



**ANALISIS HARMONISA ARUS DAN TEGANGAN
LISTRIK DI GEDUNG BPTIK UNNES DAN E11
TEKNIK ELEKTRO**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Elektro**

Oleh

Hendi Dwi Saputro

NIM. 5301412010

**PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2019**

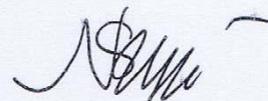
PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Hendi Dwi Saputro
NIM : 5301412010
Program Studi : Pendidikan Teknik Elektro, S1
Judul : Analisis Harmonisa Arus dan Tegangan Listrik di Gedung BPTIK
Unnes dan E11 Teknik Elektro

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Elektro, S1 Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, Agustus 2019

Pembimbing



Drs. Said Sunardiyo, M.T.

NIP. 196505121991031003

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul Analisis Harmonisa Arus dan Tegangan Listrik di Gedung BPTIK Unnes dan E11 Teknik Elektro telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 23 bulan Agustus tahun 2019.

Nama : HENDI DWI SAPUTRO
NIM : 5301412010
Program Studi : Pendidikan Teknik Elektro, S1

Panitia:

Ketua



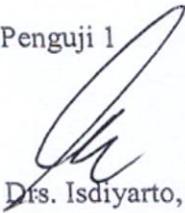
Drs. Agus Suryanto, M.T.
NIP. 196708181992031004

Sekretaris



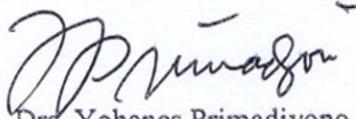
Drs. Agus Suryanto, M.T.
NIP. 196708181992031004

Penguji 1



Drs. Isdiyarto, M.Pd.
NIP. 195706051986011001

Penguji 2



Drs. Yohanes Primadiyono, M.T.
NIP. 196209021987031002

Penguji 3/Pembimbing



Drs. Said Sunardiyo, M.T.
NIP. 196505121991031003

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik UNNES



Dr. Nur Qudus, M.T., IPM.
NIP. 196911301994031001

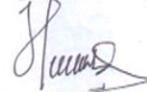
PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi/TA ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untu mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang, Agustus 2019

Yang membuat pernyataan



Hendi Dwi Saputro

NIM. 5301412010

ABSTRAK

Hendi Dwi Saputro. 2019. **ANALISIS HARMONISA ARUS DAN TEGANGAN LISTRIK DI GEDUNG BPTIK UNNES DAN E11 TEKNIK ELEKTRO**. Skripsi Pendidikan Teknik Elektro. Teknik Elektro. Fakultas Teknik. Universitas Negeri Semarang. Pembimbing: Drs. Said Sunardiyo, M.T.

Beban nonlinier adalah beban yang hubungan antara arus dan tegangannya tidak linier. Keberadaan beban nonlinier akan menimbulkan gangguan harmonisa. Tingkat harmonisa yang melewati standard dapat menyebabkan gangguan dan kerusakan pada peralatan. Gedung BPTIK Unnes dan E11 dalam keperluan sehari-hari menggunakan banyak peralatan listrik yang merupakan beban listrik nonlinier seperti AC, komputer, televisi, dan sebagainya. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui dan menganalisis nilai harmonisa arus dan tegangan yang terdapat di dalam sistem tenaga listrik di Gedung BPTIK dan E11 UNNES.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuantitatif dengan pendekatan deskriptif. Teknik pengambilan data menggunakan observasi, studi pustaka, dan pengukuran langsung di Gedung BPTIK Unnes dan E11 menggunakan alat *Power and Harmonic Analyzer Langlois 6830*. Analisis data yang digunakan adalah analisis kuantitatif.

Hasil penelitian dan analisis nilai harmonisa dengan mengambil nilai rata-rata THDv dan THDi per fasa di masing-masing gedung setiap harinya. Hasil analisis selanjutnya akan dibandingkan dengan standard yang berlaku (dalam hal ini Standard IEEE 519:1992), sebagai evaluasi terhadap kualitas daya listrik di Gedung BPTIK dan E11.

Hasil data analisis menunjukkan di Gedung BPTIK besarnya THDv adalah 1,85% dan besarnya THDi 30,65% sehingga sudah tidak sesuai dengan standard yang ditetapkan. Sedangkan di Gedung E11 besarnya THDv adalah 3,7% dan besarnya THDi 13,3% yang masih dalam batas yang diijinkan.

Kata kunci: harmonisa, arus, tegangan, *total harmonic distortion*

PRAKATA

Alhamdulillah washolatu wassalam ala Rosulillah wa'ala alihi washohbihi wama walah la haula wala quwwata ila billah amma ba'du. Puji syukur peneliti ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga peneliti dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **ANALISIS HARMONISA ARUS DAN TEGANGAN LISTRIK DI GEDUNG BPTIK UNNES DAN E11 TEKNIK ELEKTRO**. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi S1 Pendidikan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang. Shalawat serta salam saya haturkan kepada Nabi Muhammad SAW, semoga kita mendapatkan syafaat-Nya baik di dunia maupun terlebih di akhirat nanti. Aamiin.

Penyelesaian karya tulis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini peneliti menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M. Hum., selaku Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada peneliti untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang yang telah memberi izin dalam penyusunan skripsi.
3. Dr. -Ing. Dhidik Prastiyanto, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro sekaligus Kepala Program Studi Pendidikan Teknik Elektro.
4. Drs. Said Sunardiyo, M.T., selaku pembimbing yang selalu memberikan saran, masukan, bimbingan, dan motivasi selama penyusunan skripsi.

5. Drs. Isdiyarto, M.Pd., dan Drs. Yohanes Primadiyono, M.T., selaku penguji yang memberikan saran, masukan dan perbaikan terhadap skripsi ini.
6. Keluarga terutama ayah dan ibu yang selalu memberikan semangat, nasihat, serta do'a yang tiada henti selama peneliti menyelesaikan studi di Universitas Negeri Semarang.
7. Seluruh teman-teman satu perjuangan Jurusan Teknik Elektro 2012 dan semua pihak yang memberi bantuan dan dukungan dalam penyusunan skripsi ini yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang memerlukan.

Semarang, Agustus 2019

Peneliti

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Halaman Persetujuan Pembimbing	ii
Halaman Pengesahan	iii
Halaman Pernyataan Keaslian Karya Ilmiah	iv
Motto dan Persembahan.....	v
Abstrak	vi
Prakata.....	vii
Daftar Isi.....	ix
Daftar Tabel	xi
Daftar Grafik	xiii
Daftar Gambar.....	xiv
Daftar Lampiran	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Pembatasan Masalah	4
1.4 Rumusan Masalah	5
1.5 Tujuan Penelitian	5
1.6 Manfaat Penelitian	6
1.7 Sistematika Penulisan Skripsi	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA dan LANDASAN TEORI	8
2.1 Kajian Pustaka.....	8
2.2 Kualitas Daya Listrik	9
2.2.1 Jenis-Jenis Permasalahan Kualitas Daya Listrik.....	11
2.2.2 Besaran Listrik Dasar.....	12
2.3 Harmonisa	18
2.3.1 Jenis Harmonisa	21
2.3.2 Sumber Harmonisa.....	22

2.3.3 Proses Terjadinya Harmonisa	24
2.3.4 Dampak Harmonisa.....	25
2.3.5 Standarisasi Harmonisa.....	26
2.3.6 Indeks Harmonisa	28
2.3.7 Identifikasi Harmonisa.....	30
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	32
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	32
3.2 Desain Penelitian	32
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	35
3.4 Parameter Penelitian	37
3.5 Teknik Pengumpulan Data.....	37
3.6 Teknik Analisis Data.....	38
BAB IV HASIL dan PEMBAHASAN.....	40
4.1. Hasil Penelitian	40
4.1.1. Deskripsi Data	40
4.1.2. Data di Gedung BPTIK	41
4.1.3. Data di Gedung E11	43
4.2. Analisis dan Pembahasan.....	44
4.1.1. Hasil Analisis Data Lanjutan.....	45
4.1.2. Pembahasan	56
BAB V PENUTUP.....	61
5.1 Simpulan	61
5.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Polaritas Orde Harmonisa	22
Tabel 2.2 Batas Harmonisa Tegangan Sesuai Standard IEEE 519-1992.....	27
Tabel 2.3 Batas Harmonisa Arus Sesuai Standard IEEE 519-1992.....	28
Tabel 3.1 Spesifikasi Power and Harmonic Analyzer 6830	37
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran di Gedung BPTIK Hari Pertama.....	41
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran di Gedung BPTIK Hari Kedua	42
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran di Gedung E11 Hari Pertama.....	43
Tabel 4.4 Hasil Pengukuran di Gedung E11 Hari Kedua	44
Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Fasa R	45
Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Fasa S.....	46
Tabel 4.7 Hasil Pengukuran Fasa T	47
Tabel 4.8 Hasil Pengukuran Fasa R	48
Tabel 4.9 Hasil Pengukuran Fasa S.....	49
Tabel 4.10 Hasil Pengukuran Fasa T	50
Tabel 4.11 Hasil Pengukuran Fasa R	51
Tabel 4.12 Hasil Pengukuran Fasa S	52
Tabel 4.13 Hasil Pengukuran Fasa T	53
Tabel 4.14 Hasil Pengukuran Fasa R	54
Tabel 4.15 Hasil Pengukuran Fasa S	55
Tabel 4.16 Hasil Pengukuran Fasa T	56
Tabel 4.17 Nilai Rata-rata harmonisa Gedung BPTIK	57

Tabel 4.18 Nilai Rata-rata Harmonisa Gedung E11	58
Tabel 4.20 Hasil Pengukuran Arus di Gedung BPTIK	59
Tabel 4.21 Hasil Pengukuran Arus di Gedung E11	60

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Nilai THDv dan THDi fasa R.....	45
Grafik 4.2 Nilai THDv dan THDi fasa S	46
Grafik 4.3 Nilai THDv dan THDi fasa T	47
Grafik 4.4 Nilai THDv dan THDi fasa R.....	48
Grafik 4.5 Nilai THDv dan THDi fasa S	49
Grafik 4.6 Nilai THDv dan THDi fasa T	50
Grafik 4.7 Nilai THDv dan THDi fasa R.....	51
Grafik 4.8 Nilai THDv dan THDi fasa S	52
Grafik 4.9 Nilai THDv dan THDi fasa T	53
Grafik 4.10 Nilai THDv dan THDi fasa R.....	54
Grafik 4.11 Nilai THDv dan THDi fasa S	55
Grafik 4.12 Nilai THDv dan THDi fasa T	56
Grafik 4.13 Nilai Rata-rata THDv dan THDi Gedung BPTIK	57
Grafik 4.14 Nilai Rata-rata THDv dan THDi Gedung E11	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Segitiga Daya	17
Gambar 2.2 Bentuk Gelombang Tegangan dan Arus Sinus Murni	18
Gambar 2.3 Bentuk Gelombang Fundamental, Harmonisa, dan Fundamental Terdistorsi.....	20
Gambar 2.4 Gelombang Terdistorsi Akibat Penjumlahan Dari Komponen Harmonisa	23
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	34
Gambar 3.2 <i>Power and Harmonic Analyzer Langlois 6830</i>	36

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Pengukuran di Gedung BPTIK Hari Pertama	65
Lampiran 2. Hasil Pengukuran di Gedung BPTIK Hari Kedua.....	66
Lampiran 3. Hasil Pengukuran di Gedung E11 Hari Pertama	67
Lampiran 4. Hasil Pengukuran di Gedung E11 Hari Kedua.....	68
Lampiran 5. Pengukuran di LVMDP Gedung BPTIK.....	69
Lampiran 6. Pengukuran di LVMDP Gedung E11.....	70
Lampiran 7. Surat Tugas Dosen Pembimbing Skripsi	71
Lampiran 8. Surat Ijin Penelitian di Gedung BPTIK.....	72
Lampiran 9. Surat Ijin Penelitian di Gedung E11	73

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring dengan berkembangnya teknologi peralatan kelistrikan, maka semakin banyak pula peralatan berbasis elektronika daya yang digunakan oleh konsumen listrik. Komponen utama elektronika daya seperti dioda, transistor, *thyristor*, IGBT, dan mosfet merupakan komponen yang berlaku sebagai saklar/*switch* yang bekerja setiap siklus gelombang tegangan. Komponen-komponen tersebut banyak digunakan dalam peralatan seperti rangkaian penyearah/*rectifier*, *power supply*, inverter, *electronic ballast*, komputer, dan *variabel speed drive* (VSD) yang sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Peralatan elektronik tersebut merupakan beban nonlinear yang menarik gelombang arus menjadi tidak sinusoidal pada saat dicatu oleh sumber tegangan sinusoidal (IEEE Standard 519-1992).

Banyaknya aplikasi beban nonlinier pada sistem tenaga listrik telah membuat gelombang sinusoidal yang mengalir pada sistem menjadi sangat terdistorsi yang dinyatakan dengan persentase kandungan harmonisa, *Total Harmonic Distortion (THD)*. Distorsi gelombang arus dan tegangan sinusoidal dibatasi pada pendistribusian sistem tenaga listrik dari *utility* ke konsumen. Standard IEEE 519-1992, merekomendasikan spesifikasi batas distorsi yang diijinkan dalam

jaringan listrik untuk tegangan adalah maksimum 5% dan untuk arus maksimum 20% (IEEE Standard 519-1992, 1993: 111).

Umumnya gelombang sistem tenaga listrik yang terdistorsi didominasi oleh harmonisa orde ganjil frekuensi rendah, yakni harmonisa orde lima, tujuh, sebelas, dan seterusnya (Sankaran, 2002). Sebagai contoh frekuensi fundamental 50 Hz, kemudian frekuensi harmonisa ke lima 250 Hz, frekuensi harmonisa ke tujuh 350 Hz, dan seterusnya.

Tingginya kandungan harmonisa pada suatu sistem tenaga listrik dapat menimbulkan beberapa persoalan pada sistem tersebut, seperti terjadinya resonansi pada sistem yang dapat merusak kapasitor kompensasi faktor daya, membuat faktor daya menjadi lebih buruk, menimbulkan interferensi terhadap sistem telekomunikasi, meningkatkan rugi-rugi daya pada sistem, menimbulkan berbagai kerusakan pada peralatan listrik yang sensitif, yang semua hal tersebut dapat menyebabkan penggunaan energi listrik menjadi tidak efektif.

Arus harmonisa juga dapat menyebabkan *overheating* (panas lebih) pada konduktor netral sistem 3 fasa 4 kawat. Panas konduktor netral ini akibat komponen arus urutan nol (I_{a0}) pada tiap-tiap fasa mengalir menuju konduktor netral. Menurut pendapat Wagner *et al*, bahwa besar penampang konduktor netral didesain lebih kecil atau sama besar ukuran penampangnya dengan konduktor fasa sehingga penambahan panas lebih atau rugi panas (I^2R) konduktor netral melebihi batasnya.

Badan Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (BPTIK) merupakan unit pelaksana teknis di bidang pengembangan dan pengelolaan teknologi informasi dan komunikasi. BPTIK mempunyai tugas melaksanakan,

pengembangan, pengelolaan dan pemberian layanan teknologi dan komunikasi serta pengelolaan sistem informasi. Sebagai lembaga yang memiliki tanggung jawab dalam pelayanan TIK, BPTIK menyelenggarakan fungsi:

1. penyusunan rencana, program, dan anggaran UPT;
2. pelaksanaan pengembangan jaringan dan web site UNNES;
3. pelaksanaan pendataan dan pemrograman;
4. pelaksanaan pengembangan dan pengelolaan multi media;
5. pelaksanaan pemeliharaan perangkat keras dan perangkat lunak teknologi informasi dan komunikasi;
6. pemberian layanan teknologi informasi dan komunikasi kepada mahasiswa; dan
7. pelaksanaan urusan administrasi UPT.

Gedung E11 Teknik Elektro merupakan gedung yang diperuntukkan untuk kegiatan perkuliahan Jurusan Teknik Elektro UNNES. Selain untuk kegiatan belajar mengajar, gedung E11 juga menjadi pusat administrasi jurusan serta pusat jaringan komputer Fakultas Teknik UNNES. Tentu saja di gedung E11 terdapat banyak sekali komputer baik untuk kegiatan praktikum kuliah mahasiswa, untuk kegiatan administrasi, maupun sebagai server jaringan komputer.

Seperti telah dibahas sebelumnya, bahwa peralatan elektronik termasuk komputer dan perlengkapannya merupakan beban listrik nonlinier yang dapat membangkitkan distorsi harmonisa yang menyebabkan terganggunya kualitas energi listrik. Oleh karena itu, dapat diasumsikan bila gedung BPTIK UNNES dan E11 yang terdapat banyak komputer di kedua gedung tersebut, ditambah sejumlah

peralatan elektronik berbasis elektronika daya lain seperti lampu hemat energi, AC, TV, dan peralatan elektronik lainnya, berapa besar tingkat distorsi harmonisa yang dihasilkan di kedua gedung tersebut.

Berdasarkan keadaan tersebut, peneliti akan mencoba menganalisis kandungan harmonisa yang terjadi di gedung BPTIK UNNES dan E11 Teknik Elektro sebagai akibat adanya beban-beban listrik nonlinier. Apabila harmonisa tersebut tidak memenuhi standard yang sudah ditetapkan, maka hasil analisis diharapkan dapat menjelaskan akibat yang ditimbulkan oleh harmonisa dan memberikan rekomendasi mengatasi permasalahan tersebut.

1.2. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dari judul Analisis Harmonisa Arus dan Tegangan Listrik di Gedung BPTIK UNNES dan E11 Teknik Elektro adalah:

1. Beban listrik nonlinier dapat menyebabkan timbulnya harmonisa, dan kandungan harmonisa dalam jaringan listrik dapat mengakibatkan gangguan dan kerugian pada sistem.
2. Nilai harmonisa yang terkandung dalam suatu sistem jaringan listrik perlu diketahui dan dianalisis agar tidak menimbulkan kerugian.

1.3. Pembatasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan permasalahan sebagai berikut:

1. Penelitian difokuskan untuk mengetahui dan menganalisis harmonisa arus dan tegangan listrik dan parameter lain yang saling berkaitan tanpa merancang teknik untuk mengeliminasi harmonisa.
2. Sumber harmonisa tidak diklasifikasikan baik dari jenis dan spesifikasi dari alat yang menjadi beban.
3. Waktu pengukuran dilakukan selama 2 hari berturut-turut untuk masing-masing gedung.
4. Harmonisa yang dianalisis adalah nilai yang diambil pada saat pengukuran dan tidak bersifat kontinyu.
5. Standard harmonisa yang digunakan mengacu pada IEEE 519-1992.

1.4. Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah ditentukan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Apakah nilai harmonisa arus dan tegangan listrik yang terdapat pada sistem jaringan listrik Gedung BPTIK UNNES dan E11 Teknik Elektro memenuhi standard yang berlaku?

1.5. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, dapat diketahui tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui nilai harmonisa arus dan tegangan listrik di Gedung BPTIK UNNES dan E11 Teknik Elektro sesuai standard yang berlaku.

2. Menganalisis nilai harmonisa arus dan tegangan listrik di Gedung BPTIK UNNES dan E11 Teknik Elektro.

1.6. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat berikut:

1. Hasil penelitian ini dapat memberikan pengetahuan mengenai harmonisa dan efek negatifnya terhadap sistem tenaga listrik sehingga dapat menjadi perhatian dalam memilih beban-beban listrik terutama yang bersifat nonlinier.
2. Hasil dari analisis diharapkan dapat menjadi acuan ke depan untuk mengatasi permasalahan kualitas daya listrik akibat adanya harmonisa dan menghindari berbagai kemungkinan kerugian yang ditimbulkan.

1.7. Sistematika Penulisan Skripsi

Secara garis besar penulisan skripsi ini dibagi menjadi 3 bagian yaitu bagian awal, isi, dan bagian akhir. Bagian awal skripsi terdiri atas judul, lembar pernyataan, pengesahan, persembahan, motto, kata pengantar, abstrak, dan daftar isi serta daftar gambar, daftar tabel, dan daftar lampiran.

Bagian isi skripsi disajikan dalam lima bab dengan beberapa sub bab pada tiap babnya.

Bab 1 Pendahuluan bertujuan mengantarkan pembaca untuk memahami terlebih dahulu gambaran mengenai latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan skripsi.

Bab 2 Kajian Pustaka mengemukakan tentang landasan teori yang mendukung dalam pelaksanaan penelitian dan penelitian yang relevan.

Bab 3 Metode Penelitian berisi tentang metode penelitian yang digunakan, teknik pengambilan data, dan teknik analisis data.

Bab 4 Analisis dan Pembahasan berisi tentang data hasil penelitian untuk dianalisis.

Bab 5 Penutup berisi simpulan dari hasil penelitian dan saran-saran yang relevan terkait dengan penelitian yang telah dilakukan.

Bagian akhir skripsi berisikan daftar pustaka, dan lampiran-lampiran. Daftar pustaka berisi semua daftar kepustakaan yang telah digunakan dalam pembuatan skripsi. Lampiran dapat berisi gambar, tabel, data pengujian, dan hasil analisis yang merupakan bagian dari isi yang dipisahkan.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Kajian Pustaka

Penelitian yang relevan sepenuhnya digali dari bahan yang telah ditulis oleh para ahli di bidangnya yang berhubungan dengan penelitian ini. Berikut ini adalah beberapa penelitian terdahulu yang relevan tentang analisis harmonisa arus dan tegangan listrik:

1. Penelitian Hadi Sugiarto (2012) dengan judul “Kajian Harmonisa Arus dan Tegangan Listrik di Gedung Administrasi Politeknik Negeri Pontianak”. Pengukuran harmonisa menggunakan *Power Quality Analyzer Fluke 43B*. Hasil penelitian menunjukkan adanya kandungan harmonisa arus (THDi) sebesar 10,6% dan harmonisa tegangan (THDv) 2,7% dan terjadi ketidakseimbangan beban yang cukup signifikan pada salah satu fasa.
2. Penelitian Zulkarnaini (2012) dengan judul “Pemetaan Tingkat Distorsi Harmonik Pada Gedung Kampus Institut Teknologi Padang”. Pengukuran harmonisa menggunakan *Power Quality Analyzer Fluke 434*. Hasil penelitian menunjukkan kandungan harmonisa tegangan (THDv) berada pada rentang 1,9% - 3,4%, sedangkan kandungan harmonisa arus (THDi) berada pada rentang 7,2% - 350% yang sudah tidak memnuhi standard.
3. Penelitian Elih Mulyana (2008) dengan judul “Pengukuran Harmonisa Tegangan dan Arus Listrik Di Gedung Direktorat TIK Universitas Pendidikan Indonesia”. Pengukuran harmonisa menggunakan *Power Quality Analyzer*

Fluke 43B. Hasil pengukuran menunjukkan kandungan harmonisa tegangan (THDv) sebesar 5,5% - 8,3% pada jam sibuk dan <5% pada jam kurang sibuk dengan standard 5%. Sementara harmonisa arus (THDi) sebesar 26,1% - 45,2% pada jam sibuk dan 23% - 31,3% pada jam kurang sibuk dengan standard 15%.

2.2. Kualitas Daya Listrik

Perhatian terhadap kualitas daya listrik dewasa ini semakin meningkat seiring dengan peningkatan penggunaan energi listrik dan utilitas kelistrikan. Istilah kualitas daya listrik telah menjadi isu penting pada industri tenaga listrik sejak akhir 1980-an. Istilah kualitas daya listrik merupakan suatu konsep yang memberikan gambaran tentang baik atau buruknya mutu daya listrik akibat adanya beberapa jenis gangguan yang terjadi pada sistem kelistrikan (Dugan, 1996).

Terdapat empat alasan utama, mengapa para ahli dan praktisi di bidang tenaga listrik memberikan perhatian lebih pada isu kualitas daya listrik (Dugan, 1996), yaitu:

1. Pertumbuhan beban-beban listrik dewasa ini bersifat lebih peka terhadap kualitas daya listrik seperti sistem kendali dengan berbasis pada mikroprosesor dan perangkat elektronika daya.
2. Meningkatnya perhatian yang ditekankan pada efisiensi sistem daya listrik secara menyeluruh, sehingga menyebabkan terjadinya peningkatan penggunaan peralatan yang mempunyai efisiensi tinggi, seperti pengaturan kecepatan motor listrik dan penggunaan kapasitor untuk perbaikan faktor daya. Penggunaan peralatan – peralatan tersebut dapat mengakibatkan peningkatan terhadap

tingkat harmonisa pada sistem daya listrik, di mana para ahli merasa khawatir terhadap dampak harmonisa tersebut di masa mendatang yang dapat menurunkan kemampuan dari sistem daya listrik itu sendiri.

3. Meningkatnya kesadaran bagi para pengguna energi listrik terhadap masalah kualitas daya listrik. Para pengguna utilitas kelistrikan menjadi lebih pandai dan bijaksana mengenai persoalan seperti interupsi, *sags*, dan peralihan transien dan merasa berkepentingan untuk meningkatkan kualitas distribusi daya listriknya.
4. Sistem tenaga listrik yang saling berhubungan dalam suatu jaringan interkoneksi, di mana sistem tersebut memberikan suatu konsekuensi bahwa kegagalan dari setiap komponen dapat mengakibatkan kegagalan pada komponen lainnya.

Terdapat beberapa definisi yang berbeda terhadap pengertian tentang kualitas daya listrik, tergantung kerangka acuan yang digunakan dalam mengartikan istilah tersebut. Sebagai contoh suatu pengguna utilitas kelistrikan dapat mengartikan kualitas daya listrik sebagai keandalan, di mana dengan menggunakan angka statistik 99,98 %, sistem tenaga listriknya mempunyai kualitas yang dapat diandalkan. Suatu industri manufaktur dapat mengartikan kualitas daya listrik adalah karakteristik dari suatu catu daya listrik yang memungkinkan peralatan-peralatan yang dimiliki industri tersebut dapat bekerja dengan baik. Karakteristik yang dimaksud tersebut dapat menjadi sangat berbeda untuk berbagai kriteria.

Kualitas daya listrik adalah setiap masalah daya listrik yang berbentuk penyimpangan tegangan, arus atau frekuensi yang mengakibatkan kegagalan

ataupun kesalahan operasi pada peralatan-peralatan yang terjadi pada konsumen energi listrik (Dugan, 1996). Daya adalah suatu nilai dari energi listrik yang dikirimkan dan didistribusikan, di mana besarnya daya listrik tersebut sebanding dengan perkalian besarnya tegangan dan arus listriknya. Sistem suplai daya listrik dapat dikendalikan oleh kualitas dari tegangan, dan tidak dapat dikendalikan oleh arus listrik karena arus listrik berada pada sisi beban yang bersifat individual, sehingga pada dasarnya kualitas daya adalah kualitas dari tegangan itu sendiri (Dugan, 1996).

2.2.1. Jenis-Jenis Permasalahan Kualitas Daya Listrik

Permasalahan kualitas daya listrik disebabkan oleh gejala-gejala atau fenomena-fenomena elektromagnetik yang terjadi pada sistem tenaga listrik. Gejala elektromagnetik yang menyebabkan permasalahan kualitas daya adalah (Dugan, 1996):

1. Gejala peralihan (*transient*), yaitu suatu gejala perubahan variabel (tegangan, arus dan lain-lain) yang terjadi selama masa transisi dari keadaan operasi tunak (*steady state*) menjadi keadaan yang lain.
2. Gejala perubahan tegangan durasi pendek (*short-duration variations*), yaitu suatu gejala perubahan nilai tegangan dalam waktu yang singkat yaitu kurang dari 1 (satu) menit.
3. Gejala perubahan tegangan durasi panjang (*long-duration variations*), yaitu suatu gejala perubahan nilai tegangan, dalam waktu yang lama yaitu lebih dari 1 (satu) menit.

4. Ketidakseimbangan tegangan, adalah gejala perbedaan besarnya tegangan dalam sistem tiga fasa serta sudut fasanya.
5. Distorsi gelombang (harmonisa), adalah gejala penyimpangan dari suatu gelombang (tegangan dan arus) dari bentuk idealnya berupa gelombang sinusoidal.
6. Fluktuasi tegangan, adalah gejala perubahan besarnya tegangan secara sistematis.
7. Gejala perubahan frekuensi daya yaitu gejala penyimpangan frekuensi daya listrik pada suatu sistem tenaga listrik.

2.2.2. Besaran Listrik Dasar

Terdapat tiga buah besaran listrik dasar yang digunakan di dalam teknik tenaga listrik, yaitu beda potensial atau sering disebut sebagai tegangan listrik, arus listrik dan frekuensi. Ketiga besaran tersebut merupakan satu kesatuan pokok pembahasan di dalam masalah – masalah sistem tenaga listrik. Selain ketiga besaran tersebut, masih terdapat satu faktor penting di dalam pembahasan sistem tenaga listrik yaitu daya dan faktor daya.

2.2.2.1. Beda Potensial

Ketika suatu muatan listrik positif mengalami perpindahan sepanjang lintasan dl di dalam medan listrik E , maka energi potensial elektrostatisnya adalah :

$$W = -q \int E \cdot dl \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan: W = perubahan energi potensial (J)
 q = muatan listrik (C)
 E = medan listrik (N/C)
 dl = panjang lintasan (m)

Beda potensial V sebagai kerja (sumber dari luar) yang digunakan untuk memindahkan suatu muatan listrik positif dari suatu titik ke titik lain adalah perubahan energi potensial listrik yang sebanding dengan muatan listriknya :

$$V = \frac{W}{q} = - \int_{\text{awal}}^{\text{akhir}} E \cdot d\ell \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

Beda potensial dinyatakan dalam satuan *Joule per Coulomb* yang didefinisikan sebagai *Volt*, sehingga beda potensial sering disebut sebagai voltase atau tegangan listrik. Beda potensial V_{AB} adalah beda potensial berasal dari luar, yang digunakan untuk memindahkan satu muatan listrik dari titik awal B sampai titik akhir A, sehingga:

$$V_{AB} = - \int_B^A E \cdot d\ell \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

$$V_{AB} = V_B - V_A \quad \dots\dots\dots(2.4)$$

Setiap potensial diukur terhadap suatu titik acuan nol. Di dalam pengukuran eksperimental fisis, titik acuan yang sering digunakan adalah “bumi”, yaitu potensial permukaan bumi. Sehingga setiap titik mempunyai potensial terhadap titik nol. Potensial A adalah nilai yang diukur dari titik A terhadap titik acuan nol dan potensial B adalah nilai yang diukur dari titik B terhadap acuan nol.

2.2.2.2. Arus Listrik

Arus listrik didefinisikan sebagai laju aliran sejumlah muatan listrik yang melalui suatu luasan penampang melintang. Menurut konvensi, arah arus listrik dianggap searah dengan aliran muatan positif. Arus listrik diukur dalam satuan *Ampere* (A), adalah satu *Coulomb* per detik. Arus listrik dirumuskan:

$$I = \frac{dq}{dt} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan: I = Arus listrik (A)
 dq = sejumlah muatan (C)
 dt = waktu (detik)

2.2.2.3. Frekuensi

Tegangan dan arus listrik yang digunakan pada sistem kelistrikan merupakan listrik bolak-balik yang berbentuk sinusoidal. Tegangan dan arus listrik sinusoidal merupakan gelombang yang berulang, sehingga gelombang sinusoidal mempunyai frekuensi. Frekuensi adalah ukuran jumlah putaran ulang per peristiwa dalam selang waktu yang diberikan. Satuan frekuensi dinyatakan dalam *hertz* (Hz) yaitu nama pakar fisika Jerman Heinrich Rudolf Hertz yang menemukan fenomena ini pertama kali. Frekuensi sebesar 1 Hz menyatakan peristiwa yang terjadi satu kali per detik, di mana frekuensi (f) sebagai hasil kebalikan dari periode (T), seperti rumus di bawah ini:

$$f = \frac{1}{T} \dots\dots\dots (2.6)$$

Di setiap negara mempunyai frekuensi tegangan listrik yang berbeda-beda. Frekuensi tegangan listrik yang berlaku di Indonesia adalah 50 Hz, sedangkan di Amerika berlaku frekuensi 60 Hz.

2.2.2.4. Daya dan Faktor Daya

Daya adalah suatu ukuran terhadap penggunaan energi dalam suatu waktu tertentu, di mana :

$$P = \frac{E}{t} \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan: P = Daya (Watt)

E = Energi (Joule)

t = waktu (detik)

Terdapat tiga macam daya listrik yang digunakan untuk menggambarkan penggunaan energi listrik, yaitu daya nyata atau daya aktif, daya reaktif serta daya semu atau daya kompleks (Sanjeev Sharma, 2007). Daya nyata atau daya aktif adalah daya listrik yang digunakan secara nyata, misalnya untuk menghasilkan panas, cahaya atau putaran pada motor listrik. Daya nyata dihasilkan oleh beban-beban listrik yang bersifat resistif murni (Heinz Reiger, 1987). Besarnya daya nyata sebanding dengan kuadrat arus listrik yang mengalir pada beban resistif dan dinyatakan dalam satuan Watt (Sanjeev Sharma, 2007), di mana :

$$P = I^2R \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan: P = Daya (Watt)

I = Arus listrik (Ampere)

R = hambatan listrik (ohm)

Daya reaktif dinyatakan dengan satuan VAR (Volt Ampere Reaktan) adalah daya listrik yang dihasilkan oleh beban-beban yang bersifat reaktansi. Terdapat dua jenis beban reaktansi, yaitu reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif. Beban – beban yang bersifat induktif akan menyerap daya reaktif untuk menghasilkan medan magnet. Contoh beban listrik yang bersifat induktif antara lain transformator, motor induksi satu fasa maupun tiga fasa yang biasa digunakan untuk menggerakkan kipas angin, pompa air, *lift*, eskalator, kompresor, konveyor, dan lain-lain. Beban – beban yang bersifat kapasitif akan menyerap daya reaktif untuk menghasilkan medan listrik. Contoh beban yang bersifat kapasitif adalah kapasitor (Heinz Reiger, 1987). Besarnya daya reaktif sebanding dengan kuadrat arus listrik yang mengalir pada beban reaktansi di mana (Sanjeev Sharma, 2007):

$$Q = I^2 X \dots\dots\dots (2.9)$$

$$X = X_L - X_C \dots\dots\dots (2.10)$$

- Keterangan:
- Q = Daya (VAR)
 - X = Reaktansi total (ohm)
 - X_L = Reaktansi induktif (ohm)
 - X_C = Reaktansi kapasitif (ohm)

Daya kompleks atau lebih sering dikenal sebagai daya semu adalah penjumlahan secara vektor antara daya aktif dan daya reaktif, di mana:

$$S = P + jQ \dots\dots\dots (2.11)$$

Daya kompleks dinyatakan dengan satuan VA (Volt Ampere) adalah hasil kali antara besarnya tegangan dan arus listrik yang mengalir pada beban (Sanjeev Sharma, 2007), di mana :

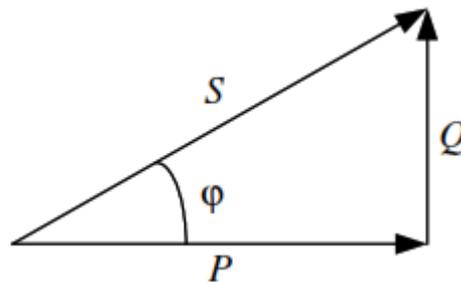
$$S = VI \text{(2.12)}$$

Keterangan: S = Daya kompleks/semu (VA)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus listrik (Ampere)

Hubungan ketiga buah daya listrik yaitu daya aktif P, daya reaktif Q serta daya kompleks S, dinyatakan dengan sebuah segitiga, yang disebut segitiga daya (B. L. Theraja, 1984) sebagai berikut :



Gambar 2.1. Segitiga Daya

Dari gambar 2.1, hubungan antara ketiga daya listrik dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \text{(2.13)}$$

$$P = S \text{ Cos}\phi \text{(2.14)}$$

$$P = VI \text{ Cos}\phi \text{(2.15)}$$

$$Q = S \text{ Sin}\phi \text{(2.16)}$$

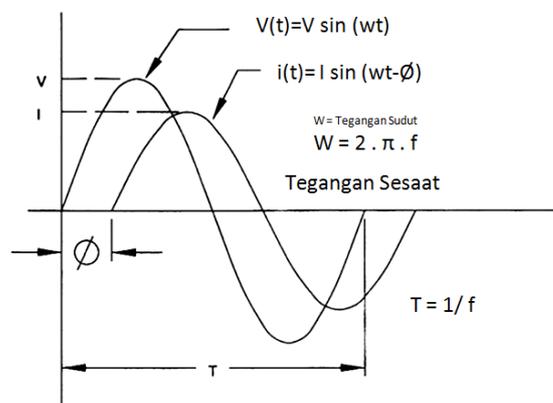
$$Q = VI \text{ Sin}\phi \text{(2.17)}$$

$$\text{Cos}\phi = \text{pf} = \frac{P}{S} \dots\dots\dots (2.18)$$

$\text{Cos}\phi$ adalah sudut antara daya aktif dan daya kompleks S , sehingga $\text{Cos}\phi$ didefinisikan sebagai faktor daya (*power factor*, pf). Untuk beban yang bersifat induktif, *pf lagging* di mana arusnya tertinggal dari tegangannya. Dan untuk beban yang bersifat kapasitif, *pf leading* di mana arusnya mendahului tegangannya.

2.3. Harmonisa

Dalam sistem tenaga listrik yang ideal, bentuk gelombang tegangan yang disalurkan ke peralatan dan bentuk gelombang arus yang dihasilkan adalah gelombang sinus murni. Terlihat bentuk ideal dari bentuk gelombang tegangan dan arus pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Bentuk Gelombang Tegangan Dan Arus Sinus Murni

Sumber: (C. Sankaran, *Power Quality*, 2002)

Dalam sistem tenaga listrik dikenal dua jenis beban yaitu beban linier dan beban nonlinier. Sebuah peralatan dikategorikan nonlinier apabila peralatan

tersebut mempunyai output yang nilainya tidak sebanding dengan tegangan yang diberikan (Dugan, 1996).

Bentuk gelombang keluaran beban linier memiliki arus yang mengalir sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan. Pada beban nonlinier, bentuk gelombang keluaran tidak sebanding dengan tegangan masuk sehingga bentuk gelombang arus maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya (Rashid, 2004: 337).

Harmonisa merupakan gangguan dalam distribusi tenaga listrik disebabkan oleh adanya distorsi gelombang arus dan tegangan yang menyebabkan adanya pembentukan gelombang-gelombang yang tidak sinusoidal (Zuhal, 1995). Fenomena tersebut timbul akibat pengaruh dari karakteristik beban listrik nonlinier yang dimodelkan sebagai suatu sumber arus yang menginjeksikan arus harmonisa ke dalam sistem listrik.

Harmonisa dapat dinyatakan sebagai suatu penyebaran komponen dari gelombang periodik yang mempunyai suatu frekuensi yang merupakan kelipatan dari frekuensi fundamentalnya (Rashid, 2004: 298; Alexander, 2007: 36). Pada sistem tenaga listrik frekuensi kerja normal adalah 50 Hz atau 60 Hz, tetapi dalam aplikasi pemakaiannya berdasarkan beban yang digunakan frekuensi arus dan tegangan dapat menjadi tidak normal atau menjadi kelipatan dari frekuensi normal 50/60 Hz, hal inilah yang disebut dengan harmonisa.

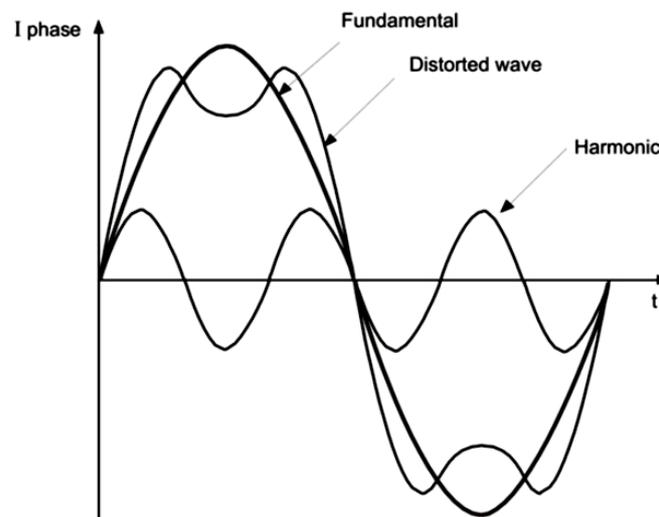
Jika frekuensi (f) adalah frekuensi fundamental dari suatu sistem, maka frekuensi orde n (1,2,3... n) adalah nf atau faktor kelipatan dari frekuensi fundamentalnya. Misalnya bila frekuensi fundamentalnya (f_1) 50 Hz maka

harmonisa ke-3 (h3) adalah gelombang sinusoidal dengan frekuensi 150 Hz, harmonisa ke-5 (h5) gelombang sinusoidal dengan frekuensi 250 Hz, harmonisa ke-7 (h7) gelombang sinusoidal dengan frekuensi 350 Hz dan seterusnya sehingga dapat dibuat persamaan umum sebagai berikut:

$$f_h = f_1 \times n \quad \dots\dots\dots(2.20)$$

Keterangan: f_h = frekuensi harmonisa
 f_1 = frekuensi fundamental
 n = bilangan bulat positif/orde harmonisa

Gelombang inilah yang kemudian menumpang pada gelombang fundamental sehingga terbentuklah gelombang tidak sinusoidal yang merupakan hasil dari penjumlahan antara gelombang fundamental sesaat dengan gelombang harmonisanya (Hardi dan Yaman, 2013), seperti tampak pada Gambar 2.3



Gambar 2.3. Bentuk Gelombang Fundamental, Gelombang Harmonisa, dan Gelombang Fundamental yang Terdistorsi

Sumber: (C. Sankaran, *Power Quality*, 2002)

Harmonisa bisa muncul akibat adanya beban-beban nonlinier yang terhubung ke sistem distribusi. Beban nonlinier ini umumnya adalah peralatan elektronik yang di dalamnya terdapat banyak komponen semi konduktor. Komponen ini dalam proses kerjanya berlaku sebagai saklar yang bekerja pada setiap siklus gelombang tegangan. Beberapa contoh beban nonlinier antara lain: *variable speed drive*, UPS, komputer, printer, televisi, *microwave oven*, lampu *fluorescent* yang menggunakan elektronik ballast.

2.3.1. Jenis Harmonisa

Ada 4 macam harmonisa, yaitu:

1. Harmonisa ganjil: kelipatan ganjil dari frekuensi fundamentalnya.
2. Harmonisa genap: kelipatan genap dari frekuensi dasarnya, ini diakibatkan karena gelombangnya tidak simetris terhadap sumbu absisnya. Hal ini terjadi karena adanya komponen DC pada supalinya/bebannya.
3. Interharmonisa: adalah harmonisa yang frekuensinya tidak merupakan kelipatan integral dari frekuensi dasarnya.
4. Subharmonisa: harga frekuensi yang lebih kecil dari frekuensi fundamentalnya.

2.3.1.1. Polaritas Komponen Harmonisa

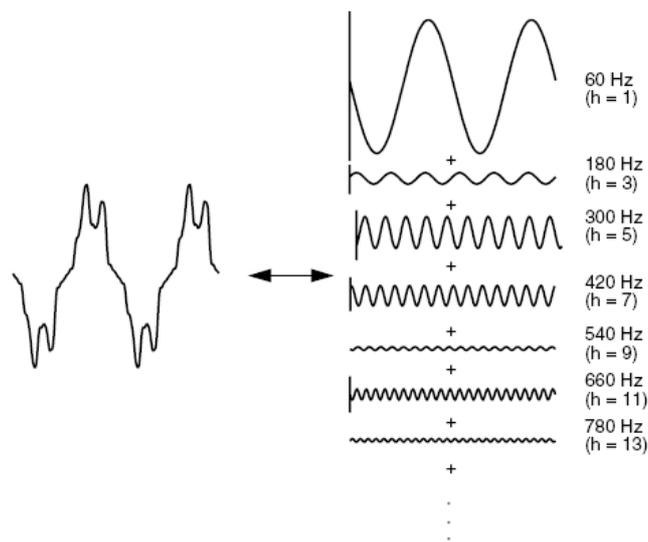
Harmonisa pertama urutan polaritasnya adalah positif, harmonisa ke dua urutan polaritasnya adalah negatif, dan harmonisa ke tiga urutan polaritasnya adalah nol. Harmonisa ke empat urutan polaritasnya adalah positif (berulang berurutan sampai seterusnya).

Tabel 2.1. Polaritas Orde Harmonisa

Orde Harmonisa	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Frekuensi (Hz)	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Urutan/Polaritas	+	-	0	+	-	0	+	-	0

2.3.2. Sumber Harmonisa

Dalam sistem tenaga listrik dikenal memiliki dua jenis beban, yaitu beban linier dan beban nonlinier. Beban disebut linier apabila nilai arus berbanding secara linier atau proporsional terhadap tegangan beban. Hal ini berarti bahwa bentuk gelombang arus akan sama dengan bentuk gelombang tegangan beban. Sedangkan untuk beban nonlinier, bentuk gelombang arus tidak akan sama/sebanding dengan bentuk gelombang tegangan (mengalami distorsi). Arus yang ditarik oleh beban nonlinier tidak sinusoidal secara periodik. Artinya, bentuk gelombang terlihat sama dari satu siklus ke siklus berikutnya. Bentuk gelombang yang periodik tersebut dapat digambarkan secara matematis sebagai gelombang sinusoida yang telah dijumlahkan bersama-sama. Komponen-komponen sinusoida tersebut merupakan kelipatan bilangan bulat dari frekuensi fundamental.



Gambar 2.4 Gelombang terdistorsi akibat penjumlahan dari komponen-komponen harmonisa

Beban-belan nonlinier umumnya merupakan peralatan elektronika yang di dalamnya terdapat komponen semikonduktor, dalam proses kerjanya berfungsi sebagai saklar yang bekerja pada setiap siklus gelombang dari sumber tegangan.

Harmonisa dihasilkan karena berbagai jenis penggunaan peralatan yang memiliki kondisi saturasi, peralatan elektronika daya dan beban nonlinier, yaitu sebagai berikut:

1. Peralatan yang memiliki kondisi saturasi biasanya memiliki komponen yang bersifat magnetik seperti transformator, mesin-mesin listrik, tanur busur listrik, peralatan yang menggunakan *rectified power supply* dan *magnetic ballast*.
2. Peralatan elektronika daya biasanya menggunakan komponen-komponen elektronika seperti *thyristor*, dioda, dan lain-lain. Contoh peralatan yang menggunakan komponen elektronika daya adalah konverter PWM, inverter, pengendali motor listrik, *electronic ballast*, dan sebagainya.

3. Pada rumah tangga, beban nonlinier terdapat pada peralatan seperti lampu hemat energi, televisi, AC, komputer dan lainnya.

2.3.3. Proses Terjadinya Harmonisa

Fenomena harmonisa pada sistem tenaga listrik pertama kali diteliti oleh Steinmetz pada tahun 1916 (Grady, 2002). Ia memberi perhatian pada harmonisa ke-3 yang muncul pada setiap sistem tiga fasa. Harmonisa ke-3 tersebut muncul disebabkan oleh kejenuhan inti besi pada trafo dan mesin-mesin listrik. Sekitar tahun 1930-1940, masalah harmonisa ke-3 ini dapat teratasi dengan baik. Pada era sekarang ini, penyebab munculnya harmonisa sebagian besar adalah alat-alat elektronika daya.

Rangkaian elektronika daya digunakan secara luas pada *switching power supplies*, UPS, komputer, printer, lampu fluorescent, dan peralatan-peralatan berbasis elektronik lainnya. Elektronika daya digunakan oleh banyak pihak karena efisien dan mudah dikendalikan, akan tetapi perangkat ini dapat menarik arus AC nonsinusoidal dari sumber AC. Bila arus ini bereaksi dengan impedansi sistem, maka akan membangkitkan tegangan dan/atau arus harmonisa. Gelombang tegangan dan/atau arus harmonisa ini bergerak seolah-olah melawan arah datangnya gelombang tegangan/arus yang berasal dari sumber. Jika gelombang ini bergabung dengan gelombang fundamental tersebut akan mengalami distorsi dan mengubah bentuknya menjadi gelombang sinusoidal yang tidak sempurna atau gelombang sinusoidal yang cacat.

Tidak seperti fenomena transien yang akan hilang dalam hitungan mikro detik atau fenomena tegangan dip yang akan hilang dalam hitungan mili detik,

harmonisa merupakan kejadian yang berlangsung secara periodik dan *steady state* (Dugan, 1996). Keberadaan harmonisa secara terus-menerus akan menyebabkan distorsi pada gelombang sinus tegangan dan/atau arus dan hal ini mempunyai beberapa pengaruh buruk terhadap sistem maupun peralatan listrik.

2.3.4. Dampak Harmonisa

Keberadaan harmonisa dalam suatu sistem tenaga listrik memberikan efek secara langsung maupun tidak langsung terhadap kualitas dan keandalan sistem tersebut. Harmonisa yang diproduksi oleh beban nonlinier diinjeksikan kembali ke sumber tegangan sistem (Rosa, 2006: 12). Arus harmonisa tersebut berinteraksi dengan peralatan sistem yang lebih luas, terutama pada kapasitor, transformator dan motor sehingga menyebabkan bertambahnya rugi-rugi panas yang berlebihan. Pada kapasitor, harmonisa menyebabkan reduksi kapasitas penyimpanan daya reaktif sehingga proses koreksi terhadap faktor daya juga mengalami gangguan. Selain itu umur pakai peralatan tersebut juga mengalami penyusutan dikarenakan vibrasi dan temperatur operasi yang meningkat jauh lebih tinggi akibat keberadaan harmonisa arus.

Apabila sistem mengalami resonansi akibat harmonisa, tegangan pada sistem dapat mengalami peningkatan. Akibatnya kabel dan isolator lainnya akan mengalami stress tegangan berlebih yang dapat menyebabkan kegagalan isolasi atau mempercepat penuaan peralatan. Harmonisa juga mengakibatkan kesalahan pembacaan alat ukur terutama alat ukur dengan konstruksi yang bekerja berdasarkan induksi (*induction disk*), seperti KWh meter, yang dirancang dan dikalibrasi untuk gelombang sinus. Harmonisa membangkitkan tambahan kopel

atau torsi elektromagnetik pada *disk*, sehingga nilai pengukurannya menjadi lebih tinggi.

Arus harmonisa juga dapat menyebabkan gangguan interferensi induksi pada sistem telekomunikasi, kesalahan pengukuran pada alat ukur, timbulnya panas yang berlebihan pada pemutus daya sehingga pemutus daya tersebut memutus sendiri, sistem kendali terkunci dengan sendirinya dan banyak lagi permasalahan yang ditimbulkan.

Permasalahan ini dapat menyebabkan kerugian keuangan karena biaya tambahan untuk pemeliharaan. Setiap komponen peralatan sistem distribusi dapat dipengaruhi oleh harmonisa walaupun dengan akibat yang berbeda-beda. Dengan demikian komponen peralatan tersebut akan mengalami penurunan kinerja dan bahkan akan mengalami kerusakan.

2.3.5. Standarisasi Harmonisa

Standarisasi harmonisa berisi tentang panduan, rekomendasi praktis, ataupun batasan harmonisa agar sistem kelistrikan yang ada tidak mengalami hal-hal yang dapat merugikan. Standar ini melibatkan banyak pihak mulai dari sisi penyuplai sampai sisi konsumen untuk kesesuaian peralatan sisi beban dengan peralatan sistem, sehingga ketidaksesuaian respon akibat harmonisa dapat diminimalisir.

Standar yang membahas mengenai batasan harmonisa antara lain IEEE 519-1992, IEC 61000-2-2, IEC 61000-3-2, IEC 61000-3-4. Standar-standar ini membatasi harmonisa yang diakibatkan dari sisi beban agar tidak menimbulkan cacat gelombang akibat adanya harmonisa dari sisi *utility*.

Berdasarkan IEEE 519-1992, bahwa dalam menentukan standar harmonisa terdapat dua kriteria yang digunakan dalam mengevaluasi distorsi harmonisa, yaitu yang pertama adalah batasan harmonisa tegangan (V_{THD}) dan yang ke dua yaitu batasan harmonisa arus (I_{THD}). Persentase (%) V_{THD} ditentukan oleh besarnya tegangan sistem yang terpasang.

Total Harmonic Distortion (THD) tegangan menurut Standar IEEE 519 – 1992 diperlihatkan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Batas harmonisa tegangan sesuai standar IEEE 519-1992

<i>System Voltage</i>	<i>IHDv (%)</i>	<i>THDv (%)</i>
$V_{rms} \leq 69 \text{ kV}$	3,0	5,0
$69 \text{ kV} < V_{rms} \leq 161 \text{ kV}$	1,5	2,5
$V_{rms} > 161 \text{ kV}$	1,0	1,5

Sementara itu, untuk harmonisa arus dapat dilihat pada tabel 2.3. Semua peralatan sistem tenaga dibatasi sesuai dengan besar distorsi arus tersebut. Dengan I_{sc} adalah arus maksimum hubung singkat PCC (*Point Common Coupling*) dan I_L adalah arus maksimum permintaan beban (komponen frekuensi fundamental) di PCC.

Tabel 2.3 Batas harmonisa arus sesuai standar IEEE 519-1992

<i>System Voltage</i>	<i>I_{sc}/I_{Load}</i>	<i>THDi (%)</i>
$V_{rms} \leq 69 \text{ kV}$	< 20	5,0
	20-50	8,0
	50-100	12,0
	100-1000	15,0
	> 1000	20,0
$69 \text{ kV} < V_{rms} \leq 161 \text{ kV}$	< 20	2,5
	20-50	4,0
	50-100	6,0
	100-1000	7,5
	> 1000	10,0
$V_{rms} > 161 \text{ kV}$	< 50	2,5
	≥ 50	4,0
*Seluruh perlengkapan pembangkitan daya dibatasi pada nilai arus distorsi ini, tanpa melihat nilai sebenarnya dari I_{sc}/I_L		
Isc = arus hubung singkat maksimum; IL = arus beban maksimum		

2.3.6. Indeks Harmonisa

1. Individual Harmonic Distortion (IHD)

Individual Harmonic Distortion adalah rasio antara nilai rms dari harmonisa individual dan nilai rms dari fundamental. Rumus IHD adalah sebagai berikut:

$$IHD = \sqrt{\left(\frac{I_{sn}}{I_{s1}}\right)^2} \times 100\% \dots\dots\dots(2.21)$$

Keterangan: IHD = Individual Harmonic Distortion (%)
 Isn = Arus harmonisa pada orde ke-n (A)
 Is1 = Arus fundamental (I_{rms}) (A)

2. Total Harmonic Distortion (THD)

Total Harmonic Distortion (THD) adalah rasio (perbandingan) antara nilai efektif (rms) dari seluruh komponen harmonisa terhadap nilai efektif (rms) dari fundamental. THD dinyatakan dalam bentuk persentase (% THD).

Nilai THD ini akan digunakan untuk mengukur besarnya penyimpangan dari bentuk gelombang periodik yang mengandung harmonisa dari gelombang sinusoidal murninya. Untuk gelombang sinusoidal murni nilai THD nya adalah 0%, sedangkan untuk menentukan besar THD arus maupun tegangan dapat menggunakan Persamaan (2.22) dan (2.23).

Total Harmonic Distortion (THDi) untuk arus didefinisikan dengan persamaan:

$$THDi = \frac{\sqrt{\sum_2^h I_h^2}}{I_1} \times 100\% \dots\dots\dots(2.22)$$

Keterangan: I_h = Komponen harmonisa arus ke-h (A)
 I₁ = Nilai arus fundamental (rms) (A)

Total Harmonic Distortion (THDv) untuk tegangan didefinisikan dengan persamaan:

$$THDv = \frac{\sqrt{\sum_2^h V_h^2}}{V_1} \times 100\% \dots\dots\dots(2.23)$$

Keterangan: V_h = Komponen harmonisa tegangan ke-h (V)

V_1 = Nilai tegangan fundamental (rms) (V)

Hubungan antara IHD dan THD dapat dilihat dari persamaan berikut:

$$\text{THD} = (\text{IHD}_2^2 + \text{IHD}_3^2 + \text{IHD}_4^2 + \dots + \text{IHD}_n^2)^{1/2}$$

Standard THD Arus dan THD Tegangan yang digunakan dalam skripsi ini menggunakan standard IEEE 519 - 1992.

2.3.7. Identifikasi Harmonisa

Untuk mengidentifikasi adanya harmonisa pada suatu sistem tenaga listrik dapat diketahui melalui langkah-langkah berikut ini:

1. Identifikasi Jenis Beban

Identifikasi jenis beban ialah kegiatan yang dilakukan untuk mengetahui jenis beban yang dipasok oleh sumber listrik. Jika banyak peralatan yang mempunyai komponen semikonduktor atau elektronika daya, maka dapat dipastikan bahwa dalam sistem tersebut mengandung harmonisa.

2. Pemeriksaan Transformator

Pemeriksaan transformator dapat dilakukan dengan cara pengecekan terhadap temperatur yang tidak normal dari trafo yang digunakan untuk memasok beban nonlinier. Arus sekunder baik fase maupun netral perlu diperiksa dengan cara membandingkan arus netral dengan arus fase pada saat beban keadaan tak seimbang. Jika pada saat tersebut nilai arus netral lebih besar dari pada arus fasa, maka dapat dipastikan adanya harmonisa dan diperkirakan adanya triplen harmonisa, dan kemungkinan terjadinya penurunan kinerja trafo.

3. Pemeriksaan Tegangan Netral-Tanah

Terjadinya arus lebih pada kawat netral (pada sistem 3 fasa 4 kawat) dapat diketahui dengan melihat tegangan netral-tanah pada keadaan berbeban. Apabila tegangan yang terukur lebih besar dari 2 volt maka dapat diindikasikan bahwa terdapat harmonisa pada sistem tersebut.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Penelitian dilakukan dengan pengambilan data di Gedung BPTIK dan E11 Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang Jl. Sekaran, Kecamatan Gunung Pati, Kota Semarang pada tanggal 5 Agustus 2019 sampai dengan 9 Agustus 2019.

3.2. Desain Penelitian

Desain penelitian merupakan rencana dan prosedur dari penelitian pada waktu yang ditentukan dari besarnya asumsi dan detail metode dari pengambilan data dan analisis. (Creswell, 2009:3)

Penelitian dilakukan untuk menghasilkan suatu karya yang ditulis berdasarkan kenyataan ilmiah yang diperoleh dari hasil kajian kepustakaan maupun penelitian lapangan (klinik atau laboratorium) yang dilakukan dari penemuan masalah untuk dianalisis agar menghasilkan suatu kesimpulan.

Pada suatu penelitian, seorang peneliti harus menggunakan jenis penelitian yang tepat. Hal ini dimaksud agar peneliti dapat memperoleh gambaran yang jelas mengenai masalah yang dihadapi serta langkah-langkah yang digunakan dalam mengatasi masalah tersebut. Sugiyono (2016: 6) menyatakan bahwa “Metode penelitian dapat diartikan sebagai cara ilmiah untuk mendapatkan data yang valid dengan tujuan dapat ditemukan, dikembangkan, dan dibuktikan, suatu pengetahuan tertentu sehingga dapat digunakan untuk memahami, memecahkan,

dan mengantisipasi masalah”. Adapun jenis metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian kuantitatif dengan pendekatan deskriptif.

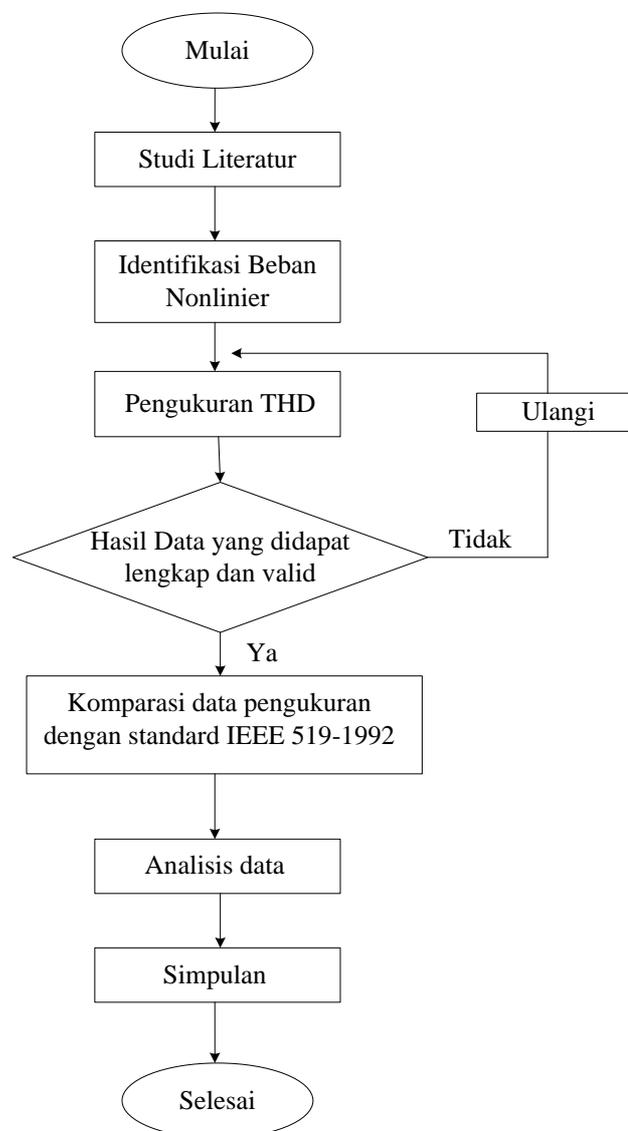
Menurut Sandu Siyoto dan M. Ali Sodik (2015: 26) menyatakan bahwa “Metode penelitian kuantitatif merupakan salah satu jenis penelitian yang spesifikasinya adalah sistematis, terencana, dan terstruktur dengan jelas sejak awal hingga pembuatan desain penelitiannya. Dalam metode penelitian kuantitatif, masalah yang diteliti lebih umum memiliki wilayah yang luas, tingkat variasi yang kompleks”. Sedangkan menurut Arikunto (2006: 12) mengemukakan bahwa “penelitian kuantitatif adalah pendekatan penelitian yang banyak dituntut mengemukakan angka, mulai dari pengumpulan data, penafsiran terhadap data tersebut, serta penampilan hasilnya”.

Dari beberapa uraian diatas dapat disimpulkan bahwa metode penelitian kuantitatif adalah suatu pendekatan penelitian yang menggunakan data berupa angka sebagai alat menganalisis keterangan mengenai apa yang ingin diketahui.

Menurut Priyono (2008: 37) menjelaskan bahwa “penelitian deskriptif ialah penelitian yang dilakukan untuk memberikan gambaran yang lebih detail mengenai suatu gejala atau fenomena. Hasil akhir dari penelitian ini biasanya berupa tipologi atau pola-pola mengenai fenomena yang sedang dibahas”. Hal tersebut dapat dikatakan bahwa metode penelitian kuantitatif deskriptif yaitu untuk mengungkapkan kejadian atau fakta, keadaan, fenomena, variabel dan keadaan yang terjadi saat penelitian berlangsung dengan menyuguhkan apa yang sebenarnya terjadi.

Penelitian ini memilih metode penelitian kuantitatif dengan pendekatan diskriptif karena sesuai dengan tujuan penelitian yaitu mendeskripsikan atau menggambarkan nilai harmonisa yang ada di gedung BPTIK dan E11 Universitas Negeri Semarang untuk kemudian dianalisis.

Pada penelitian ini, ada beberapa tahap yang dilakukan yg secara singkat dapat digambarkan dalam diagram alir berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Setelah masalah diidentifikasi, maka selanjutnya masalah tersebut dirumuskan. Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka peneliti menggunakan berbagai teori untuk menjawabnya. Langkah selanjutnya yaitu melakukan pengumpulan data guna memperoleh data yang dibutuhkan seperti tegangan, arus, faktor daya, frekuensi, THD, dan lain-lain. Data yang telah terkumpul selanjutnya dianalisis. Analisis diarahkan untuk menjawab rumusan masalah yang diajukan. Data hasil analisis selanjutnya disajikan dan diberi pembahasan. Penyajian data dapat menggunakan tabel, grafik, dan sebagainya. Setelah hasil penelitian diberikan pembahasan, maka selanjutnya dapat disimpulkan. Kesimpulan berisi jawaban singkat terhadap setiap rumusan masalah berdasarkan data yang telah didapatkan.

3.3. Alat dan Bahan Penelitian

Pada saat penelitian digunakan suatu alat untuk mendukung jalannya penelitian agar mendapatkan hasil yang sesuai. Alat penelitian yang digunakan adalah *Power & Harmonic Analyzer*. Alat ukur ini dapat digunakan untuk mengukur arus, tegangan, daya, faktor daya, harmonisa (THD), dan lain-lain. Tampilan hasil pengukuran dari alat ukur *Power and Harmonic Analyzer Langlois 6830* ini dapat berbentuk gelombang, spektrum yang terjadi pada setiap orde-orde harmonisa, dan dapat berupa teks



Gambar 3.2 *Power And Harmonic Analyzer* Langlois 6830

Cara penggunaan:

1. Memasang kabel penghubung pada clamp ampere (arus) dan mencapitkan (Tegangan) ke alat power & harmonic analyzer
2. Memasang clamp amper dan capit pada sistem tenaga listrik yang akan diukur atau diteliti. Pemasangan sesuai dengan urutan kabel fasanya.
3. Menekan tombol power untuk menghidupkan dan memulai pengukuran
4. Setting alat untuk pengukuran 3 fasa, dengan menekan pada tombol
5. Layar monitor akan menampilkan hasil pengukuran.

Spesifikasi dari alat *Power and Harmonic Analyzer* Langlois 6830 adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1. Spesifikasi Power and Harmonic Analyzer 6830

FUNCTIONS	RANGES	Band-width	ACCURACY
ACTIVE POWER	999,9 W - 9,999 - 99,99 - 999,9 - 9999 kW	6kHz	1% + 8dgt
REACTIVE POWER	999,9 VAR - 9,999 - 99,99 - 999,9 - 9999 KVAR	6kHz	1% + 8dgt
APPARENT POWER	999,9 VA - 9,999 - 99,99 - 999,9 - 9999 kVA	6kHz	1% + 8 dgt
INTENSITY TRMS	999,9 mA - 9,999 - 99,99 A	12kHz	0,5% + 5 dgt
VOLTAGE TRMS	600,0 V	12kHz	0,5% + 5 dgt
POWER FACTOR	0,00 ÷ 1,00		0,04
PHASE ANGLE	-180° to 180°		1°
Capture of pics V	600,0 V		5%
Capture of pics A	999,9 mA - 9,999 - 99,99 A		5%
CREST FACTOR	1,00 to 99,99		5%
THD-F	0,0 to 20,0 %		1%
	20,0 to 100,0 %		3%
	100,0 to 999,9 %		10%

HARMONICS order 1 ~ 100	RANGES	ACCURACY
measured in / expressed in		as per order
VOLTAGE / in VOLT	600,0 V	2 ~ 6%
VOLTAGE / % of the fundamental	0,0 ~ 100,0%	2 ~ 6%
CURRENT / in mA or A	999,9 mA - 9,999 - 99,99 A	0,2 ~ 35%
CURRENT / % of the fundamental	0,0 ~ 100,0%	0,2 ~ 35%

3.4. Parameter Penelitian

Parameter penelitian adalah gejala-gejala yang menunjukkan variasi baik dalam jenisnya maupun tingkatannya. Parameter dalam penelitian ini adalah nilai harmonisa arus (THDi) dan harmonisa tegangan (THDv) dan besaran listrik lain yang mendukung.

3.5. Teknik Pengumpulan Data

Sugiyono (2012: 224), teknik pengumpulan data ialah suatu teknik untuk mendapatkan data yang dapat dilakukan dalam berbagai *setting*, berbagai sumber, dan berbagai cara. Berdasarkan pengertian tersebut dapat dikatakan bahwa Teknik

pengumpulan data adalah cara yang digunakan untuk mengumpulkan data yang diperlukan dalam penelitian. Pada pengumpulan data penelitian ini menggunakan metode observasi. Menurut Sugiyono, yang mengutip Sutrisno Hadi (2012:145) mengemukakan bahwa, “observasi merupakan proses yang kompleks, suatu proses yang tersusun dari berbagai proses biologis dan psikologis. Dua di antara yang terpenting adalah proses-proses pengamatan dan ingatan.” Dalam menggunakan metode observasi cara yang paling efektif adalah melengkapinya dengan format atau blangko pengamatan sebagai instrumen. Format yang disusun berisi item-item tentang kejadian atau tingkah laku yang digambarkan akan terjadi (Suharsimi Arikunto, 2010: 272).

Berdasarkan penjelasan tersebut, observasi dapat diartikan sebagai suatu teknik pengamatan atau pengukuran yang sistematis terhadap gejala-gejala atau objek yang diteliti.

Observasi yang dilakukan dalam penelitian dengan cara melihat dan melakukan pengukuran secara langsung terhadap sistem tenaga listrik di gedung BPTIK dan E11 Universitas Negeri Semarang. Data pengukuran diambil setiap jam 09.00, 11.00, 13.00, dan 15.00. Selanjutnya hasil pengukuran akan menjadi data observasi yang kemudian akan diolah menjadi analisis dan hasil pembahasan.

3.6. Teknik Analisis Data

Setelah data-data yang peneliti perlukan terkumpul, maka langkah selanjutnya adalah menganalisis data. Analisis data yang digunakan pada penelitian ini menggunakan analisis kuantitatif. Teknik analisis data dalam penelitian

kuantitatif menggunakan statistik. Statistika yang digunakan ialah statistika deskriptif. Menurut Sugiyono (2016: 207) bahwa “statistik deskriptif adalah statistik yang digunakan untuk menganalisis data dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum”.

Pada penelitian ini, data pengukuran yang diambil ialah nilai THDv, THDi, faktor daya, nilai arus, nilai tegangan, daya semu, daya nyata, dan daya reaktif. Berdasarkan hasil tersebut analisis data dilakukan penghitungan rata-rata nilai tegangan, arus, THDv, THDi, daya nyata, daya reaktif, dan daya semu. Kemudian setelah hasil penghitungan didapatkan akan membandingkan nilai THDv dan THDi terhadap nilai batas standard yang sudah ditentukan. Standard yang digunakan mengacu pada Standard IEEE 519:1992 dengan batas nilai THDv 5% dan THDi 15%. Analisis selanjutnya yaitu analisis rugi daya yang diakibatkan oleh adanya harmonisa dengan indikasi adanya arus netral yang sangat besar. Dengan besar nilai rugi daya akibat adanya arus netral yang ditentukan dengan persamaan

$$P \text{ Netral} = I_N^2 \cdot R_N$$

Dimana:

$P \text{ Netral}$ = Daya yang mengalir melalui penghantar netral (W)

I_N = Arus yang melalui penghantar netral (A)

R_N = Tahanan penghantar netral (ohm)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1. Deskripsi Data

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada tanggal 5 Agustus sampai dengan 9 Agustus 2019 di Gedung BPTIK dan E11 Universitas Negeri Semarang, maka hasil penelitian disajikan dalam bentuk penyajian data yang sesuai dengan hasil pengukuran yang dilakukan sebelumnya.

Pada Gedung BPTIK mengambil aliran daya listrik dari transformator dengan kapasitas 150 kVA yang terdapat di gardu trafo tiang belakang gedung, sedangkan pada gedung E11 mengambil aliran daya listrik dari transformator dengan kapasitas 250 kVA yang terdapat di gardu trafo tiang di samping Gedung E11 Universitas Negeri Semarang. Selain gedung E11, terdapat gedung lain yang mengambil aliran daya transformator tersebut yaitu, Gedung E2.

Pada penelitian ini data diperoleh dengan melakukan pengukuran langsung pada *Main Distribution Panel* (MDP) di masing-masing gedung BPTIK dan E11 Universitas Negeri Semarang. Penelitian dilakukan pada jam 09.00; 11.00; 13.00 dan 15.00 WIB pada setiap harinya. Data pengukuran yang diambil ialah arus (I), tegangan (V), harmonisa arus (THDi), harmonisa tegangan (THDv), nilai faktor daya (PF), nilai daya semu (S), nilai daya nyata (P), dan nilai daya reaktif (Q). Berikut data hasil pengukuran kan dituangkakan dalam bentuk tabel-tabel.

4.1.2. Data di Gedung BPTIK

4.1.2.1. Hari Pertama

Tabel 4.1 Tabel hasil pengukuran di Gedung BPTIK hari pertama

Parameter			Tempat: Gedung BPTIK												
			Jam 09.00			Jam 11.00			Jam 13.00			Jam 15.00			
Tegangan rms (V)	R-N	R-S	211	370	209,6	369,5	211	370,3	209,7	368,6					
	S-N	S-T	218	372,2	217,9	371,8	218,3	373,7	217,9	372,4					
	T-N	R-T	209,7	365,1	211	364,6	211,2	365	211,1	364,9					
Arus rms (A)	I-R		19,07			17,64			17,85			19,16			
	I-S		9,2			8,89			9,19			8,85			
	I-T		34,5			34,31			34,61			33,96			
Arus Netral (A)			22,3			22,29			22,57			20,11			
THDv (%)	R	S	T	1,6	1,8	1,28	1,7	1,8	1,1	1,8	1,8	1,1	1,8	1,7	1,1
THDi (%)	R	S	T	13,1	35,9	11,2	12,3	36,8	9,8	10	37,2	6,6	9,8	36	8,9
Frekuensi (Hz)			50			50			50			50			
P (kW)			-12,5			-12,25			-12,40			-12,58			
Q (kVAR)			3,62			3,37			3,57			3,42			
S (kVA)			13,05			12,70			12,90			13,03			
Pf			-0,96			-0,96			-0,96			-0,96			

4.1.2.2. Hari Kedua

Tabel 4.2 Tabel hasil pengukuran di Gedung BPTIK hari ke dua

Parameter			Tempat: Gedung BPTIK												
			Jam 09.00			Jam 11.00			Jam 13.00			Jam 15.00			
Tegangan rms (V)	R-N	R-S	207,3	365,9	210,3	366,2	209,7	368,7	208,3	368					
	S-N	S-T	216,1	369,6	215,5	365,1	217,9	372,6	215	369,3					
	T-N	R-T	209,9	361,3	207,1	357,7	211,2	364,7	210	362,3					
Arus rms (A)	I-R		9,61			10,31			17,70			10,33			
	I-S		14,40			13,18			8,78			14,13			
	I-T		38			37,5			34,12			33,34			
Arus Netral (A)			20,35			20,27			20,42			20,26			
THDv (%)	R	S	T	1,9	1,8	1,2	1,8	1,8	1,5	1,9	1,8	1,21	1,9	1,8	1,5
THDi (%)	R	S	T	14,1	24,1	10	11,3	22,3	9,4	12,5	20,7	11	10,5	21	9
Frekuensi (Hz)			50			50			50			50			
P (kW)			-12,69			-11,51			-12,26			-11,82			
Q (kVAR)			2,64			2,41			2,50			2,32			
S (kVA)			12,96			11,75			12,51			12,04			
Pf			-0,97			-0,96			-0,96			-0,98			

4.1.3. Data di Gedung E11

Tabel 4.3 Tabel hasil pengukuran di Gedung E11 hari pertama

Parameter			Tempat: Gedung E11												
			Jam 09.00			Jam 11.00			Jam 13.00			Jam 15.00			
Tegangan rms (V)	R-N	R-S	214,5	371,2	215,3	371,2	214,9	371,6	215	371,5					
	S-N	S-T	216,2	374,5	216,5	373,9	216	374,2	216	374,4					
	T-N	R-T	215,2	369,3	212,9	369,8	212,5	368,4	212,7	369					
Arus rms (A)	I-R		21,52			21,34			21,73			21,7			
	I-S		32,10			30,31			33,33			33,38			
	I-T		20,22			20,04			20,29			20,19			
Arus Netral (A)			12,01			12,59			12,94			17,08			
THDv (%)	R	S	T	3,6	3,2	3,3	3,8	3,3	3,2	3,7	3,3	3,2	3,7	3,4	3,6
THDi (%)	R	S	T	9	6,1	5,7	13,1	5,3	4,7	9,1	5,3	4,7	10,8	5,7	5,1
Frekuensi (Hz)			50			50			50			50			
P (kW)			6,62			6,63			6,82			6,83			
Q (kVAR)			-0,39			-0,38			-0,65			-0,65			
S (kVA)			6,63			6,64			6,85			6,86			
Pf			0,99			0,99			0,99			0,99			

Tabel 4.4 Tabel hasil pengukuran di Gedung E11 hari ke dua

Parameter			Tempat: Gedung E11												
			Jam 09.00			Jam 11.00			Jam 13.00			Jam 15.00			
Tegangan rms (V)	R-N	R-S	213,4	369	213,9	369	213,5	368,3	215,1	368,9					
	S-N	S-T	215,7	372,6	215,1	373,1	215,2	369,7	215,2	372,3					
	T-N	R-T	211,7	366,8	211,1	366,7	212,3	368,5	211,7	368,8					
Arus rms (A)	I-R		31,95			32,02			26,53			21,49			
	I-S		35,75			37,30			32,06			27,32			
	I-T		30,51			32,05			28,51			20,19			
Arus Netral (A)			12,59			12,94			12,59			12,46			
THDv (%)	R	S	T	3,2	3,3	3,6	3,6	3,3	3,2	3,3	3,2	3,1	2,9	3,2	3,1
THDi (%)	R	S	T	9,1	5,7	5,6	13,5	4,7	5,6	10,3	5,6	4,6	7,1	4,3	4,0
Frekuensi (Hz)			50			50			50			50			
P (kW)			-20,41			-20,03			16,42			6,63			
Q (kVAR)			4,31			3,78			-2,66			-0,38			
S (kVA)			20,86			20,38			16,63			6,64			
Pf			-0,97			-0,98			0,98			0,98			

4.2. Analisis dan Pembahasan

Pada analisis pembahasan ini akan dilakukan analisis nilai harmonisa arus (THDi) dan harmonisa tegangan (THDv) dan rugi daya. Sebelum dilakukan pembahasan dilakukan penghitungan data awal untuk mencari nilai rata-rata dari THDi, THDv, arus (I), tegangan (V), daya semu (S), daya nyata (P), dan daya reaktif (Q). Jika data penghitungan sudah didapatkan maka selanjutnya dilakukan analisis harmonisa dan rugi daya.

4.2.1. Hasil Analisis Data Lanjutan

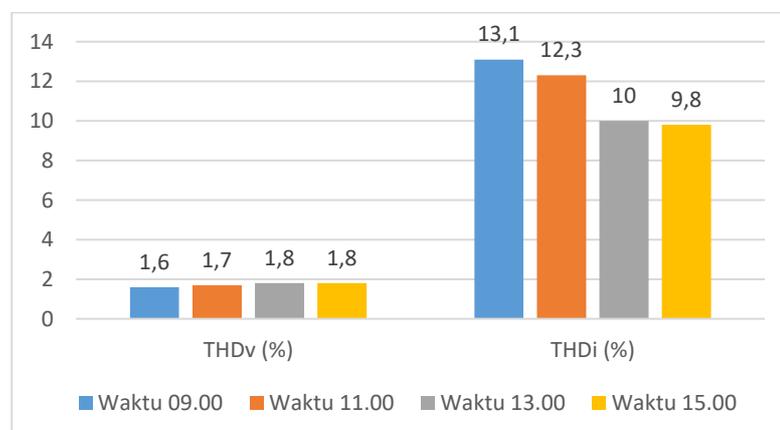
Berdasarkan hasil pengukuran di deskripsi data, dilakukan penghitungan untuk mencari nilai rata-rata THDi, THDv, arus, tegangan, daya semu, daya nyata, dan daya reaktif pada setiap fasa per harinya. Hasil penghitungan dapat dilihat dalam bentuk tabel dan grafik.

4.2.1.1. Gedung BPTIK

1. Hari Pertama

Tabel 4.5 Hasil pengukuran fasa R

Parameter	Waktu				Rata-rata
	09.00	11.00	13.00	15.00	
Tegangan (V)	211	209,6	211	209,7	210,23
Arus (A)	19,07	17,64	17,85	19,16	18,43
Aris Netral	22,3	22,29	22,57	20,11	21,82
THDv (%)	1,6	1,7	1,8	1,8	1,73
THDi (%)	13,1	12,3	10	9,8	11,3
Frekuensi (Hz)	50	50	50	50	50
P (kW)	-3,38	-3,24	-3,39	-3,41	-3,36
Q (kVAR)	1,64	1,56	1,60	1,57	1,59
S (VA)	-3,76	-3,65	-3,69	-3,73	-3,71
Pf	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89

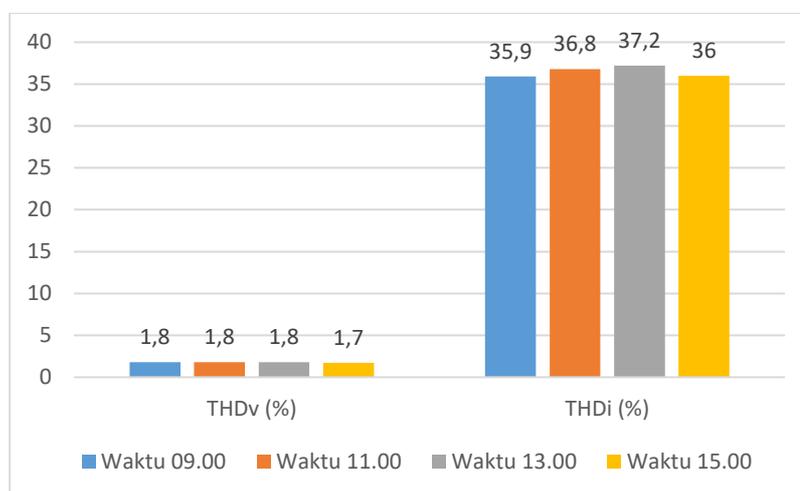


Gambar 4.1 Grafik nilai THDv dan THDi fasa R

Dari Grafik 4.1 dapat dilihat untuk fasa R di Gedung BPTIK nilai THDv tertinggi sebesar 1,8% pada jam 13.00 dan 15.00, nilai THDi tertinggi sebesar 13,1% pada jam 09.00.

Tabel 4.6 Hasil pengukuran fasa S

Parameter	Waktu				Rata-rata
	09.00	11.00	13.00	15.00	
Tegangan (V)	218	217,9	218,3	217,9	218,02
Arus (A)	9,2	8,89	9,19	8,85	9,03
Aris Netral	22,3	22,29	22,57	20,11	21,82
THDv (%)	1,8	1,8	1,8	1,7	1,78
THDi (%)	35,9	36,8	37,2	36	36,48
Frekuensi (Hz)	50	50	50	50	50
P (kW)	-1,86	-1,81	-1,84	-1,85	-1,84
Q (kVAR)	0,67	0,63	0,65	0,64	0,65
S (VA)	-1,98	-1,93	-1,96	-1,97	-1,96
Pf	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93

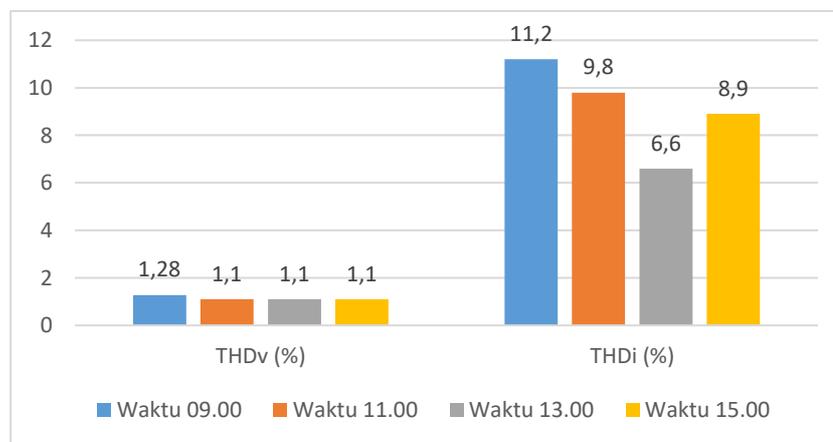


Gambar 4.2 Grafik nilai THDv dan THDi fasa S

Dari Grafik 4.2 dapat dilihat untuk fasa S di Gedung BPTIK nilai THDv tertinggi sebesar 1,8% pada jam 09.00-13.00 , nilai THDi tertinggi sebesar 37,2% pada jam 13.00.

Tabel 4.7 Hasil pengukuran fasa T

Parameter	Waktu				Rata-rata
	09.00	11.00	13.00	15.00	
Tegangan (V)	209,7	211	211,2	211,1	210,75
Arus (A)	34,5	34,31	34,61	33,96	34,35
Aris Netral	22,3	22,29	22,57	20,11	21,82
THDv (%)	1,28	1,1	1,1	1,1	1,15
THDi (%)	11,2	9,8	6,6	8,9	9,13
Frekuensi (Hz)	50	50	50	50	50
P (kW)	-7,20	-7,13	-7,16	-7,14	-7,16
Q (kVAR)	1,20	1,18	1,17	1,18	1,18
S (VA)	-7,30	-7,24	-7,25	-7,29	-7,27
Pf	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98



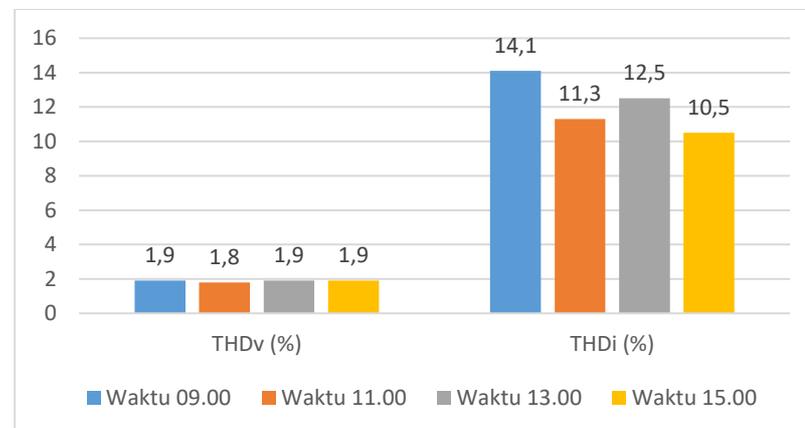
Gambar 4.3 Grafik nilai THDv dan THDi fasa T

Dari Grafik 4.3 dapat dilihat untuk fasa T di Gedung BPTIK nilai THDv tertinggi sebesar 1,28% pada jam 09.00, nilai THDi tertinggi sebesar 11,2% pada jam 09.00.

2. Hari Ke Dua

Tabel 4.8 Hasil pengukuran fasa R

Parameter	Waktu				Rata-rata
	09.00	11.00	13.00	15.00	
Tegangan (V)	207,3	210,3	209,7	208,3	208,9
Arus (A)	9,61	10,31	17,70	10,33	11,99
Aris Netral	20,35	20,27	20,42	20,26	20,33
THDv (%)	1,9	1,8	1,9	1,9	1,88
THDi (%)	14,1	11,3	12,5	10,5	12,1
Frekuensi (Hz)	50	50	50	50	50
P (kW)	-3,34	-3,27	-3,30	-3,32	-3,31
Q (kVAR)	1,59	1,56	1,55	1,54	1,56
S (VA)	-3,70	-3,67	-3,66	-3,62	-3,66
Pf	0,90	0,90	0,90	0,90	0,9

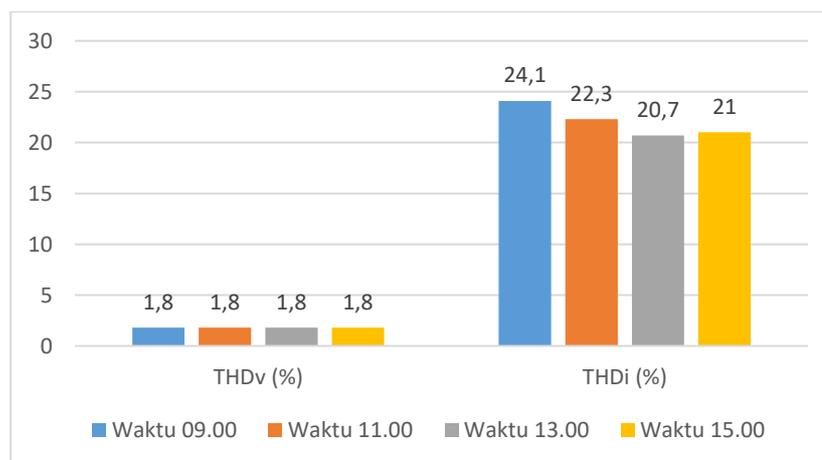


Gambar 4.4 Grafik nilai THDv dan THDi fasa R

Dari Grafik 4.4 dapat dilihat untuk fasa R di Gedung BPTIK nilai THDv tertinggi sebesar 1,9% pada jam 13.00 dan 15.00, nilai THDi tertinggi sebesar 14,1% pada jam 09.00.

Tabel 4.9 Hasil pengukuran fasa S

Parameter	Waktu				Rata-rata
	09.00	11.00	13.00	15.00	
Tegangan (V)	216,1	215,5	217,9	215	216,13
Arus (A)	14,40	13,18	8,78	14,13	12,62
Aris Netral	20,35	20,27	20,42	20,26	20,33
THDv (%)	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
THDi (%)	24,1	22,3	20,7	21	22,03
Frekuensi (Hz)	50	50	50	50	50
P (kW)	-1,81	-1,75	-1,79	-1,80	-1,78
Q (kVAR)	0,66	0,63	0,66	0,66	0,65
S (VA)	-1,93	-1,87	-1,89	-1,90	-1,89
Pf	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93

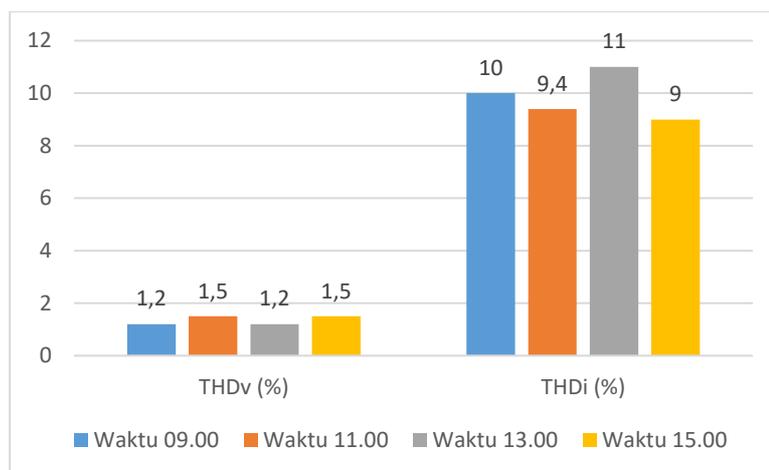


Gambar 4.5 Grafik nilai THDv dan THDi fasa S

Dari Grafik 4.5 dapat dilihat untuk fasa S di Gedung BPTIK nilai THDv tertinggi sebesar 1,8% pada jam 09.00-15.00, nilai THDi tertinggi sebesar 24,1% pada jam 09.00.

Tabel 4.10 Hasil Pengukuran fasa T

Parameter	Waktu				Rata-rata
	09.00	11.00	13.00	15.00	
Tegangan (V)	209,9	207,1	211,2	210	209,55
Arus (A)	38	37,5	34,12	33,34	35,74
Aris Netral	20,35	20,27	20,42	20,26	20,33
THDv (%)	1,2	1,5	1,2	1,5	1,35
THDi (%)	10	9,4	11	9	9,85
Frekuensi (Hz)	50	50	50	50	50
P (kW)	-7,12	-7,09	-7,07	-7,18	-7,12
Q (kVAR)	1,19	1,15	1,16	1,20	1,18
S (VA)	-7,22	-7,15	-7,16	-7,22	-7,19
Pf	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98



Gambar 4.6 Grafik nilai THDv dan THDi fasa T

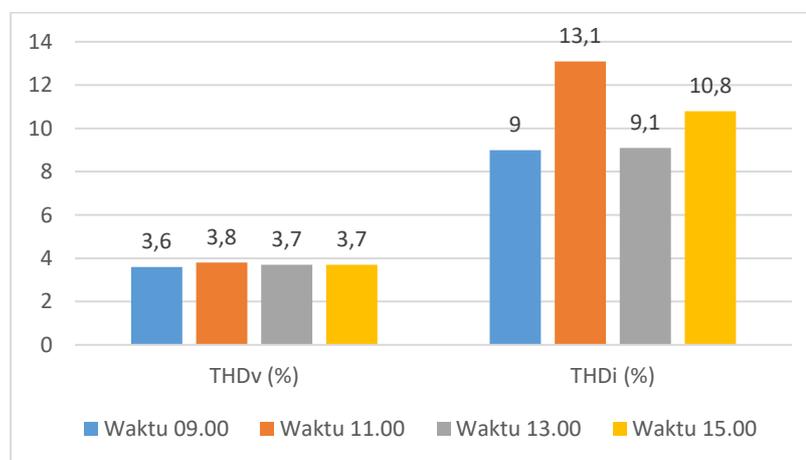
Dari Grafik 4.6 dapat dilihat untuk fasa T di Gedung BPTIK nilai THDv tertinggi sebesar 1,5% pada jam 15.00, nilai THDi tertinggi sebesar 11% pada jam 13.00.

4.2.1.2. Gedung E11

1. Hari Pertama

Tabel 4.11 Hasil pengukuran Fasa R

Parameter	Waktu				Rata-rata
	09.00	11.00	13.00	15.00	
Tegangan (V)	214,5	215,3	214,9	215	214,92
Arus (A)	21,52	21,34	21,73	21,7	21,57
Aris Netral	12,01	12,59	12,94	17,08	13,65
THDv (%)	3,6	3,8	3,7	3,7	3,7
THDi (%)	9	13,1	9,1	10,8	10,5
Frekuensi (Hz)	50	50	50	50	50
P (kW)	-4,45	-4,49	-4,35	-4,49	-4,45
Q (kVAR)	1,08	1,10	1,05	1,08	1,08
S (VA)	-4,62	-4,60	-4,56	-4,62	-4,6
Pf	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97

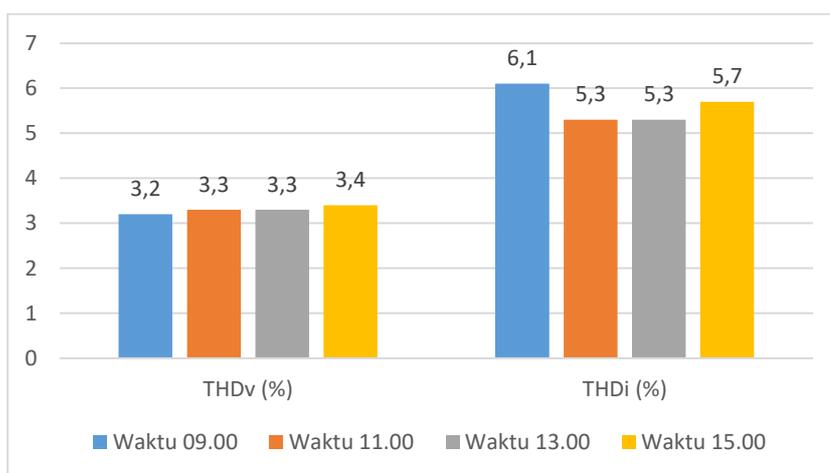


Gambar 4.7 Grafik nilai THDv dan THDi fasa R

Dari Grafik 4.7 dapat dilihat untuk fasa R di Gedung E11 nilai THDv tertinggi sebesar 3,8% pada jam 11.00, nilai THDi tertinggi sebesar 13,1% pada jam 11.00.

Tabel 4.12 Hasil pengukuran fasa S

Parameter	Waktu				Rata-rata
	09.00	11.00	13.00	15.00	
Tegangan (V)	216,2	216,5	216	216	216,18
Arus (A)	32,10	30,31	33,33	33,38	32,28
Aris Netral	12,01	12,59	12,94	17,08	13,66
THDv (%)	3,2	3,3	3,3	3,4	3,3
THDi (%)	6,1	5,3	5,3	5,7	5,6
Frekuensi (Hz)	50	50	50	50	50
P (kW)	6,85	6,86	6,80	6,88	6,85
Q (kVAR)	-0,72	-0,75	-0,72	-0,74	-0,73
S (VA)	6,75	6,77	6,88	6,92	6,83
Pf	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

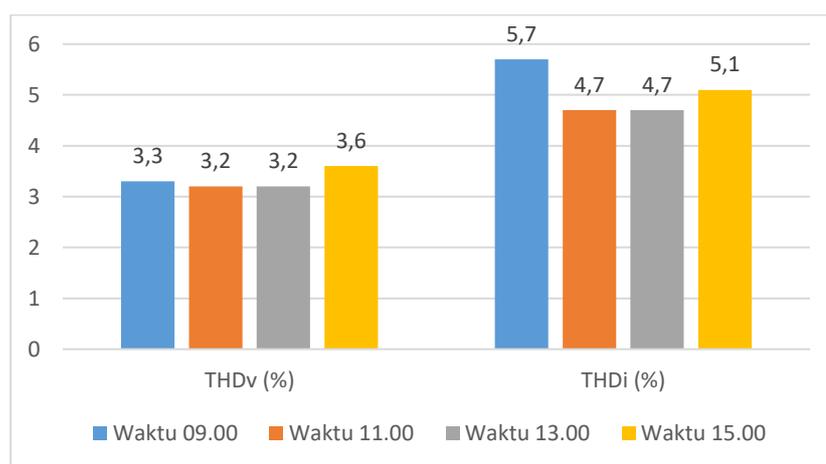


Gambar 4.8 Grafik nilai THDv dan THDi fasa S

Dari Grafik 4.8 dapat dilihat untuk fasa S di Gedung E11 nilai THDv tertinggi sebesar 3,4% pada jam 15.00, nilai THDi tertinggi sebesar 6,1% pada jam 09.00.

Tabel 4.13 Hasil pengukuran fasa T

Parameter	Waktu				Rata-rata
	09.00	11.00	13.00	15.00	
Tegangan (V)	215,2	212,9	212,5	212,7	213,33
Arus (A)	20,22	20,04	20,29	20,19	20,19
Aris Netral	12,01	12,59	12,94	17,08	13,66
THDv (%)	3,3	3,2	3,2	3,6	3,33
THDi (%)	5,7	4,7	4,7	5,1	5,05
Frekuensi (Hz)	50	50	50	50	50
P (kW)	4,20	4,22	4,17	4,21	4,2
Q (kVAR)	-0,79	-0,80	-0,77	-0,82	-0,80
S (VA)	4,24	4,20	4,15	4,29	4,22
Pf	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98



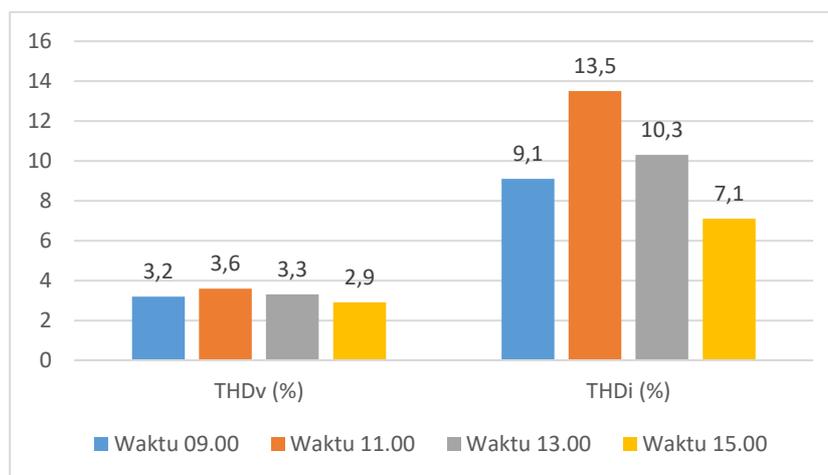
Gambar 4.9 Grafik nilai THDv dan THDi fasa T

Dari Grafik 4.9 dapat dilihat untuk fasa T di Gedung E11 nilai THDv tertinggi sebesar 3,6% pada jam 15.00, nilai THDi tertinggi sebesar 5,7% pada jam 09.00.

2. Hari Ke Dua

Tabel 4.14 Hasil Pengukuran fasa R

Parameter	Waktu				Rata-rata
	09.00	11.00	13.00	15.00	
Tegangan (V)	213,4	213,9	213,5	215,1	213,98
Arus (A)	31,95	32,02	26,53	21,49	28
Aris Netral	12,59	12,94	12,59	12,46	12,65
THDv (%)	3,2	3,6	3,3	2,9	3,25
THDi (%)	9,1	13,5	10,3	7,1	10
Frekuensi (Hz)	50	50	50	50	50
P (kW)	-6,44	-6,39	-6,50	-6,46	-6,45
Q (kVAR)	2,12	2,25	2,33	2,14	2,21
S (VA)	-6,78	-6,73	-6,82	-6,79	-6,78
Pf	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95

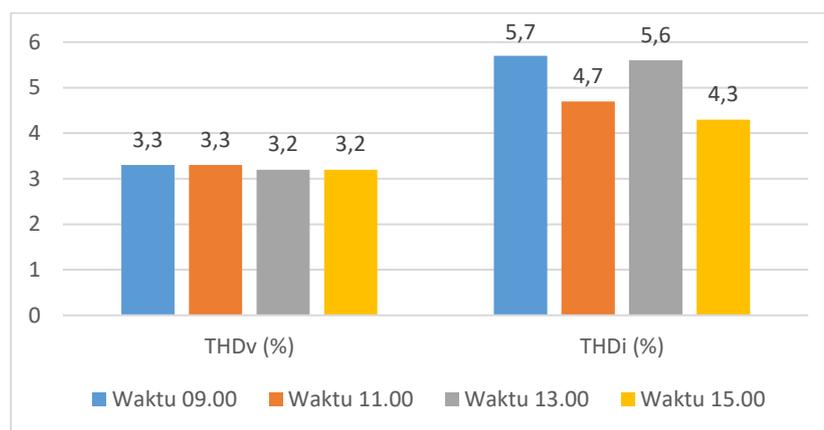


Gambar 4.10 Grafik nilai THDv dan THDi fasa R

Dari Grafik 4.10 dapat dilihat untuk fasa R di Gedung E11 nilai THDv tertinggi sebesar 3,6% pada jam 11.00, nilai THDi tertinggi sebesar 13,5% pada jam 11.00.

Tabel 4.15 Hasil pengukuran fasa S

Parameter	Waktu				Rata-rata
	09.00	11.00	13.00	15.00	
Tegangan (V)	215,7	215,1	215,2	215,2	215,3
Arus (A)	35,75	37,30	32,06	27,32	33,12
Aris Netral	12,59	12,94	12,59	12,46	12,65
THDv (%)	3,3	3,3	3,2	3,2	3,25
THDi (%)	5,7	4,7	5,6	4,3	5,075
Frekuensi (Hz)	50	50	50	50	50
P (kW)	-7,15	-7,20	-7,27	-7,17	-7,2
Q (kVAR)	1,31	1,33	1,41	1,30	1,34
S (VA)	-7,27	-7,30	-7,37	-7,30	-7,31
Pf	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98

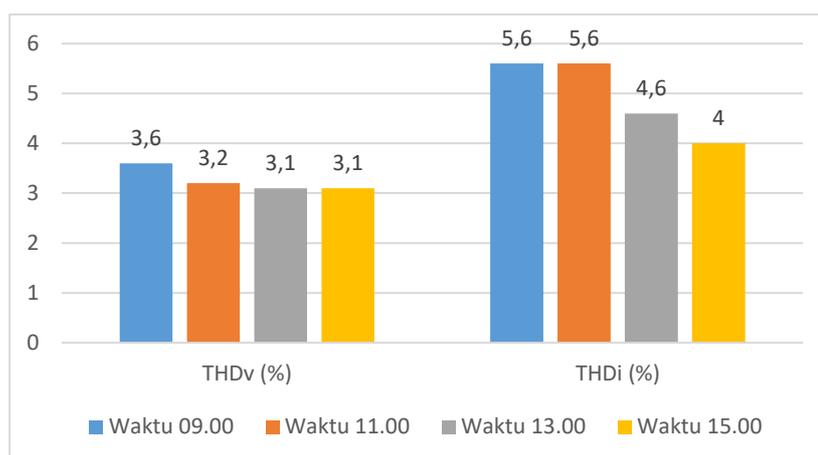


Gambar 4.11 Grafik nilai THDv dan THDi fasa S

Dari Grafik 4.11 dapat dilihat untuk fasa S di Gedung E11 nilai THDv tertinggi sebesar 3,3% pada jam 11.00, nilai THDi tertinggi sebesar 5,7% pada jam 09.00.

Tabel 4.16 Hasil pengukuran fasa T

Parameter	Waktu				Rata-rata
	09.00	11.00	13.00	15.00	
Tegangan (V)	211,7	211,1	212,3	211,7	211,7
Arus (A)	30,51	32,05	28,51	20,19	27,82
Aris Netral	12,59	12,94	12,59	12,46	12,65
THDv (%)	3,6	3,2	3,1	3,1	3,25
THDi (%)	5,6	5,6	4,6	4,0	4,95
Frekuensi (Hz)	50	50	50	50	50
P (kW)	-6,42	-6,38	-6,40	-6,43	-6,41
Q (kVAR)	0,35	0,32	0,35	0,36	0,35
S (VA)	-6,43	-6,41	-6,46	-6,46	-6,44
Pf	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99



Gambar 4.12 Grafik nilai THDv dan THDi fasa T

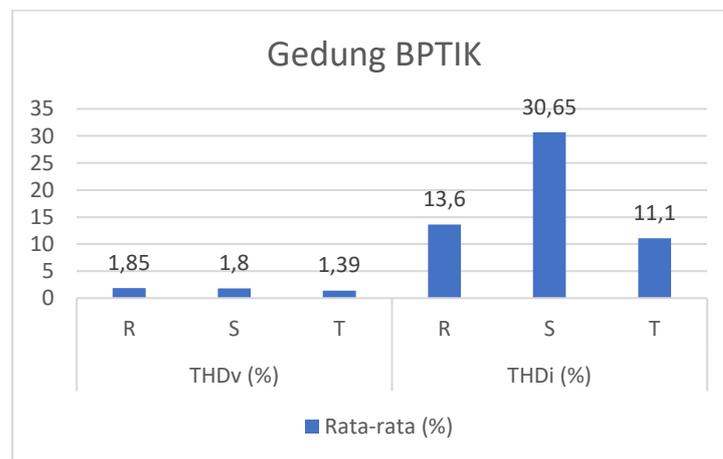
Dari Grafik 4.12 dapat dilihat untuk fasa R di Gedung E11 nilai THDv tertinggi sebesar 3,6% pada jam 09.00, nilai THDi tertinggi sebesar 5,6% pada jam 11.00.

4.2.2. Pembahasan

Dari hasil penghitungan data sebelumnya, dapat diambil lagi untuk nilai rata-rata THDv dan THDi masing-masing gedung setiap harinya yang diambil dari nilai THDv dan THDi tertinggi yang ditunjukkan dengan tabel dan grafik berikut

Tabel 4.17 Nilai rata-rata harmonisa Gedung BPTIK

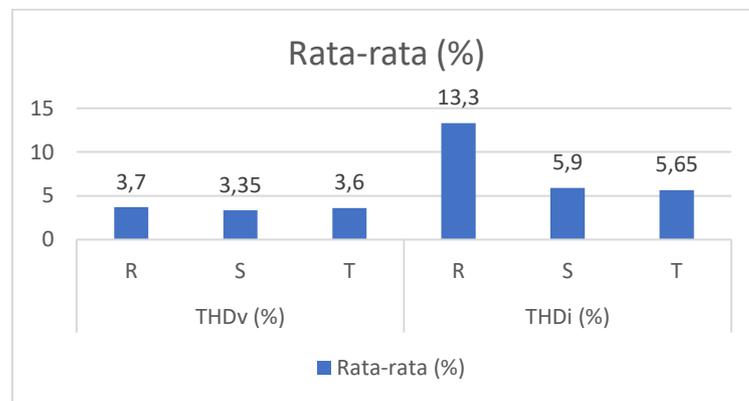
Gedung BPTIK				
Parameter		Hari Pertama	Hari Kedua	Rata-rata (%)
THD _v (%)	R	1,8	1,9	1,85
	S	1,8	1,8	1,8
	T	1,28	1,5	1,39
THD _i (%)	R	13,1	14,1	13,6
	S	37,2	24,1	30,65
	T	11,2	11	11,1

Gambar 4.13 Grafik nilai rata-rata THD_v dan THD_i Gedung BPTIK

Dari grafik 4.13 dapat dilihat bahwa nilai THD_v di Gedung BPTIK rata-rata tertinggi adalah 1,85% di fasa R. Dengan mengacu pada Standard IEEE 519:1992 di mana batas untuk THD_v adalah 5%, maka Gedung BPTIK masih memenuhi standard untuk THD_v. Sementara untuk nilai rata-rata tertinggi THD_i berada di angka 30,65% yang terjadi di fasa S, di mana standard yang diperuntukkan untuk THD_i adalah sebesar 15%, maka Gedung BPTIK sudah tidak memenuhi standard untuk THD_i.

Tabel 4.18 Nilai rata-rata harmonisa Gedung E11

Gedung E11					
Parameter		Hari Pertama	Hari Kedua	Rata-rata (%)	
THDv (%)	R	3,8	3,6	3,7	
	S	3,4	3,3	3,35	
	T	3,6	3,6	3,6	
THDi (%)	R	13,1	13,5	13,3	
	S	6,1	5,7	5,9	
	T	5,7	5,6	5,65	



Gambar 4. 14 Grafik nilai rata-rata THDv dan THDi Gedung E11

Dari grafik 4.14 dapat dilihat bahwa nilai THDv di Gedung E11 hampir merata di setiap fasanya dengan rata-rata tertinggi adalah 3,7% di fasa R. Dengan mengacu pada Standard IEEE 519:1992 di mana batas untuk THDv adalah 5%, maka Gedung BPTIK masih memenuhi standard untuk THDv namun angkanya sudah mendekati batas aman yang diijinkan. Sementara untuk nilai rata-rata tertinggi THDi berada di angka 13,3% yang terjadi di fasa S, di mana standard yang diperuntukkan untuk THDi adalah sebesar 15%, maka Gedung BPTIK masih memenuhi standard untuk THDi tetapi angkanya sudah hampir mendekati batas aman yang diijinkan.

Tabel 4.20 Hasil pengukuran arus di Gedung BPTIK

		Gedung BPTIK				
		09.00	11.00	13.00	15.00	
Hari Pertama	Arus	R	19,07	17,64	17,85	19,16
		S	9,2	8,89	9,19	8,85
		T	34,5	34,31	34,61	33,96
	Arus Netral	22,3	22,29	22,57	20,11	
Hari Kedua	Arus	R	9,61	10,31	17,7	10,33
		S	14,4	13,18	8,78	14,13
		T	38	37,5	34,12	33,34
	Arus Netral	20,35	20,27	20,42	20,26	

Dari Tabel 4.20 dapat diketahui bahwa beban pada Gedung BPTIK dalam kondisi tidak seimbang, yang ditandai dengan terjadinya perbedaan nilai arus dan daya yang signifikan pada setiap fasa. Beban terbesar terjadi pada fasa T di mana arus pada fasa T sebesar 38 Ampere (jam 09.00). Akibat ketidakseimbangan beban mengakibatkan terjadinya arus netral yang diperparah oleh adanya harmonisa orde ganjil akibat penggunaan beban nonlinier. Besarnya arus netral menyamai bahkan melebihi arus pada fasa.

Beban yang tidak seimbang menimbulkan rugi-rugi pada netral yang besarnya:

$$P_{\text{Netral}} = I_N^2 \cdot R_N$$

$$P_{\text{Netral}} = (22,3)^2 \times 0,6842 = 340,25 \text{ W} = 0,340 \text{ kW (Hari pertama jam 09.00)}$$

$$P_{\text{Netral}} = (22,57)^2 \times 0,6842 = 348,5 \text{ W} = 0,349 \text{ kW (Hari pertama jam 13.00)}$$

$$P_{\text{Netral}} = (20,35)^2 \times 0,6842 = 283,3 \text{ W} = 0,283 \text{ kW (Hari kedua jam 09.00)}$$

$$P_{\text{Netral}} = (20,42)^2 \times 0,6842 = 285,3 \text{ W} = 0,285 \text{ kW (Hari kedua jam 13.00)}$$

Tabel 2.21 Hasil pengukuran arus di Gedung E11

			Gedung E11			
			09.00	11.00	13.00	15.00
Hari Pertama	Arus	R	21,52	21,34	21,73	21,7
		S	32,1	30,31	33,33	33,38
		T	20,22	20,04	20,29	20,19
	Arus Netral	12,01	12,59	12,94	17,08	
Hari Kedua	Arus	R	31,95	32,02	26,53	21,49
		S	35,75	37,3	32,06	27,32
		T	30,51	32,05	28,51	20,19
	Arus Netral	12,59	12,94	12,59	12,46	

Dari Tabel 4.21 dapat diketahui bahwa beban pada Gedung E11 dalam kondisi yang cukup baik, dimana besarnya arus tiap fasa tidak berbeda secara signifikan. Fasa yang menanggung beban tertinggi adalah fasa S. Walaupun begitu tetap muncul arus netral yang besarnya mencapai setengah dari nilai arus fasa yang tetap menjadi perhatian.

BAB V

PENUTUP

5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil simpulan sebagai berikut:

1. Untuk kedua Gedung BPTIK dan E11, besarnya harmonisa tegangan (THD_v) masih di bawah 5% yang artinya belum melampaui batas yang ditentukan sesuai IEEE Std. 519-1992.
2. Harmonisa tegangan yang tertinggi di Gedung BPTIK adalah rata-rata sebesar 1,8% pada fasa R, dan harmonisa tegangan tertinggi di Gedung E11 adalah rata-rata sebesar 3,7% pada fasa R.
3. Harmonisa arus (THD_i) yang terjadi di Gedung BPTIK tertinggi adalah rata-rata sebesar 30,65% pada fasa S sehingga sudah melampaui batas yang diijinkan yaitu maksimal 15%. Untuk Gedung E11 harmonisa arus tertinggi rata-rata sebesar 13,3% pada fasa S yang masih diperbolehkan tetapi sudah mendekati batas aman.
4. Kondisi beban di Gedung BPTIK tidak terdistribusi secara merata sehingga arus antar fasa memiliki perbedaan nilai yang signifikan, serta adanya arus netral yang besar melebihi arus fasa sehingga menyebabkan rugi-rugi daya pada kawat netral mencapai 0,349 kW .

5.2 Saran

Saran yang dapat peneliti berikan untuk kedepannya sebagai berikut:

1. Pengukuran nilai harmonisa dan parameter lain dapat ditingkatkan misal menjadi 1 jam sekali untuk memperoleh data yang lebih akurat.
2. Menggunakan variasi jenis beban yang secara spesifik sebagai sumber utama munculnya harmonisa, seperti *Air Conditioner (AC)*, motor listrik.
3. Penelitian dapat dikembangkan dengan menggunakan *software* komputer seperti *Matlab* sebagai alat untuk menganalisis harmonisa secara lengkap dan dapat dilakukan simulasi upaya untuk mereduksi harmonisa.

DAFTAR PUSTAKA

- Alexander, Marc T Thompson. 2007. *Power Quality in Electrical System*. The McGraw Hills Companies. New York.
- Arikunto, S. 2006. *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktik*. Jakarta. Rineka Cipta.
- Arrillaga, J. dan Watson, N.R. 2003. *Power System Harmonics*. 2nd ed. John Wiley & Sons, Ltd. England.
- Creswell, J.W. 2009. *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (3rd ed). Thousand Oaks. Sage Publications, Inc.
- Dugan, Roger C. dan McGranaghan. 2004. *Electrical Power Systems Quality*. 2nd ed. The McGraw Hills Companies. New York.
- Fujita dan H, Akagi,. 2007. *Voltage Regulation Performance of a Shunt Active Filter Intended for Installation on a Power Distribution System*. IEEE Transactions on Power Electronics. Volume 22.
- Hardi, Supri dan Yaman. 2013. *Peredaman Harmonisa dan Perbaikan Daya Aplikasi Beban Rumah Tangga*. Lhoksumawe. Jurnal Litek. Volume 10, Nomor 1.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). 1993. *Recommended Practices and Requirement for Harmonics Control in Electrical Power System*. IEEE Standard 519-1992. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York, USA.
- Mack, Grady. 2005. *Understanding Power System Harmonics*. University of Texas. Austin.
- Permadi, S.B. (2004). *Studi Harmonisa Tegangan dan Arus di Gedung A Universitas Kristen Petra Surabaya*. Skripsi Sarjana pada FTI UK Petra Surabaya:tidak diterbitkan.
- Priyono, 2008. *Metode Penelitian Kuantitatif*. Sidoarjo. Zifatama.
- Rashid, M. H. 2004. *Power Electronics, Circuit, Device and Application*. 3rd ed. Pearson Education, Inc. Los Angeles.
- Reiger, Heinze. 1987. *Rangkaian Magnet* (terjemahan B.S. Anwir, Arie Hernadhy). Jakarta. Siemens AG.
- Rosa, De La Fransisco. 2006. *Harmonics and Power Sistem*. Distribution Control Sistem, Inc. Hazelwood, Missouri, USA.
- Salim, Peter dan Yenni Salim. 2002. *Kamus Bahasa Indonesia Kontemporer*. Jakarta. Modern English Press.

- Sankaran, C. 2002. *Power Quality*. CRC Press LLC. Washington, D.C.
- Setiawan, Awan. 2007. Kajian Pengaruh Harmonisa Terhadap Sistem Tenaga Listrik. *Jurnal ELTEK*. Volume 5, Nomor 2.
- Sharma, Sanjeev. 2007. *Basics of Eelectrical Engineering*. International Publishing House Pvt. Ltd.
- Siyoto, S. dan M. Ali Sodik. 2015. *Dasar Metodologi Penelitian*. Yogyakarta. Literasi Media Publishing.
- Sugiarto, Hadi. 2012. *Kajian Harmonisa Arus dan Tegangan Listrik di Gedung Administrasi Politeknik Negeri Pontianak*. Pontianak. *Jurnal Polinep*. Volume 8, Nomor 2.
- Sugiyono. 2008. *Metode Penelitian Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung. CV Alfabeta.
- Suryadi, Aris. 2016. *Studi Harmonisa Ars dan Tegangan Listrik Pada Kampus Politeknik Enjinereng Indorama*. *Jurnal SINERGI*. Volume 20, Nomor 3.
- Theraja, B.L. 1984. *Text Book of Electrical Technology*. New Delhi. Nirja Construction and Development.
- Zulkarnaini, 2012. *Pemetaan Tingkat Distorsi Harmonik Pada Gedung Kampus Institut Teknologi Padang*. *Jurnal Teknik Elektro ITP*. Volume 1, Nomor 2.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Pengukuran di Gedung BPTIK Hari Pertama

Parameter			Tempat: BPTIK (Hari/Tgl): Senin, 5 Agustus 2019												
			Jam 09.00			Jam 11.00			Jam 13.00			Jam 15.00			
Tegangan rms (V)	V-RN	V-RS	211	370	209,6	369,5	211	370,3	209,7	368,6					
	V-SN	V-ST	218	372,2	217,9	371,8	218,3	373,7	217,9	372,9					
	V-TN	V-RT	209,7	365,1	211	369,6	211,2	365	211,1	364,9					
Arus rms (A)	I-R		19,07			17,64			17,85			19,16			
	I-S		9,2			8,89			9,19			8,95			
	I-T		34,5			34,31			34,61			35,96			
Arus Netral (A)			22,3			22,29			22,57			20,11			
THDv (%)	R	S	T	1,6	1,8	1,28	1,7	1,8	1,3	1,8	1,8	1,1	1,8	1,7	1,1
THDi (%)	R	S	T	13,1	35,9	11,2	12,3	36,8	9,8	10	37,2	6,6	9,8	36	8,9
Frekuensi (Hz)			50			50			50			50			
P (kW)			-12,5			-12,25			-12,90			-12,58			
Q (kVAR)			3,62			3,37			3,57			3,42			
S (kVA)			13,05			12,70			12,90			13,03			
PF			-0,96			-0,96			-0,96			-0,96			

Lampiran 2. Hasil Pengukuran di Gedung BPTIK Hari Kedua

Parameter				Tempat: BPTIK (Hari/Tgl): Selasa, 6 Agustus 2019											
				Jam 09.00			Jam 11.00			Jam 13.00			Jam 15.00		
Tegangan rms (V)	V-RN	V-RS		207,3	365,9	210,3	366,2	209,7	368,7	208,3	368				
	V-SN	V-ST		216,1	369,6	215,5	365,1	217,9	372,6	215	369,3				
	V-TN	V-RT		209,9	361,3	207,1	357,7	211,2	364,7	210,1	362,3				
Arus rms (A)	I-R			9,61			10,31			17,70			10,33		
	I-S			14,40			13,18			8,78			14,13		
	I-T			38,0			37,50			34,12			33,34		
Arus Netral (A)				20,35			20,27			20,42			20,26		
THDv (%)	R	S	T	1,9	1,8	1,2	1,8	1,8	1,5	1,9	1,8	1,2	1,9	1,8	1,5
THDi (%)	R	S	T	14,1	24,1	10	11,3	22,3	9,4	12,5	20,7	11,0	10,5	21,2	9,0
Frekuensi (Hz)				50			50			50			50		
P (kW)				-12,69			-11,51			-12,26			-11,82		
Q (kVAR)				2,64			2,41			2,50			2,32		
S (kVA)				12,96			11,75			12,51			12,09		
PF				-0,97			-0,96			-0,96			-0,98		

Lampiran 3. Hasil Pengukuran di Gedung E11 Hari Pertama

Parameter		Tempat: E 11 (Hari/Tgl): Rabu, 7 Agustus 2019													
		Jam 09.00			Jam 11.00			Jam 13.00			Jam 15.00				
Tegangan rms (V)	V-RN	V-RS	214,5	371,2	215,3	371,2	214,9	371,6	215	371,5					
	V-SN	V-ST	216,2	374,5	216,5	373,9	216	374,2	216	374,4					
	V-TN	V-RT	215,2	369,3	212,9	369,8	212,5	368,9	212,7	369,0					
Arus rms (A)	I-R		21,52			21,39			21,73			21,7			
	I-S		32,10			30,31			33,33			33,38			
	I-T		20,22			20,09			20,29			20,19			
Arus Netral (A)			12,01			12,59			12,99			17,08			
THDv (%)	R	S	T	3,6	3,2	3,3	3,8	3,3	3,2	3,7	3,33	3,2	3,7	3,4	3,6
THDi (%)	R	S	T	9,01	6,1	5,7	13,1	5,3	4,7	9,1	5,3	4,7	10,8	5,7	5,1
Frekuensi (Hz)			50			50			50			50			
P (kW)			6,62			6,63			6,82			6,83			
Q (kVAR)			-0,39			-0,38			-0,65			-0,65			
S (kVA)			6,63			6,64			6,85			6,86			
Pf			0,99			0,99			0,99			0,99			

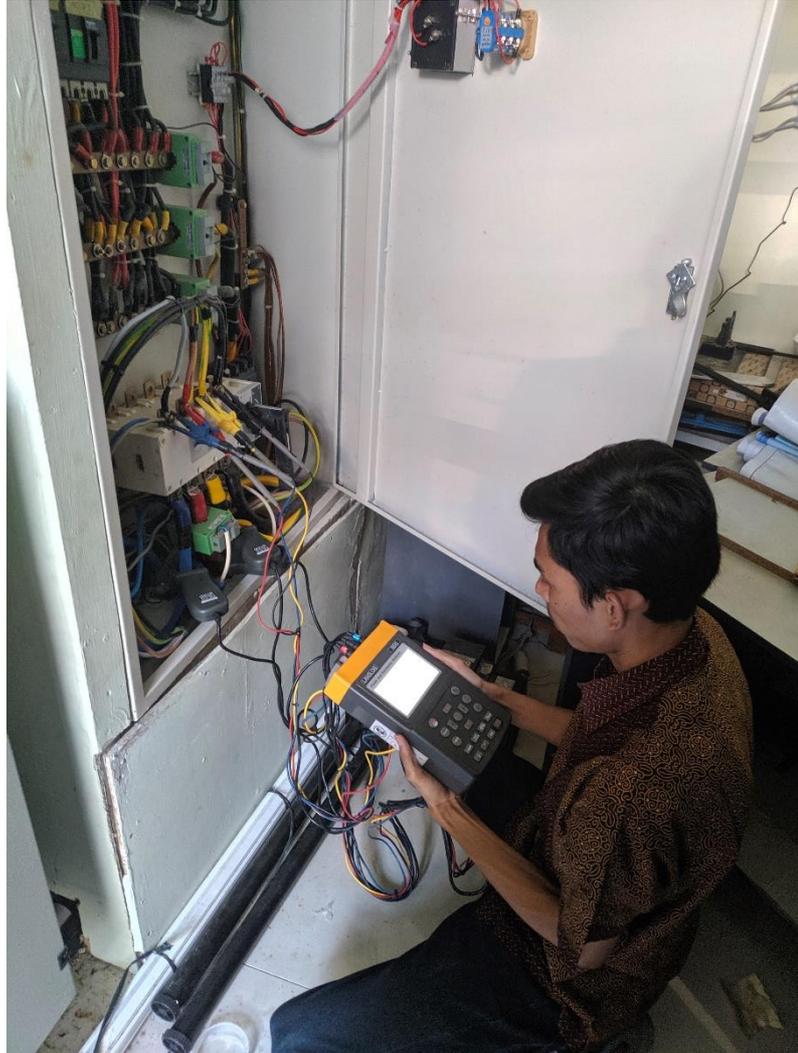
Lampiran 4. Hasil Pengukuran di Gedung E11 Hari Kedua

Parameter				Tempat: E11 (Hari/Tgl): Kamis, 8 Agustus 2019											
				Jam 09.00			Jam 11.00			Jam 13.00			Jam 15.00		
Tegangan rms (V)	V-RN	V-RS	213,4	369,0	213,9	369,0	213,5	368,3	215,1	368,9					
	V-SN	V-ST	215,7	372,6	215,1	373,1	215,2	369,7	215,2	372,3					
	V-TN	V-RT	211,7	366,8	211,1	366,7	212,3	368,5	211,7	368,8					
Arus rms (A)	I-R		31,95			32,02			26,53			21,49			
	I-S		35,75			37,30			27,32			32,06			
	I-T		30,51			32,05			28,51			20,19			
Arus Netral (A)			12,59			12,99			12,59			12,46			
THDv (%)	R	S	T	3,2	3,3	3,2	3,6	3,3	3,2	3,3	3,2	3,1	2,9	3,2	3,1
THDi (%)	R	S	T	9,1	5,7	5,6	3,5	4,7	5,6	10,3	5,6	4,6	7,1	4,3	4,0
Frekuensi (Hz)				50			50			50			50		
P (kW)				-20,41			-20,03			16,42			6,63 16,46		
Q (kVAR)				4,31			3,78			-2,66			-0,78 2,83		
S (kVA)				20,86			20,38			16,63			6,64 16,70		
Pf				-0,97			-0,98			0,98			0,98		

Lampiran 5. Pengukuran di LVMDP Gedung BPTIK



Lampiran 6. Pengukuran di LVMDP Gedung E11



Lampiran 6. Surat Tugas Dosen Pembimbing Skripsi


UNNES

**KEPUTUSAN
DEKAN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
Nomor: 173 / FT - UNNES / 2018**

**Tentang
PENETAPAN DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI/TUGAS AKHIR SEMESTER
GASAL/GENAP
TAHUN AKADEMIK 2017/2018**

Menimbang : Bahwa untuk memperlancar mahasiswa Jurusan/Prodi Teknik Elektro/Pend. Teknik Elektro Fakultas Teknik membuat Skripsi/Tugas Akhir, maka perlu menetapkan Dosen-dosen Jurusan/Prodi Teknik Elektro/Pend. Teknik Elektro Fakultas Teknik UNNES untuk menjadi pembimbing.

Mengingat : 1. Undang-undang No.20 Tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional (Tambahan Lembaran Negara RI No.4301, penjelasan atas Lembaran Negara RI Tahun 2003, Nomor 78)
2. Peraturan Rektor No. 21 Tahun 2011 tentang Sistem Informasi Skripsi UNNES
3. SK. Rektor UNNES No. 164/O/2004 tentang Pedoman penyusunan Skripsi/Tugas Akhir Mahasiswa Strata Satu (S1) UNNES;
4. SK Rektor UNNES No.162/O/2004 tentang penyelenggaraan Pendidikan UNNES;

Menimbang : Usulan Ketua Jurusan/Prodi Teknik Elektro/Pend. Teknik Elektro Tanggal 31 Januari 2018

MEMUTUSKAN

Menetapkan :

PERTAMA : Menunjuk dan menugaskan kepada:

Nama : Drs. Said Sunardiyo, M.T
NIP : 196505121991031003
Pangkat/Golongan : IV/c
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
Sebagai Pembimbing

Untuk membimbing mahasiswa penyusun skripsi/Tugas Akhir :

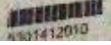
Nama : Hendi Dwi Saputro
NIM : 5301412010
Jurusan/Prodi : Teknik Elektro/Pend. Teknik Elektro
Topik : Analisis Harmonisa Arus dan Tegangan Listrik di Gedung BPTIK UNNES dan E11 Teknik Elektro

KEDUA : Keputusan ini mulai berlaku sejak tanggal ditetapkan.

Tembusan
1. Pembantu Dekan Bidang Akademik
2. Ketua Jurusan
3. Petinggal

DITETAPKAN DI : SEMARANG
PAJODA TANGGAL : 1 Februari 2018
DEKAN


Dr. Nur Qudus, M.T
NIP 196911301994031001


5301412010

Lampiran 7. Surat Ijin Penelitian di Gedung BPTIK


KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
FAKULTAS TEKNIK
 Gedung Dekanat FT, Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang
 Telepon (024) 8508101, Faksimile (024) 8508009
 Laman: <http://ft.unnes.ac.id>, surel: ft@mail.unnes.ac.id

Nomor : B/8813/UN37.1.5/LT/2019 31 Juli 2019
 Hal : Izin Penelitian

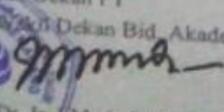
Yth. Kepala UPT TIK UNNES
 UPT TIK UNNES

Dengan hormat, bersama ini kami sampaikan bahwa mahasiswa di bawah ini:

Nama : Hendi Dwi Saputro
 NIM : 5301412010
 Program Studi : Pendidikan Teknik Elektro, S1
 Semester : Genap
 Tahun akademik : 2018/2019
 Judul : Analisis Harmonisa Arus dan Tegangan Listrik Di Gedung BPTIK UNNES dan E11 Teknik Elektro

Kami mohon yang bersangkutan diberikan izin untuk melaksanakan penelitian skripsi di perusahaan atau instansi yang Saudara pimpin, dengan alokasi waktu 5 Agustus s.d. 9 Agustus 2019.

Atas perhatian dan kerjasama Saudara, kami mengucapkan terima kasih.

Dekan FT
 Dekan Bid. Akademik,

 Dr. Ir. Made Sudana, M.Pd. IPM
 SIP 195605081984031004

Termination:
 Dekan FT,
 Universitas Negeri Semarang

Lampiran 8. Surat Ijin Penelitian di Gedung E11

	KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG FAKULTAS TEKNIK Gedung Dekanat FT, Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang Telepon (024) 8508101, Faksimile (024) 8508009 Laman: http://ft.unnes.ac.id , surel: ft@mail.unnes.ac.id	
	<hr/>	
Nomor	: B/8812/UN37.1.5/LT/2019	31 Juli 2019
Hal	: Izin Penelitian	
<p>Yth. Ketua Jurusan Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang</p>		
<p>Dengan hormat, bersama ini kami sampaikan bahwa mahasiswa di bawah ini:</p>		
Nama	: Hendi Dwi Saputro	
NIM	: 5301412010	
Program Studi	: Pendidikan Teknik Elektro, S1	
Semester	: Genap	
Tahun akademik	: 2018/2019	
Judul	: Analisis Harmonisa Arus dan Tegangan Listrik Di Gedung BPTIK UNNES dan E11 Teknik Elektro	
<p>Kami mohon yang bersangkutan diberikan izin untuk melaksanakan penelitian skripsi di perusahaan atau instansi yang Saudara pimpin, dengan alokasi waktu 5 Agustus s.d. 9 Agustus 2019.</p> <p>Atas perhatian dan kerjasama Saudara, kami mengucapkan terima kasih.</p>		
	 Dr. Ir. T Made Sudana, M.Pd. IPM NIP. 195605081984031004	Dekan FT Wakil Dekan Bid. Akademik,
<p>Tembusan: Dekan FT, Universitas Negeri Semarang</p>		