3 Grafik Data Pengukuran THD _v pada hari ketiga	24
Gambar 4. 4 Grafik Data Pengukuran THD _i pada hari pertama.....	25
Gambar 4. 5 Grafik Data Pengukuran THD _i pada hari kedua	27
Gambar 4. 6 Grafik Data Pengukuran THD _i pada hari ketiga.....	29
Gambar 4. 7 Ilustrasi gelombang harmonisa.....	30
Gambar 4. 8 Grafik Perbandingan antara arus dengan THD _i Fasa R hari pertama	31
Gambar 4. 9 Grafik Perbandingan antara arus dengan THD _i Fasa R hari kedua .	31
Gambar 4. 10 Grafik Perbandingan antara arus dengan THD _i Fasa R hari ketiga	32
Gambar 4. 11 Grafik Perbandingan antara arus dengan THD _i Fasa S hari pertama	32
Gambar 4. 12 Grafik Perbandingan antara arus dengan THD _i Fasa S hari kedua	33
Gambar 4. 13 Grafik Perbandingan antara arus dengan THD _i Fasa S hari ketiga	33

Gambar 4. 14 Grafik Perbandingan antara arus dengan THDi Fasa T hari pertama	34
Gambar 4. 15 Grafik Perbandingan antara arus dengan THDi Fasa T hari kedua	34
Gambar 4. 16 Grafik Perbandingan antara arus dengan THDi Fasa T hari ketiga	35
Gambar 4. 17 Diagram Orde harmonisa rata-rata fasa R pada hari pertama	36
Gambar 4. 18 Diagram Orde harmonisa rata-rata fasa S pada hari pertama.....	36
Gambar 4. 19 Diagram Orde harmonisa rata-rata fasa T pada hari pertama	37
Gambar 4. 20 Diagram Orde harmonisa rata-rata fasa R pada hari kedua	38
Gambar 4. 21 Diagram Orde harmonisa rata-rata fasa S pada hari kedua.....	38
Gambar 4. 22 Diagram Orde harmonisa rata-rata fasa T pada hari kedua.....	39
Gambar 4. 23 Diagram Orde harmonisa rata-rata fasa R pada hari ketiga	40
Gambar 4. 24 Diagram Orde harmonisa rata-rata fasa S pada hari ketiga.....	40
Gambar 4. 25 Diagram Orde harmonisa rata-rata fasa T pada hari ketiga	41
Gambar 4. 26 Bandpass Filter	42
Gambar 4. 27 Rangkaian simulasi tanpa filter	42
Gambar 4. 28 Hasil running simulasi tanpa filter	43
Gambar 4. 29 Rangkaian simulasi dengan filter	44
Gambar 4. 30 Hasil runing simulasi dengan filter	45

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan utama dalam kehidupan masyarakat baik pada sektor rumah tangga, sektor bisnis atau usaha, sektor industri, dan lain-lain. Meningkatnya pemanfaatan energi listrik dari tahun ke tahun di segala sektor mempengaruhi kemajuan teknologi terutama dalam penggunaan bahan semikonduktor atau peralatan elektronika daya, seperti printer, komputer, UPS, peralatan elektronik yang menggunakan suplai listrik dengan mengubah dari AC ke DC, lampu *fluorescent* yang merupakan jenis beban-beban non linier.

Dalam Sistem Tenaga listrik terdapat dua jenis beban listrik yaitu beban linier dan beban non linier. Beban linier adalah beban yang memberikan bentuk gelombang keluaran yang linier artinya arus yang mengalir sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan sedangkan Beban non linier adalah beban yang bentuk gelombang keluarannya tidak sebanding dengan tegangan dalam tiap setengah siklus, sehingga bentuk gelombang keluaran arus dan tegangan tidak sama dengan gelombang masukannya (mengalami distorsi/harmonisa). Beban non linier merupakan sumber utama penyebab terjadinya harmonisa.

Harmonisa adalah gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik akibat terjadinya distorsi gelombang arus dan tegangan. Harmonisa umumnya mengakibatkan meningkatnya panas dan rugi-rugi energi pada setiap bagian peralatan listrik[1]. Kadar harmonisa yang tinggi pada sistem distribusi tenaga listrik harus dihindari karena dapat menimbulkan kerugian, dimana berdasarkan standar PLN untuk batasan besarnya harmonisa tegangan dan harmonisa arus

dengan level tegangan $\leq 66\text{kV}$ adalah sebesar 5% [2].

Sebagai Unit yang memiliki tanggung jawab dalam pelayanan Teknologi Informasi dan Komunikasi, UPT TIK memberikan beberapa bentuk layanan untuk menunjang kinerja organisasi Universitas dalam menjalankan tugas dan tanggung jawabnya. Supaya layanan tersebut dapat diberikan sebaik mungkin maka UPT TIK dilengkapi dengan Ruang *Network Operations Center* (NOC) yang menggunakan peralatan listrik seperti UPS, *Air Conditioner*, Server utama untuk berbagai aplikasi komputer yang berjalan pada jaringan komputer UNILA.

Seperti yang sudah dibahas sebelumnya, UPS dan peralatannya merupakan beban nonlinier yang dapat membangkitkan distorsi harmonik yang bisa menyebabkan terganggunya kualitas daya listrik. Berdasarkan hal tersebut penelitian ini bertujuan untuk menganalisa arus harmonik dan tegangan harmonik, apakah harmonik pada sistem kelistrikan ruang NOC TIK melebihi batas standar atau dibawah batas standar yang diperbolehkan. Apabila harmonik yang ada ternyata tidak memenuhi standar, maka hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi bagaimana cara mengatasi masalah tersebut.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengukur tingkat distorsi harmonisa arus dan harmonisa tegangan pada Ruang NOC TIK.
2. Menganalisa pengaruh arus dengan THDi pada Ruang NOC TIK.
3. Menganalisa orde harmonisa dominan pada harmonisa arus (THDi).

1.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana melakukan pengukuran di Ruang NOC TIK.

2. Bagaimana mengkategorikan standar THD arus dan THD tegangan pada Ruang NOC TIK.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Waktu pengukuran dilakukan selama 3 hari.
2. Standard Harmonisa yang digunakan mengacu pada SPLN D5.004-1: 2012.
3. Tidak menggunakan data beban.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi mengenai tingkatan THD_v dan THD_i kepada Lembaga ataupun instansi.
2. Dapat menjadi referensi bagaimana melakukan pengukuran harmonisa menggunakan alat *FLUKE 435-II Power Quality and Energy Analyzer* pada konsumen tegangan rendah.
3. Dapat menjadi referensi bagi mahasiswa lainnya dalam mengembangkan penelitian ini.

1.6 Hipotesis

Adapun hipotesis pada penelitian ini adalah tingkatan distorsi harmonik pada sistem kelistrikan ruang NOC TIK berpotensi melebihi standar yang diperbolehkan sehingga diperlukannya solusi untuk mengurangi harmonik pada sistem kelistrikan tersebut.

1.7 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan latar belakang, tujuan penelitian, manfaat penelitian, perumusan masalah, batasan masalah, hipotesis, dan sistematika penulisan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini memaparkan beberapa teori pendukung dan referensi materi yang diperoleh dari berbagai sumber buku, jurnal dan penelitian ilmiah yang digunakan untuk penulisan laporan tugas akhir ini.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini memaparkan waktu dan tempat, alat dan bahan, metode penelitian dan pelaksanaan serta pengamatan dalam pengerjaan tugas akhir.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menganalisa dan menjelaskan hasil data dari pengukuran yang dilakukan di UPT TIK Universitas Lampung

BAB 5. PENUTUP

Pada bab ini menjelaskan kesimpulan dan saran yang didasarkan pada hasil data dan pembahasan.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Sehubungan dengan penelitian ini dilakukan, referensi penelitian sebelumnya sangat penting untuk menghindari adanya plagiarisme atau duplikasi penelitian sebelumnya, hal ini juga dimaksudkan sebagai bahan kontribusi penelitian agar tema penelitian ini terus berkembang. Berikut beberapa ulasan penelitian terdahulu yang telah digunakan mengenai topik yang dibahas dan hasil yang diperoleh.

Penelitian yang berkaitan penyebab dan pengaruh distorsi harmonisa pada sistem tenaga listrik terdapat pada penelitian yang berjudul "*Analysis of Causes and Effects of Harmonic Distortion in Electric Power Systems and Solutions to Comply with International Standards Regarding Power Quality*" oleh Mercedes Ruiz-Cortés, Maria Isabel Milanés-Montero, Fermín Barrero-González, dan Enrique Romero-Cadaval pada tahun 2015 di University of Extremadura. Dalam penelitian ini mengemukakan bahwasanya penyebab utama distorsi harmonisa adalah perangkat elektronika daya. Hasil pada jurnal ini didapatkan nya simulasi menggunakan MATLAB Simulink dimana dapat meredam harmonik orde ke-5 dan orde ke-7[3].

Pada penelitian mengenai kajian pemodelan beban non linier pada simulink MATLAB terdapat pada penelitian yang berjudul "Pemodelan dan Simulasi Beban Non-Linier 3-Fasa Dengan Metoda Sumber Arus Harmonik" oleh Rizka Amalia dan Refdinal Nazir dari jurusan Teknik Elektro Universitas Andalas pada Tahun 2015. Hasil dari penelitian ini didapatkan model beban nonlinear 3 fasa dengan menggunakan sumber arus yang dapat digunakan sebagai acuan Pemodelan beban non-linier apa saja dengan menggunakan data komponen arus harmonik yang

diserap nya, tanpa harus menurunkan persamaan dari rangkaian ekuivalen beban nonlinear yang ingin dihitung[4].

Pada penelitian yang berjudul “*Harmonic Measurement and Filter Design for an utility System – a case study*” yang dilakukan oleh J. Sreedevi dan kawan-kawan pada tahun 2012 dari Central Power Research Institute. Penelitian ini menyajikan hasil studi desain filter harmonik yang dilakukan untuk utilitas listrik untuk menekan harmonik dalam sistem. Pengukuran harmonik dilakukan pada gardu 132 dan 33kV sistem utilitas. Hasil pengukuran ini dianalisis untuk menemukan distorsi tegangan dan arus maksimum di antara berbagai titik pengukuran. Berdasarkan harmonik yang dominan dari filter harmonik signifikansi dirancang. Hasil pada penelitian ini adalah didapatkannya filter yang dapat mengurangi harmonik dominan pada sistem tersebut[5].

Penelitian dengan judul “Studi Pengaruh Beban Non-Linier Terhadap Keberadaan Arus Netral Di Gedung Pusat Komputer Universitas Riau” ditulis oleh Yudi Adriko Putra dan Edy Ervianto dari Universitas Riau pada tahun 2016. Melakukan penelitian tentang Pengaruh Beban Non-Linier Terhadap Keberadaan Arus Netral yang bertempat di Gedung Pusat Komputer Universitas Riau. Dimana metode yang dilakukan yaitu pengukuran langsung menggunakan alat *Power Quality Analyzer*. Hasil dari makalah ini adalah berdasarkan perhitungan digedung pusat komputer Universitas Riau, besarnya rugi-rugi yang terjadi akibat adanya arus netral maksimal sebesar 0.613329027 W, selama satu minggu pengukuran pada jam kerja[6].

Penelitian mengenai tentang pengukuran harmonisa terdapat pada penelitian dengan judul ”Analisis Pengukuran Harmonisa Tegangan dan Arus Listrik Pada PT. Eastern Pearl Flour Mills Makkasar”ditulis oleh Sofyan, Sarma Thaha, Fibrianti Ginting dari National Conference of Industry, Engineering and Technology pada tahun 2020. Penelitian ini melakukan pengambilan data harmonisa tegangan dan arus di PT. Eastern Pearl Flour Mills Makkasar dengan menggunakan alat pengukuran Nanovip Plus dan Mains Monitoring Instrument EMA 1101-DP selama

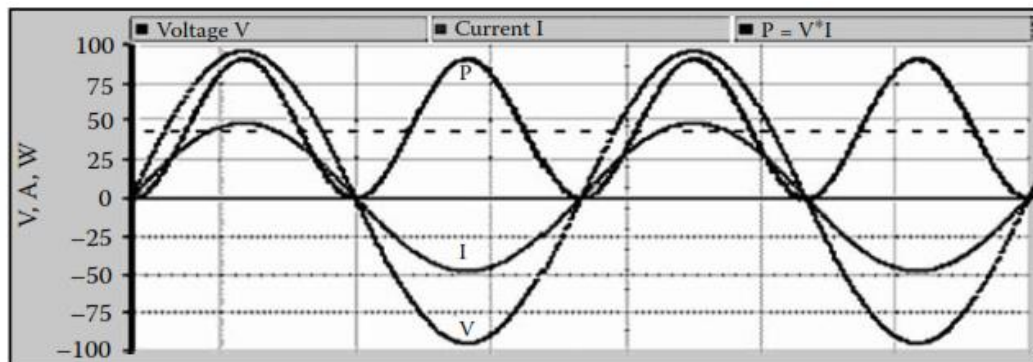
2 hari (1 hari = 1 data) yang kemudian dilakukan kesesuaian antara standar IEEE 519 Tahun 1992. Hasil pada penelitian ini untuk nilai harmonisa tegangan dan harmonisa arus masih dibawah standar[7].

2.2 Beban Listrik

Beban listrik ialah segala sesuatu yang ditanggung oleh pembangkit listrik atau suatu alat yang membutuhkan energi listrik. Beban listrik dikenal sebagai resistan atau hambatan pada suatu rangkaian listrik, yang mempunyai hubungan dengan tegangan (volt) dan arus listrik (ampere) seperti yang disebutkan pada hukum ohm. Dalam sistem tenaga listrik dikenal dua jenis beban listrik yaitu beban linier dan beban non-linier.

2.2.1 Beban Linier

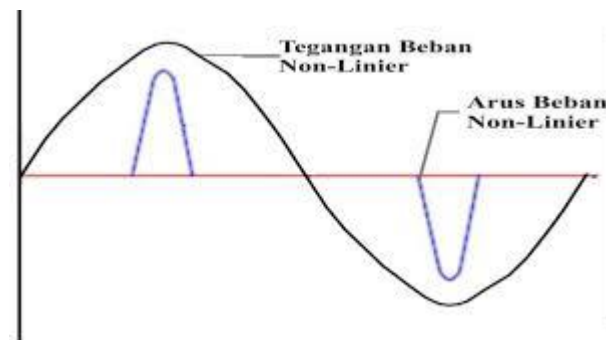
Beban linier adalah dimana keluaran gelombang tegangan dan arus yang dihasilkan sama dengan suplai nya. Beban linier sesuai pada Hukum Ohm yang mana bahwa arus akan berbanding lurus dengan tegangan. Timbulnya gelombang arus yang diperoleh beban linier akan serupa dengan bentuk gelombang tegangan. Jika diberikan tegangan dengan gelombang sinusoidal, maka arus nya yang mengalir menuju beban linier merupakan sinusoidal sehingga tidak menyebabkan terjadinya distorsi dan tidak menyebabkan muncul harmonisa. Berikut pada gambar 2.1 merupakan contoh gambar gelombang beban linier antara tegangan arus dan daya dalam rangkaian resistif.



Gambar 2. 1 Hubungan antara tegangan, arus, dan daya dalam rangkaian resistif murni[8].

2.2.2 Beban Non-Linier

Beban non linier adalah beban yang bentuk gelombang keluarannya tidak sebanding dengan tegangan dalam tiap setengah siklus, sehingga bentuk gelombang keluaran arus dan tegangan tidak sama dengan gelombang masukannya (mengalami distorsi). Gambar 2.2 dibawah ini merupakan contoh bentuk gelombang arus dengan tegangan pada beban tidak linier.

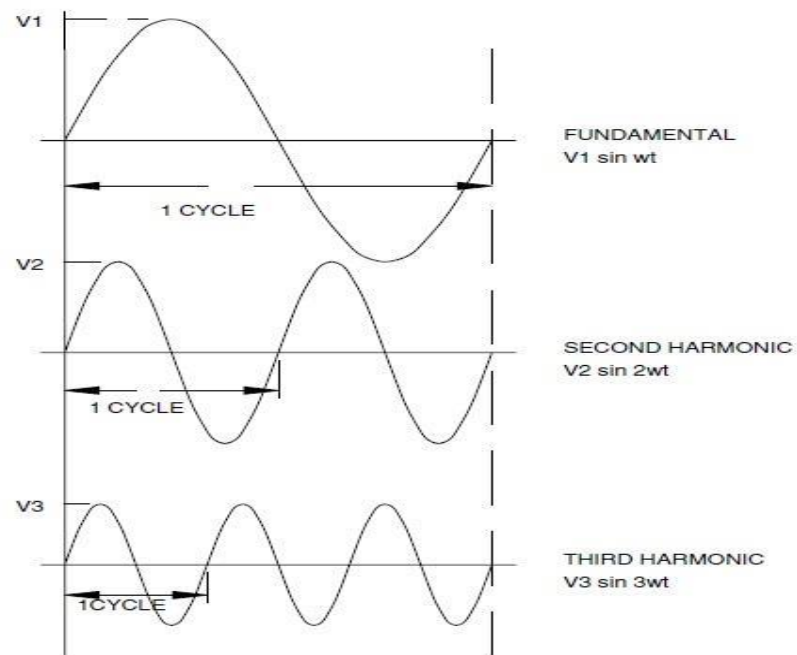


Gambar 2. 2 Bentuk Gelombang Tegangan dan Arus dengan Beban Non-Linier.

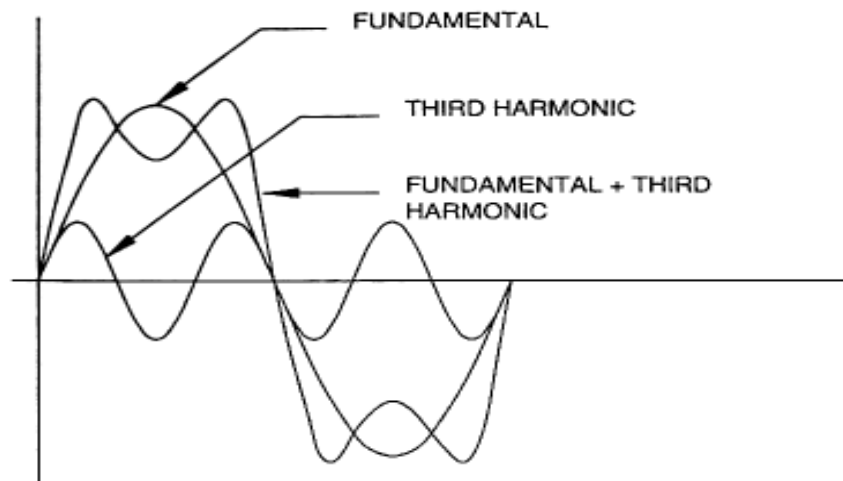
2.3 Harmonisa

Harmonisa adalah gangguan yang terjadi dalam sistem distribusi tenaga listrik yang disebabkan adanya distorsi gelombang arus dan tegangan. Distorsi gelombang arus dan tegangan ini disebabkan adanya pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi kelipatan bilangan bulat dari frekuensi fundamental nya.

Frekuensi harmonisa dasar atau harmonisa pertama yaitu sama dengan frekuensi f , harmonisa kedua yaitu memiliki frekuensi $2 \times f$, harmonisa ketiga memiliki frekuensi $3 \times f$, dan harmonisa n memiliki frekuensi $n \times f$ dapat dilihat pada Gambar 2.3 dan Gambar 2.4[9].



Gambar 2. 3 Harmonisa dasar, harmonisa kedua dan harmonisa ketiga.



Gambar 2. 4 Gelombang Fundamental, Harmonisa Ketiga dan Hasil Penjumlahannya[9].

2.3.1 Harmonisa Ganjil dan Genap

Harmonisa dilihat dari urutan orde nya, harmonisa dibedakan menjadi dua jenis

yaitu harmonisa orde ganjil dan harmonisa orde genap. Sesuai dengan namanya, yang termasuk harmonisa orde ganjil adalah harmonisa ke 3, 5, 7, 9 dan seterusnya. Sedangkan yang termasuk harmonisa genap adalah harmonisa ke 2, 4, 6, 8, dan seterusnya. Harmonisa ke 1 atau pertama tidak dikatakan sebagai harmonisa orde ganjil karena merupakan komponen frekuensi dasar dari gelombang periodik.

Kebanyakan harmonisa yang berpengaruh besar terhadap sistem tenaga listrik ialah harmonisa ber orde ganjil. Hal ini dikarenakan berdasarkan rumus bahwa harmonisa dengan orde genap akan mempunyai rms yang lebih kecil dibandingkan dengan harmonisa yang ber orde ganjil. Jumlah antara frekuensi fundamental dengan kelihatannya akan menyebabkan frekuensi fundamental tidak lagi berbentuk sinusoidal murni, melainkan mengalami distorsi.

2.4 Distorsi Harmonisa Individu (IHD)

Distorsi Harmonisa Individu (IHD) adalah rasio antara nilai rms dari harmonisa individual terhadap nilai rms dari dasar standar harmonisa yang digunakan dan nilai rms dari fundamental.

$$M_{hd} = \frac{M_h}{M_1} \times 100\%$$

dimana:

M_{hd} = Distorsi Harmonisa Arus atau Tegangan Individu (%)

M_h = Arus atau Tegangan Harmonisa

M_1 = Arus atau Tegangan Fundamental

2.5 Distorsi Harmonisa Total (THD)

THD atau *total harmonic distortion* adalah nilai persentase antara besaran harmonik berbanding dengan besaran fundamental. Dengan kata lain, THD adalah suatu cara menghitung besarnya distorsi harmonik terhadap sistem distribusi. Ada

2 jenis THD: THD_I (THD arus) dan THD_V (THD tegangan). Sesuai dengan penamaannya, THD_I merupakan nilai distorsi harmonik terhadap arus sedangkan THD_V terhadap tegangan. Secara matematika, THD dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \times 100\%$$

dimana:

THD_V = Distorsi Harmonisa Tegangan Total (%)

V_h = Nilai tegangan harmonisa (Volt)

V_1 = Nilai tegangan fundamental (Volt)

h = Urutan harmonisa

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100\%$$

dimana:

THD_I = Distorsi Harmonisa Arus Total (%)

I_h = Nilai Arus harmonisa (Ampere)

I_1 = Nilai Arus fundamental (Ampere)

h = Urutan harmonisa

2.6 Standar Harmonisa

Besarnya kandungan harmonisa yang terdapat pada sistem tenaga listrik dapat menyebabkan timbulnya berbagai masalah pada sistem tersebut. Semakin banyaknya penggunaan beban non linier maka semakin tinggi pula kandungan harmonisa yang terdapat pada sistem. Oleh karena itu, dibuat batasan harmonisa yang diizinkan dalam suatu sistem tenaga listrik, yaitu standar SPLN D5. 004-1: 2012 dan IEEE 519-1992. Ketentuan tersebut dapat dilihat pada tabel 2.1-2.4.

Tabel 2. 1 Batasan Harmonisa Arus (SPLN D5.004-1: 2012)[2]

V_n ≤ 66kV						
I _{hs} /I _L	Orde Harmonisa Individu “h” Harmonisa Ganjil (%)					THD (%)
	h<11	11= <h<17	17= <h<23	23= <h<35	35= <h	
<20	4	2	1.5	0.6	0.3	5
20-50	7	3.5	2.5	1	0.5	8
50-100	10	4.5	4	1.5	0.7	12
100-1000	12	5.5	5	2	1	15
>1000	15	7	6	2.5	1.4	20

Tabel 2. 2 Batasan Harmonisa Tegangan (SPLN D5.004-1: 2012)[2]

V_n	IHD_v (%)	THD_v (%)
V _n ≤ 66 kV	3.0	5.0
66 kV < V _n ≤ 150 kV	1.5	2.5
V _n > 150 kV	1.0	1.5

Tabel 2. 3 Batasan Harmonisa Arus (IEEE 519-1992)[10]

I _{sc} /I _L	Harmonic Orde (Odd Harmonic)					THD (%)
	<11	11= <h<17	17= <h<23	23= <h<35	35= <h	
	IHD _I (%)					
<20	4	2	1.5	0.6	0.3	5
20-50	7	3.5	2.5	1	0.5	8
50-100	10	4.5	4	1.5	0.7	12
100-1000	12	5.5	5	2	1	15
>1000	15	7	6	2.5	1.4	20

Tabel 2. 4 Batasan Harmonisa Tegangan (IEEE 519-1992)[10]

Voltage	IHD_v (%)	THD_v (%)
≤ 69 kV	3.0	5.0

Voltage	IHD_v (%)	THD_v (%)
69-161 kV	1.5	2.5
>= 161 kV	1.0	1.5

Isc adalah arus hubung singkat yang ada pada transformator, Sedangkan I_L adalah arus beban fundamental nominal atau arus beban puncak. Besarnya arus hubung singkat (Isc) dan beban fundamental nominal (I_L) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$I_{sc} = \frac{S}{kV \times \%Z \times \sqrt{3}}$$

$$I_L = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

dimana:

S = Daya transformator (KVA)

%Z = Impedansi (ohm)

kV = Tegangan kerja transformator

I_L = Arus Total

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Pengambilan data pengukuran tugas akhir ini dilakukan di Ruang NOC Gedung UPT TIK Universitas Lampung dan pembuatan tugas akhir dilakukan di Laboratorium Sistem Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung dari bulan April 2022 – Januari 2023.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Laptop Acer Aspire E5-476G-34UX dengan spesifikasi *processor* Intel Core i3-6006U dan sistem operasi Windows 10 64-bit
2. *FLUKE 435-II Power Quality and Energy Analyzer*

3.3 Metode Penelitian

Metode penelitian dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk mempelajari materi-materi yang terkait dengan topik yang dibahas dalam tugas akhir, yaitu mengenai analisa harmonisa yang

disebabkan oleh beban nonlinier, Materi tersebut didapatkan dari buku, jurnal dan referensi dari website yang dapat dipertanggung jawabkan informasinya.

2. Studi Bimbingan

Studi bimbingan ini dilakukan penulis dengan cara melakukan berdiskusi, tanya jawab dan mencari solusi bersama dosen pembimbing yang dapat berguna untuk meningkatkan wawasan lebih dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.

3. Pengukuran dan Pengambilan Data

Pada tahap ini, dilakukan pengukuran dan pengambilan data di ruang NOC Gedung UPT TIK Universitas Lampung dengan menggunakan alat *FLUKE 435-II Power Quality and Energy Analyzer*. Hasil pada tahap ini adalah didapatkan nya data berupa arus, tegangan, THD arus, THD tegangan dan urutan komponen orde harmonik.

4. Pengolahan data

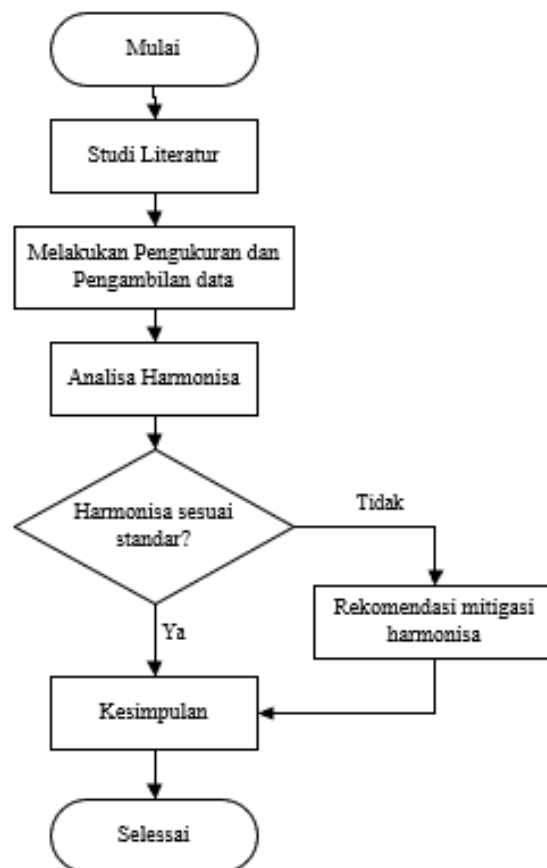
Pada tahap ini, data yang sudah didapatkan dari hasil pengukuran meliputi nilai Tegangan, Arus, THD tegangan, THD arus dan faktor daya. Kemudian data tersebut dianalisa apakah nilai harmonik tersebut memenuhi standar PLN, apabila tidak memenuhi bagaimana rekomendasi yang diberikan untuk masalah tersebut.

5. Pembuatan Laporan

Pada tahap ini, penulis menyajikan hasil penelitian dalam bentuk laporan akhir. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi penyelesaian masalah, apabila dari harmonik pada sistem kelistrikan di ruang NOC TIK tidak sesuai standar. Laporan ini digunakan sebagai bentuk tanggungjawab penulis terhadap tugas akhir yang telah dilakukan dan digunakan untuk melakukan seminar akhir.

3.4 Diagram Alir Penelitian

Penyelesaian penelitian ini terdapat beberapa tahapan, untuk mempermudah dalam melaksanakannya diperlukan diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada gambar 3.1 berikut:



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.

3.5 Spesifikasi Transformator Ruang NOC UPT TIK

Ruang NOC TIK merupakan ruang yang cukup penting yang berada UPT TIK kampus Universitas Lampung yang setiap harinya mengkonsumsi energi listrik yang memiliki kapasitas transformator distribusi sebesar 200 kVA. Spesifikasi dari

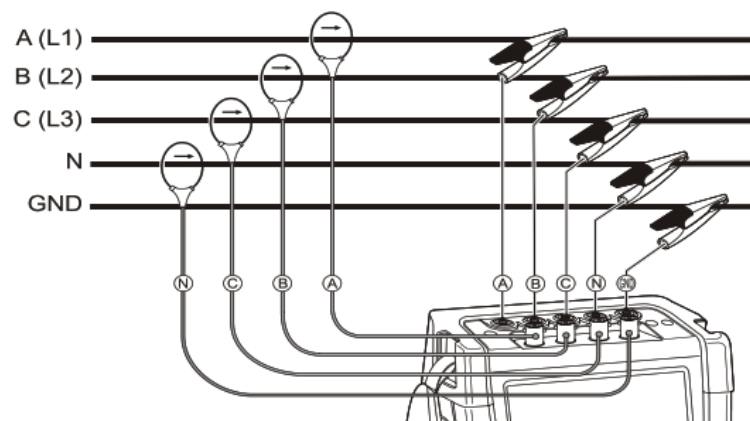
transformator distribusi tersebut dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Spesifikasi Transformator Distribusi

Spesifikasi Transformator Distribusi	
Merek	: Schneider
Kapasitas	: 200 kVA
Tegangan Primer	: 20.000 V
Tegangan Sekunder	: 400 V
Frekuensi	: 50 Hz
Impedance	: 4%

3.6 Pengukuran

Pengukuran dilakukan selama 3(tiga) hari menggunakan alat *FLUKE 435-II Power Quality and Energy Analyzer* pada Panel Distribusi yang ada di UPT TIK, gambar rangkaian pengukuran menggunakan alat tersebut dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Rangkaian Pengukuran.

Data yang diambil sebanyak 15 data/hari yaitu dari pukul 11.00-14.30 WIB dengan selisih waktu 15 menit, dimana data yang diambil adalah tegangan, arus, frekuensi, cos phi, harmonisa tegangan dan harmonisa arus di setiap fasanya.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Besar perubahan dari nilai THDi dipengaruhi oleh arus, semakin meningkat arus maka THDi akan semakin menurun begitu pula sebaliknya semakin turun arus maka THDi akan semakin meningkat. Tingkat distorsi harmonisa tegangan (THDv) pada ruang *NOC (Network Operations Center)* di Gedung UPT TIK pada fasa R, fasa S, dan fasa T masing-masing masih sesuai dengan standar yang diperbolehkan oleh regulasi SPLN. Sedangkan pada distorsi harmonisa arus (THDi) untuk fasa T melebihi batas dari regulasi SPLN, dan pada THDi fasa R dan fasa S berada diambang batas dari regulasi SPLN dimana orde harmonisa yang dominan yaitu orde ke-3 dan orde ke-5. Untuk mengatasi distorsi harmonisa arus (THDi) yang tidak sesuai ketentuan, dapat dilakukan pemasangan pasif filter pada sistem kelistrikan tersebut yaitu tipe *bandpass* filter yang didesain dengan orde harmonisa ke-3 dan ke-5.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya dapat membahas mengenai aplikasi pemasangan filter harmonik pada sistem kelistrikan tersebut agar distorsi harmonik dapat sesuai dengan standar yang diizinkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mutiar, “Analisa Pengukuran Harmonisa Yang Ditimbulkan Oleh Beban Non Linier,” vol. 5, pp. 15–22, 2013.
- [2] SPLN D5.004-1, “Power Quality (Regulasi Harmonisa, Flicker dan Ketidakseimbangan beban),” *PT PLN(Persero)*, 2012.
- [3] M. Ruiz-cortés, M. I. Milanés-montero, F. Barrero-gonzález, and E. Romero-cadaval, “Analysis of Causes and Effects of Harmonic Distortion in Electric Power Systems and Solutions to Comply with International Standards Regarding Power Quality,” pp. 357–364, 2015, doi: 10.1007/978-3-319-16766-4.
- [4] R. Amalia and R. Nazir, “Pemodelan dan Simulasi Beban Non-Linier 3-Fasa dengan Metoda Sumber Arus Harmonik,” *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 4, no. 2, p. 165, 2015, doi: 10.25077/jnte.v4n2.154.2015.
- [5] J. Sreedevi, K. S. Meera, and B. S. Manjunath, “Harmonic Measurements and Filter design for an utility system - a case study,” no. May, pp. 2–8, 2014.
- [6] Y. A. Putra and E. Ervianto, “Studi Pengaruh Beban Non Linear Terhadap Keberadaan Arus Netral Di Gedung Pusat Komputer Universitas Riau,” vol. 3, no. 2, pp. 1–8, 2016.
- [7] P. Pt, E. Pearl, and F. Mills, “Analisis Pengukuran Harmonisa Tegangan Dan Arus Listrik Pada Pt. Eastern Pearl Flour Mills Makassar,” *Pros. Semin. Nas. NCIET*, vol. 1, no. 1, pp. 500–508, 2020, doi: 10.32497/nciet.v1i1.166.
- [8] F. C. DE LA ROSA, *HARMONICS AND POWER SYSTEMS*. U.S.A, 2006.
- [9] C. Sankaran, *Power Quality*. London: CRC Press LLC, 2002.
- [10] Institute of Electrical and Electronics Engineer (IEEE) Std. 519-1992, “IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric

Power system.” IEEE-SA Standards Board, New York, 1992.