

Bidang Unggulan: Infrastruktur, Material dan Teknologi informasi
Kode Topik Penelitian : D 9.2
Kode Rumpun Ilmu : 451/Teknik Elektro

**LAPORAN AKHIR
PENELITIAN UNGGULAN PROGRAM STUDI**



**PENGARUH NILAI PENTANAHAN TITIK NETRAL
TRANSFORMATOR UNTUK PERUBAHAN ARUS HARMONIC, ARUS
NETRAL DAN RUGI-RUGI DAYA PADA SISTEM TENAGA LISTRIK**

Tim Peneliti :

Ir. I Wayan Rinas, MT. (0031126481)
I Made Suartika, ST. MT. (0026036505)

**Dibiayai oleh:
DIPA PNBP Universitas Udayana TA-2019
Sesuai dengan Surat Perjanjian Penugasan Pelaksanaan Penelitian
Nomor: 2500.1/UN14.2.5.II/LT/2019 , tanggal 10 April 2019**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS UDAYANA
OKTOBER 2019**

HALAMAN PENGESAHAN
PENELITIAN UNGGULAN PROGRAM STUDI



Judul : PENGARUH NILAI PENTANAHAN TITIK NETRAL TRANSFORMATOR
UNTUK PERUBAHAN ARUS HARMONIC, ARUS NETRAL DAN RUGI-
RUGI DAYA PADA SISTEM TENAGA LISTRIK

Peneliti / Pelaksana

Nama lengkap : Ir. I WAYAN RINAS, MT
NIP/NIDN : 196412311992031028 / 0031126481
Jabatan Fungsional/Stuktural : Lektor Kepala / Tidak ada
Program Studi : Sarjana Teknik Elektro
Nomor HP : 08123664588
Alamat Surel (e-mail) : rinas@unud.ac.id

Anggota 1

Nama Lengkap : I Made Suartika, ST., MT
NIDN : 0026036505
Perguruan Tinggi : Magister Teknik Elektro

Institusi Mitra (jika ada)

Nama Institusi Mitra :
Alamat :
Penanggung Jawab :

Tahun Pelaksanaan : Tahun ke-1 dari rencana 1 tahun
Biaya Diusulkan : Rp. 25.000.000
Biaya Disetujui : Rp. 25.000.000

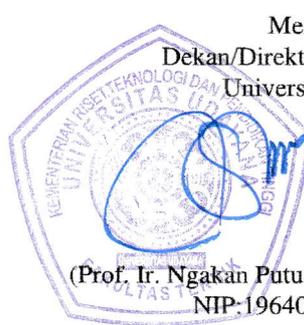


Mengetahui
Ketua Jurusan/Kepala Bagian Teknik Elektro

(Dr. Ida Bagus Gede Manuaba, ST., MT)
NIP:196901091997031003

Denpasar, 27 Oktober 2019
Ketua Tim Pelaksana

(Ir. I WAYAN RINAS, MT)
NIP:196412311992031028



Menyetujui,
Dekan/Direktur Fakultas Teknik
Universitas Udayana

(Prof. Ir. Ngakan Putu Gede Suardana, MT, Ph.D.)
NIP:196409171989031002

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
DAFTAR TABEL.....	v
ABSTRAK	vi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 <i>State of the art</i>	3
2.2 Kualitas Daya Listrik	4
2.2.1 Harmonisa Pada Sistem Tenaga Listrik.....	4
2.3 Sistem Pentanahan.....	6
2.4 Arus netral.....	7
2.5 Perhitungan <i>losses</i> pada transformator akibat harmonisa.....	9
BAB III METODE PENELITIAN.....	10
3.1 Bagan konsep.....	10
3.2. Analisis data.....	10
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	12
4.1 Sistem Kelistrikan RSUD Klungkung.....	12
4.2 Standar THD Arus (THD_i).....	13
4.3 Pemodelan Sistem Kelistrikan.....	14
4.4 Simulasi THD_i	16
4.5 Analisa Rugi-Rugi Daya akibat Arus Harmonisa (I_h).....	20
4.6 Analisa hasil simulasi THD_i , I_h dan P_{LL} untuk kondisi Eksisting dan dengan bebrapa nilai tahanan pentanahan titik netral.....	30
BAB V SIMPULAN.....	32
4.1 Simpulan.....	32
DAFTAR PUSTAKA	33
LAMPIRAN.....	34

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Beban Terhubung Bintang.....	7
Gambar 2.2 Fasor Tegangan dan Arus Untuk Beban Terhubung Bintang.	8
Gambar 2.3 Tidak Seimbang Terhubung Bintang.....	8
Gambar 3.1 Alur Analisis.....	11
Gambar 4.1 <i>Single Line diagram RSUD Klungkung</i>	12
Gambar 4.2 Pemodelan Sistem Kelistrikan pada Kondisi Eksisting.....	14
Gambar 4.3 Pemodelan Sistem dengan pengoperasian nilai R_{netral} yang Berbeda.....	14
Gambar 4.4 Sinyal Arus dan Orde Harmonisa pada Phasa R pada Kondisi Eksisting.....	17
Gambar 4.5 Sinyal Arus dan Orde Harmonisa pada Phasa S pada Kondisi Eksisting.....	18
Gambar 4.6 Sinyal Arus dan Orde Harmonisa pada Phasa T pada Kondisi Eksisting.....	18
Gambar 4.7 Sinyal Arus dan Orde Harmonisa pada Phasa R dengan $R_n 10 \Omega$...	19
Gambar 4.8 Sinyal Arus dan Orde Harmonisa pada Phasa S dengan $R_n 10 \Omega$...	19
Gambar 4.9 Sinyal Arus dan Orde Harmonisa pada Phasa T dengan $R_n 10 \Omega$..	20
Gambar 4.10 Perbandingan hasil THD_i & I_n untuk masing-masing simulasi....	30
Gambar 4.11 Perbandingan hasil rugi-rugi daya (P_{LL}) untuk masing-masing Simulasi.....	31

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai dari P_{EC-R}	9
Tabel 4.1 Daya Aktif dan Arus Beban pada MDP RUSD Kabupaten Klungkung	13
Tabel 4.2 Batas Maksimum THD Arus.....	13
Tabel 4.3 Beban R, L dan C untuk fasa R,s dan T.....	16
Tabel 4.4 Persentase I_{THD} Masing-Masing Fasa pada Kondisi Eksisting.....	18
Tabel 4.5 Hasil simulasi dengan nilai tahanan R_n yang berbeda.....	20
Tabel 4.6 Nilai Arus Harmonisa (I_h) untuk Orde Harmonisa Ganjil pada Fasa R, S, dan T Kondisi Eksisting.....	21
Tabel 4.7 Nilai I_h pu untuk Orde Harmonisa Ganjil pada Fasa R, S, dan T Kondisi Eksisting.....	22
Tabel 4.8 Nilai I_h^2 untuk Fasa R Kondisi Eksisting.....	22
Tabel 4.9 Nilai I_h^2 dan untuk Fasa S Kondisi Eksisting.....	23
Tabel 4.10 Nilai I_h^2 dan untuk Fasa T Kondisi Eksisting.....	23
Tabel 4.11 Hasil Pehitungan $P_{LL}(p.u)$ pada Fasa R, S, dan T Kondisi Eksisting	24
Tabel 4.12 Hasil Pehitungan P_{LL} kW pada Fasa R, S, dan T Kondisi Eksisting	24
Tabel 4.13 Nilai Arus Harmonisa (I_h) Untuk Orde Harmonisa Ganjil pada Fasa R, S, dan T dng $R_n = 10 \Omega$	25
Tabel 4.14 Nilai Arus Harmonisa (I_h) (p.u) Untuk Orde Harmonisa Ganjil pada Fasa R, S, dan T dng $R_n = 10 \Omega$	26
Tabel 4.15 Nilai I_h^2 untuk Fasa R, S dan T dng $R_n = 10 \Omega$	27
Tabel 4.16 Hasil Pehitungan P_{LL} (p.u) pada Fasa R, S, dan T $R_n = 10 \Omega$	27
Tabel 4.17 Hasil Pehitungan P_{LL} kW pada Fasa R, S, dan T dengan $R_n 10 \Omega$..	28
Tabel 4.18 Hasil Pehitungan P_{LL} kW pada Fasa R, S, dan T dengan $R_n 5 \Omega$...	29
Tabel 4.19 Hasil Pehitungan P_{LL} kW pada Fasa R, S, dan T dengan $R_n 1 \Omega$...	29
Tabel 4.20 Hasil Pehitungan P_{LL} kW pada Fasa R, S, dan T dengan $R_n 0,1\Omega$..	29
Tabel 4.21 Perbandingan hasil THD _i & I_n untuk masing-masing simulasi.....	30
Tabel 4.22 Perbandingan hasil rugi-rugi daya (P_{LL}) untuk masing-masing Simulasi.....	31

ABSTRAK

Pengoperasian beban yang berbasis elektronika daya akan mengakibatkan terjadinya distorsi periodic gelombang arus sinus yang disebut THDi (*total harmonic distortions*). Arus harmonisa yang melebihi standar dapat menyebabkan arus netral (I_n) mengalir pada kawat netral transformator meskipun dalam kondisi bebanseimbang. Selain harmonisa permasalahan ketidakseimbangan beban akan meningkatkan arus yang mengalir pada kawat netral, sehingga dapat merugikan sistem kelistrikan tersebut.

Analisa dilakukan dengan mensimulasikan system pada kondisi eksisting dan kondisi dengan beberapa nilai resistansi pentanahan (R_n) pada titik netral tranformator menggunakan Simulink Matlab. Dari hasil simulasi pada kondisi eksisting didapatkan THDi untuk pisa R 17,87 %, S 16,71 % , T 17,34 % dan I_n sebesar 22,58 A. Hasil simulasi dengan R_n 10 Ω didapatkan untuk pisa R 15,54 %, S 14,99 %, T 10, 84 % dan I_n sebesar 1,039 A . R_n 5 Ω didapatkan untuk pisa R 15,3 %, S 14,88 %, T 10, 76 % dan I_n sebesar 1,99 A. R_n 1 Ω didapatkan untuk pisa R 14,07 %, S 14,32 %, T 10, 71 % dan I_n sebesar 6,97 A. R_n 0,5 Ω didapatkan untuk pisa R 13,68 %, S 14,13 %, T 11, 27 % dan I_n 9,91 A.

Hasil analisa rugi-rugi daya akibat arus harmonisa didapatkan untuk kondisi eksisting 11,63 kW (6,4 %); untuk R_n 10 Ω didapatkan 7,59 kW (4,16 %); R_n 5 Ω didapatkan 7,48 kW (4,1 %); R_n 1 Ω didapatkan 6,99 kW (3,83 %); R_n 0,5 Ω didapatkan 7,03 kW (3,86 %).

Kata kunci : THDi , Arus harmonisa, arus netral dan pentanahan titik netral

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan kebutuhan primer yang tidak dapat dipisahkan dari kehidupan masyarakat, sehingga didalam pendistribusiannya harus memiliki keandalan dengan kontinuitas pelayanan yang baik, kualitas daya yang baik supaya peralatan yang digunakan tidak mudah mengalami kerusakan, harmonisa merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas daya listrik yang digunakan masyarakat.

Harmonisa merupakan distorsi periodik dari gelombang sinus tegangan dan arus, yang timbul dari pengoperasian beban listrik yang sebagian besar diakibatkan dari beban Nonlinier, dimana akan terbentuk gelombang yang berfrekuensi tinggi dari kelipatan frekuensi fundamentalnya, yang membuat kualitas daya dari suatu sistem tenaga listrik menjadi tidak baik (Dugan, dkk. 2004).

Sistem tenaga listrik tidak luput dari permasalahan ketidakseimbangan beban dan harmonisa. ketidak seimbangan beban terjadi saat, ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° , ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° atau ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° . Ketidakseimbangan beban pada sistem dapat mengakibatkan adanya arus yang mengalir pada titik netral (Dugan, dkk. 2004). Untuk menjaga/meningkatkan kualitas daya listrik tersebut, salah satunya dibutuhkan sistem pentanahan yang baik dan memnuhi standar . Pentanahan merupakan suatu sistem pengamanan sistem tenaga listrik, gedung dan peralatanya serta manusia. Selain itu pentanahan juga berfungsi untuk mengurai arus yang mengalir pada titik netral, sehingga pada saat terjadi beban yang tidak seimbang pada system, maka arus yang mengalir pada titik netral dapat segera ditanahkan, sehingga sitem kelistrikannya tidak berbahaya bagi gedung dan peralatanya serta manusia. Dimana menurut PUIL 2011 untuk peralatan listrik dan elektronika, nilai R harus ≤ 5 ohm.

Kondisi beban yang tidak seimbang, dapat mengakibatkan mengalirnya arus netral pada kawat netral transformator , seharusnya jika pada kondisi yang seimbang arus yang mengalir pada titik netral sama dengan nol. (Dugan. 2004).

Berdasarkan latar belakang di atas penelitian ini akan menganalisis pengaruh pentanahan titik netral transformator untuk perubahan arus harmonic, arus netral dan rugi-rugi daya akibat harmonisa pada system tenaga listrik dengan menggunakan perangkat lunak Simulink MATLAB.

1.2 Rumusan masalah

Dari latar belakang di atas, dapat dibuat rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu: Bagaimanakah pengaruh nilai tahanan pentanahan titik netral transformator terhadap perubahan THDi dan arus yang mengalir pada titik netral, serta penurunan rugi-rugi daya pada transformator.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisa dan mengetahui perubahan arus harmonic, arus netral dan rugi-rugi daya transformator akibat pengaruh arus harmonic, beban tak-seimbang dan perubahan nilai tahanan pentanahan titik netral transformator.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil analisa penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai acuan dalam pembelajaran mengenai arus harmonic, pentanahan titik netral, dan rugi-rugi daya listrik akibat pengaruh beban yang tak seimbang dan pentanahan titik netral transformator. Hasil analisa ini juga berguna untuk mengetahui tingkat kandungan THD dan perubahan arus netral trafo pada sistem kelistrikan yang ada sekarang dan apakah sudah sesuai dengan standar yang diperbolehkan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *State of the art*

Analisis Perhitungan Rugi-rugi Daya Transformator Akibat Harmonik. Penelitian ini disusun oleh Candra Agusman pada tahun 2011. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu melakukan pengukuran dan perhitungan THD yang kemudian dibandingkan dengan IEEE standar 519-1992. Berdasarkan hasil pengukuran diketahui THD arus sebesar 25,57 %, sedangkan berdasarkan perhitungan THD diketahui THD arus sebesar 26,13 % sehingga dari kedua hasil THD tersebut diketahui bahwa telah melebihi standar IEEE 519-1992.

Analisis Pengaruh Pengoperasian beban beban nonlinier terhadap distorsi harmonisa pada Blue Point Bay Villa & Spa. Penelitian ini disusun oleh I Putu Alit Angga Widiantara, I Wayan Rinas, dan Antonius Ibi Weking pada tahun 2016. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah melakukan pengukuran dan analisa THD arus dan THD tegangan. Hasil analisa tersebut akan dibandingkan dengan IEEE standar 519-1992. Hasil simulasi menunjukkan nilai THDI di Blue Point Bay Villa & Spa tidak memenuhi standar, yaitu seluruh SDP memiliki persentase diatas 5,0% dengan presentase paling besar terdapat di SDP 1.5 sebesar 19,48% sedangkan persentase THDI di SDP lainnya memiliki rata-rata sebesar 8,8%. Nilai THDV hasil simulasi memenuhi standar, yaitu seluruh SDP memiliki nilai THDV dibawah 5%, persentase THDV paling besar terdapat di SDP 1.3 sebesar 2,83% sedangkan persentase THDV di SDP lainnya memiliki rata-rata sebesar 2,72%.

Penelitian dari Ariana, dkk;(2017) tentang Analisis Pengaruh Harmonisa Terhadap Rugi-Rugi Daya (*Losses*) Pada Transformator di Penyulang Sedap Malam. Hasil simulasi sebelum masuknya beban harmonisa pada tiga Transformator penyulang Sedap Malam, rugi-rugi daya yang di peroleh sebesar 43.2 kW, dan setelah masuknya beban harmonisa rugi-rugi daya meningkat menjadi 45,7 kW. Hal tersebut dapat membuktikan bahwa harmonisa berpengaruh terhadap rugi-rugi daya yang terjadi pada jaringan distribusi 20 kV yang mengakibatkan minggaknya nilai *losses* atau rugi-rugi daya pada penyulang Sedap Malam.

Penelitian dari Neagu, dkk;(2016) tentang *The Impact of Harmonic Current Flow on Additional Power Losses in Low Voltage Distribution Networks*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa harmonisa orde ketiga menyebabkan arus yang mengalir pada konduktor netral sama atau melebihi arus fasa, hasil yang sama juga didapat juga saat beban dalam kondisi seimbang.

Harmonisa arus pada jaringan distribusi tegangan rendah dapat meningkatkan kehilangannya lebih dari 20%.

2.2 Kualitas Daya Listrik

Pengertian kualitas daya listrik menurut Standar IEEE 1100 merupakan suatu konsep dari pendayaan dan sensitivitas pentanahan dari peralatan listrik yang tepat untuk peralatan. Kualitas daya listrik juga diartikan sebagai hubungan dari daya listrik dengan peralatan listrik. Jika peralatan listrik bekerja secara tepat dan handal tanpa mengalami tekanan dan kerugian dapat dikatakan peralatan listrik tersebut mempunyai kualitas daya yang bagus, sebaliknya ketika perlengkapan listrik gagal fungsi (*malfunction*), kurang handal atau mengalami kerugian pada saat penggunaan normal, dapat dikatakan bahwa peralatan tersebut memiliki kualitas daya yang buruk.

Pada dasarnya, tegangan disuplai dalam bentuk sinusoidal yang mempunyai amplitudo dan frekuensi yang sesuai dengan standar (pada umumnya) atau spesifikasi sistem. Namun pada kenyataannya, sumber daya listrik tidak ada yang ideal dan pada umumnya daya listrik dapat menyimpang.

Setiap permasalahan dari kualitas daya mempunyai penyebab yang berbeda. Beberapa permasalahan yang terjadi adalah karena penggunaan infrastruktur secara bersamaan. Sebagai contoh, gangguan pada jaringan mungkin terjadi karena dip yang dapat mempengaruhi beberapa pengguna. Hal ini disebabkan karena masalah yang terjadi pada situs salah satu pelanggan dapat menyebabkan transient yang dapat mempengaruhi pelanggan lain yang berada dalam sub-sistem yang sama. Penyebab lain seperti harmonisa yang meningkat dalam instalasi satu pelanggan mungkin dapat menyebabkan propagasi pada jaringan sehingga dapat mempengaruhi pelanggan yang lain. Masalah harmonik dapat dikurangi dengan kombinasi dari desain dan penggunaan peralatan reduksi harmonisa yang terjamin (Dugan; dkk, 2003).

2.2.1 Harmonisa Pada Sistem Tenaga Listrik

Harmonisa merupakan suatu fenomena yang timbul akibat pengoperasian beban listrik non linier, yang merupakan sumber terbentuknya gelombang frekuensi tinggi (kelipatan dari frekuensi fundamental, misal: 100Hz, 150Hz, 200Hz, 300Hz, dan seterusnya). Hal ini dapat mengganggu sistem kelistrikan pada frekuensi fundamentalnya yaitu 50/60 Hz, sehingga bentuk

gelombang arus maupun tegangan yang idealnya adalah sinusoidal murni akan menjadi cacat akibat distorsi harmonisa yang terjadi.

1. Distorsi harmonik total (*Total Harmonic Distortion/THD*)

THD adalah ukuran dari nilai efektif bentuk gelombang yang terdistorsi dari komponen harmonisa (Dugan; dkk, 2003).

THD juga dapat didefinisikan sebagai rasio antara nilai RMS dari komponen harmonisa dan nilai RMS dari fundamental. Harmonik tegangan atau arus diukur dari besarnya masing-masing komponen harmonik terhadap komponen dasarnya dinyatakan dalam prosennya. Untuk memperoleh suatu parameter yang dipakai untuk menilai harmonik tersebut dipakai THD (Susiono, 1999).

THD dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut, yaitu:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h>1}^{h_{\max}} M_h^2}}{M_1} \quad (2.1)$$

Dimana M_h adalah nilai rms komponen harmonik h dalam jumlah M (Dugan; dkk, 2003). THD juga dapat dinyatakan dalam persamaan lain yaitu :

$$THD = \frac{1}{U_1} \left(\sum_{n=2}^k U_n^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.2)$$

dimana:

U_1 = Komponen harmonik fundamental

U_n = Kompponen harmonik ke- n

K = Komponen harmonik maksimum yang diamati.

$\%V_{THD}$ adalah persentasi jumlah total tegangan yang terdistorsi oleh harmonisa dan $\%I_{THD}$ adalah persentasi jumlah total arus yang terdistorsi oleh harmonisa. Rumus tegangan harmonisa (V_h) dapat dijelaskan sebagai rasio dari tegangan sistem nominal (V_s) dalam persen:

$$\%V_h = \frac{V_h}{V_s} \times 100 = h \frac{I_h}{I_{sc}} \times 100 \quad (2.3)$$

$$\%V_h = \frac{(I_h/I_i)}{(I_{sc}/I_i)} \times 100 \quad (2.4)$$

dimana:

V_h = Tegangan harmonisa

- V_s = Tegangan sistem
 I_h = Arus harmonisa
 I_{sc} = Arus short circuit
 h = Harmonisa
 I_{sc}/I_i = Rasio yang ada pada tabel Limit Distorsi Arus Harmonisa
 I_i = Arus yang mengambil daya beban elektronik

Total Harmonic Distortion (THD) pada arus didefinisikan:

$$I_{THD} = \frac{\sum_{h=1}^{\infty} \sqrt{I_h^2}}{I_i} \quad (2.5)$$

2.3 Sistem Pentanahan

Sistem pentanahan adalah suatu metode pengamanan saluran tenaga listrik, gedung beserta peralatannya dan manusia. Apabila terjadi arus lebih akan disalurkan ke dalam tanah yang menggunakan suatu rangkaian atau jaringan mulai dari kutub pembumian atau elektroda berupa konduktor yang nantinya menjadi media hantar arus tenaga listrik saat terjadi gangguan, elektroda dihubungkan hingga terminal pembumian, agar perangkat peralatan dapat terhindar dari pengaruh petir dan tegangan asing lainnya.

Pemasangan elektroda pentanahan, mengenal dua jenis pemasangan dapat dilakukan dengan cara vertikal (tegak lurus) maupun secara horisontal (sejajar) dengan tanah. Elektrodapentanahan ditanam kedalam tanah pada kedalaman tertentu untuk memperoleh nilai resistansi pentanahan yang sesuai dengan standar yang telah ditentukan menurut PUIL 2011. Besar kecilnya nilai resistansi pentanahan tergantung pada kedalaman elektroda, jenis elektroda dan jenis tanah tempat dimana elektroda tersebut dipasang, sedangkan tanah mempunyai tahanan jenis yang sangat bervariasi di berbagai tempat tergantung dari jenis tanah, lapisan tanah, kelembaban tanah dan temperatur tanah. Resistansi tanah juga dipengaruhi oleh kandungan elektrolit di dalam tanah tersebut(PUIL.2011).

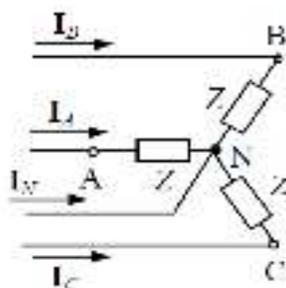
1. Tujuan Sistem Pentanahan

Tujuan sistem pentanahan adalah untuk membatasi tegangan pada bagian-bagian peralatan yang tidak dialiri arus dengan tanah, sehingga mencegah terjadinya tegangan kejut listrik yang berbahaya bagi manusia dalam daerah itu. Tercapaisuatu nilai yang aman untuk semua kondisi operasi, baik kondisi normal maupun saat terjadi gangguan. Sistem pentanahan berguna untuk memberikan jalan arus hubung-singkat/arus gangguan ke tanah yang memiliki resistansi rendah. Apabila arus gangguan dipaksakan mengalir ke tanah dengan nilai tahanan yang tinggi, maka akan

menimbulkan perbedaan tegangan yang besar sehingga dapat membahayakan. Selain itu dengan adanya pentanahan juga dapat menghilangkan gejala-gejala busur api pada suatu sistem, membatasi tegangan-tegangan pada fasa yang tidak terganggu (pada fasa yang sehat), Meningkatkan keandalan (*reability*) pelayanan dalam penyaluran tenaga listrik, Mengurangi/membatasi tegangan lebih transient yang disebabkan oleh penyalaan bunga api yang berulang-ulang (*restrike ground fault*).

2.4 Arus netral

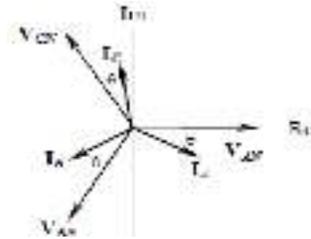
Arus netral merupakan arus yang mengalir pada penghantar netral pada sistem tiga fasa empat kawat. Munculnya arus netral merupakan representasi dari ketidakseimbangan beban. Semakin besar ketidakseimbangan beban, maka jumlah arus netralnya akan semakin meningkat. Jumlah arus netral tersebut akan semakin meningkat dengan adanya harmonisa karena banyaknya penggunaan beban Nonlinier, terutama arus harmonisa dengan kelipatan tiga ganjil, atau biasa disebut triplen harmonik. Arus harmonisa tersebut akan tersebar pada masing-masing fasanya, dan kemudian akan saling menjumlahkan pada arus netral. Hal ini tentu menjadi permasalahan sendiri dimana titik netral yang dipasang tidak dirancang untuk menampung arus lebih besar dari setiap fasanya dan dapat terjadi *overload*, yang akhirnya akan menimbulkan pemanasan berlebih pada arus netral. Berikut gambar 2.2 beban seimbang terhubung bintang.



Gambar 2. 1 Beban Terhubung Bintang

(Sumber : Sudirham. 2002)

Gambar di atas memperlihatkan beban seimbang yang terhubung bintang, dimana impedansi masing – masing fasa adalah Z . Arus yang mengalir pada saluran sama dengan arus yang mengalir pada setiap fasa. Tegangan setiap fasa yang berbeda 120° satu terhadap yang lainnya dibagi oleh impedansi untuk mendapatkan arus setiap fasanya. Oleh karena itu dapat dilihat bahwa arus untuk setiap fasa akan tergeser dengan sudut yang sama dari tegangan fasanya. Diagram fasor untuk tegangan dan arus dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. 2 Fasor Tegangan dan Arus Untuk Beban Terhubung Bintang.

(Sumber : Sudirham, S. 2002)

Dari gambar fasor di atas dapat dilihat bahwa jumlah arus-arus fasa adalah :

$$I_A + I_B + I_C = 0 \dots\dots\dots (2.6)$$

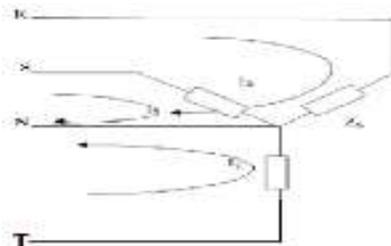
Untuk titik netral dengan arus netral I_N maka persamaanya :

$$I_N + I_A + I_B + I_C = 0 \dots\dots\dots (2.7)$$

Maka,

$$I_N = -(I_A + I_B + I_C) = 0 \dots\dots\dots (2.8)$$

Jadi untuk beban seimbang arus netral sama dengan nol. Sistem 3 fasa 4 kawat yang terhubung bintang karena adanya ketidakseimbangan beban maka ada arus yang mengalir pada penghantar netral.



Gambar 2.3 Tidak Seimbang Terhubung Bintang

(Sumber : Sudirham. 2002)

Pada beban linear yang seimbang, di mana besarnya arus pada setiap fasa dari fasa R, S, dan T adalah sama, arus tidak akan mengalir di penghantar netral. Tetapi untuk beban-beban yang bersifat nonlinear, arus pada penghantar netral tetap mengalir walaupun sistem berada dalam kondisi yang seimbang. Besarnya arus pada penghantar netral dapat lebih besar dari arus yang mengalir pada penghantar fasa. Hal ini dapat mengakibatkan masalah yang serius, diantaranya:

- a. Pemanasan yang berlebihan dan terusmenerus pada penghantar netral.
- b. Kerusakan isolasi pada transformator distribusi yang disebabkan oleh pemanasan yang berlebih akibat adanya arus harmonisa.

- c. Tegangan netral ke tanah (*ground*) yang berlebihan. Di mana hal ini dapat menyebabkan kegagalan kerja pada komponen-komponen elektronika yang sensitif.

2.5 Perhitungan losses pada transformator akibat harmonisa

Load loss (P_{LL}) dapat dipertimbangkan dengan dua komponen yaitu I^2R loss dan *eddy current loss* (P_{EC}) (Dugan; dkk, 2003):

$$P_{LL} = I^2 \cdot R + P_{EC} \quad (2.9)$$

I^2R Loss sebanding dengan nilai arus rms. *Eddy current* sebanding dengan kuadrat arus dengan frekuensi.

$$P_{EC} = K_{EC} \cdot I^2 \cdot h^2 \quad (2.10)$$

Load loss (P_{LL}) trafo dalam per unit, dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$P_{LL} = \sum I_h^2 + (\sum I_h^2 \times h^2) \cdot P_{EC-R} \quad (p.u) \quad (2.11)$$

dimana:

P_{EC-R} = Faktor eddy current loss

h = Angka harmonisa

I_h = Arus harmonisa

$\sum I_h^2$ merupakan komponen rugi I^2R dalam p.u, sedangkan ($\sum I_h^2 \times h^2$) P_{EC-R} merupakan faktor *eddy current loss* dibawah kondisi dasar dalam p.u. Faktor *eddy current loss* terdapat pada tabel 2.4 (Dugan; dkk, 2003):

Tabel 2.1 Nilai dari P_{EC-R}

Type	MVA	Voltage	% P_{EC-R}
Dry	≤ 1		3 - 8
	≥ 1.5	5 kV HV	12 - 20
Oil - filled	≤ 1.5	15 kV HV	9 - 15
	≤ 2.5	480 V LV	1
	2.5 - 5	481 V LV	1 - 5
	> 5	482 V LV	9 - 15

Sumber : Dugan, 2003

BAB III. METODE PENELITIAN

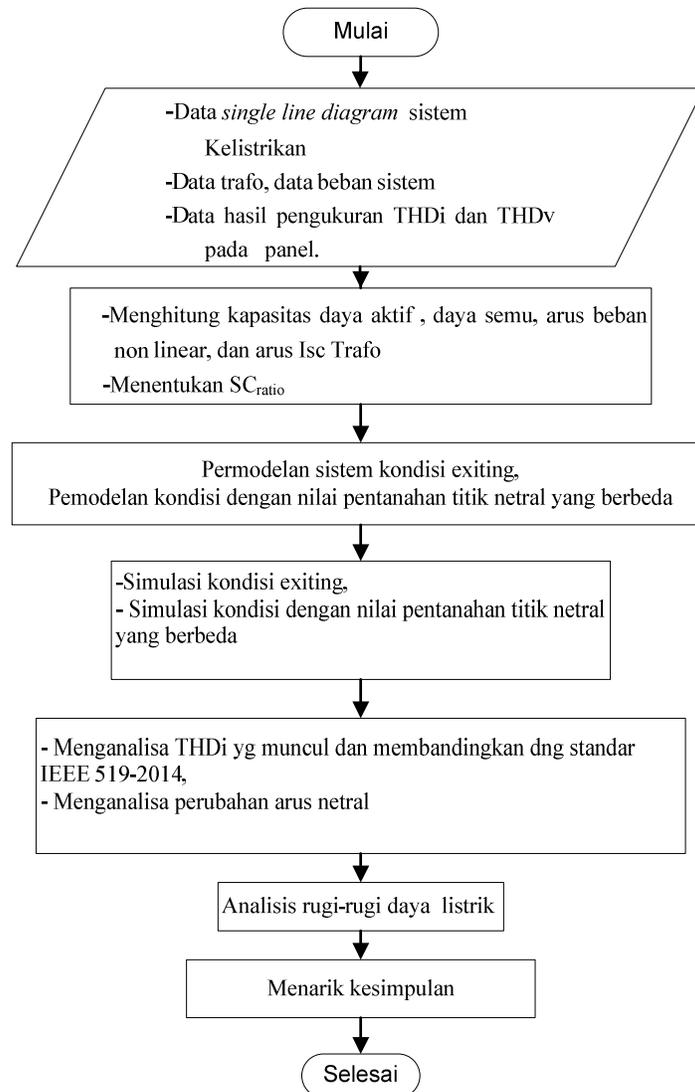
3.1 Bagan konsep

Analisis dalam penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan yang dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar 3.1

3.2. Analisis data

Analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut;

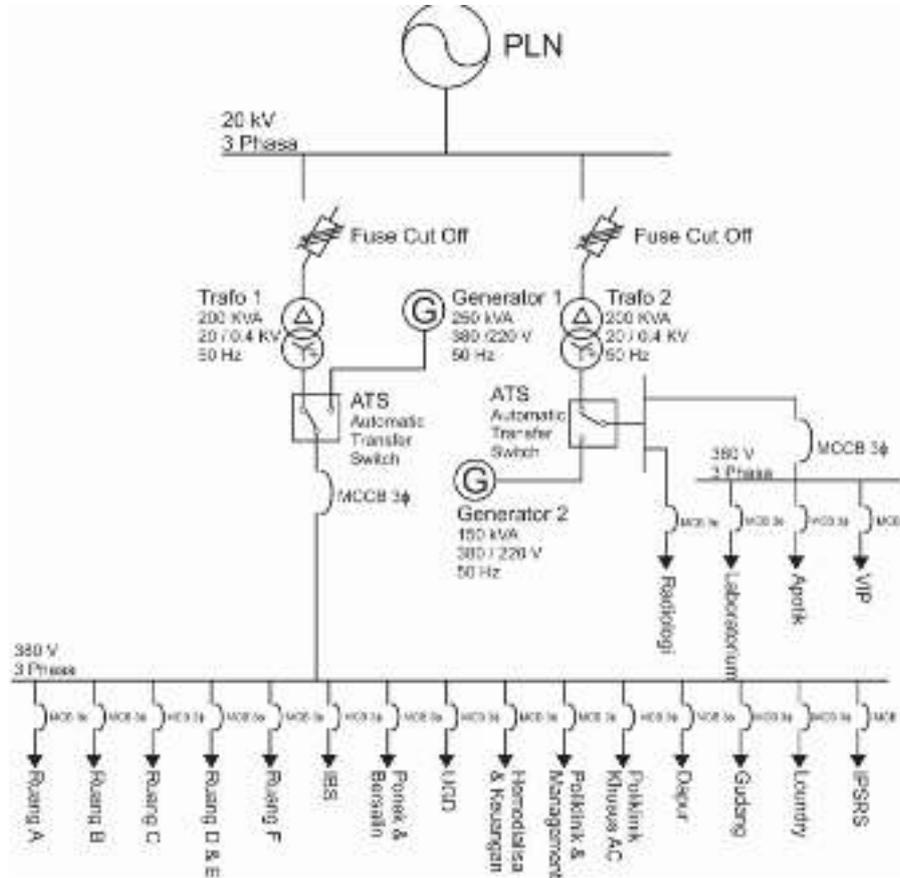
1. Menghitung total kapasitas daya aktif dan daya semu .
2. Menghitung arus hubung singkat, arus beban penuh dan SC_{ratio} pada system.
3. Membuat model system.
4. Membuat simulasi pada kondisi *existing*.
5. Membandingkan standar yang didapatkan dari standar IEEE 519 – 2014, dan melihat nilai arus netral pada kawat netral
6. Membuat beberapa simulasi dengan nilai tahanan pentanahan titik netral transformator yng berbeda.
7. Menganalisa perubahan THDi dan arus netral yang terjadi.
8. Menganalisa THDi, Arus netral dan rugi-rugi daya listrik untuk setiap simulasi.
9. Membuat kesimpulan.



Gambar 3.1 Alur Analisis

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sistem Kelistrikan RSUD Klungkung



Gambar 4.1 Single Line diagram RSUD Klungkung
(Sumber : RSUD Klungkung)

Sistem kelistrikan RSUD Klungkung disuplai dari jaringan PLN melalui penyulang Klungkung, yang mengoperasikan transformator dengan kapasitas 200 kVA, tegangan primer 20 kV, tegangan sekunder 400 V, dan impedansinya sebesar 4%.

Pada MDP (*Main Distribution Panel*) terpasang beban non-linier sebesar 98,69 kW. Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan pada MDP, didapatkan faktor daya di atas 0,9. Dari data tersebut, dapat dihitung total arus beban non linier (I_L). Daya aktif yang terukur untuk masing-masing fasa, yaitu untuk fasa R sebesar 27,93 kW, fasa S sebesar 41,14 kW, dan fasa T sebesar 29,615 kW, dengan $\cos \phi$ 0,911. Arus bebannya dapat dilihat pada table 4.1:

Tabel 4.1 Daya Aktif dan Arus Beban pada MDP RUSD Kabupaten Klungkung

MDP RSUD Kabupaten Klungkung		
Phasa	Daya Aktif (P) (kW)	Arus Beban (I _L) (Ampere)
R	27,930	135,1195
S	41,140	196,0884
T	29,615	146,0716

4.2 Standar THD Arus (THD_i)

Berdasarkan Standar *IEEE Std 519-2014 (Revision of IEEE Std 519-1992)*, untuk menentukan standar batas maksimum THD_i pada *utility*, dilakukan perhitungan rasio hubung singkat (SC_{Ratio}) dengan menggunakan data-data, yaitu kapasitas transformator terpasang sebesar 200 kVA, tegangan sekunder sistem sebesar 400 V, impedansi transformator (Z) 4%, reaktansi transformator (X) 3,93%, dan resistansi transformator (R) 1,08%.

Arus Hubung Singkat (I_{sc}) untuk Phasa R :

$$I_{sc} = \frac{200 \times 100}{\sqrt{3} \times 0,4 \times 0,04}$$

$$I_{sc} = 7225,4 \text{ A}$$

Rasio Hubung Singkat (SC_{Ratio}) untuk Phasa R :

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

$$SC_{Ratio} = \frac{7225,4}{150,3102}$$

$$SC_{Ratio} = 48,069$$

Untuk phasa S, dan T digunakan persamaan perhitungan yang sama, hasilnya dapat dilihat pada table 4.2.

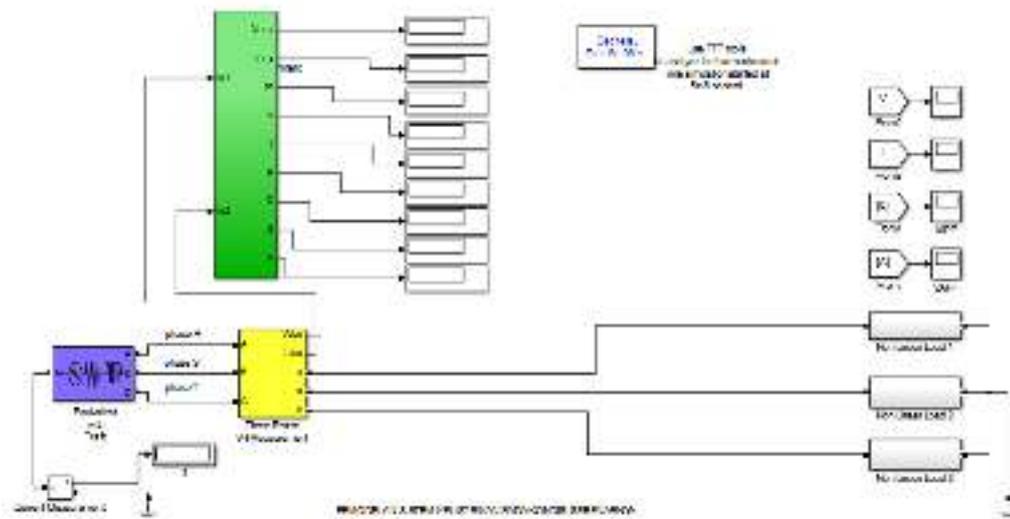
Tabel 4.2 Batas Maksimum THD Arus

Phasa	I _{sc} (A)	I _L (A)	SC _{Ratio}	SC _{Ratio} IEEE 519-2014	Standar THD _i Max (%)
R	7225,4	150,3102	48,069	<50	8
S	7225,4	213,3904	33,860	<50	8
T	7225,4	161,2632	44,805	<50	8

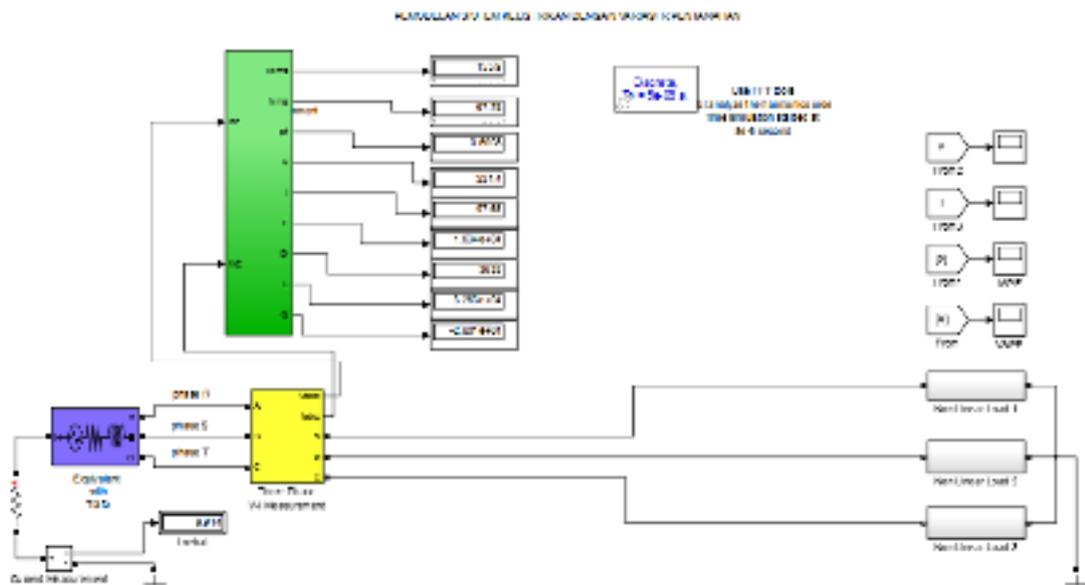
Berdasarkan tabel 4.2, maka standar THD_i yang diijinkan pada sistem kelistrikan RSUD Klungkung sebesar 8%.

4.3 Pemodelan Sistem Kelistrikan

Pemodelan sistem dilakukan dengan menggunakan aplikasi MATLAB pada kondisi eksisting dan untuk kondisi pentanahan titik netral dengan nilai pentanahan yang berbeda..



Gambar 4.2 Pemodelan Sistem Kelistrikan pada Kondisi Eksisting



Gambar 4.3 Pemodelan Sistem dengan pengoperasian nilai R_{netral} yang berbeda

A. Pemodelan Sumber Tiga Phasa (*Three-Phase Source*)

Untuk melakukan simulasi pada pemodelan sumber tiga phasa (*Three-Phase Source*), dibutuhkan beberapa parameter dengan frekuensi sistem sebesar 50 Hz yang diperoleh dengan melakukan perhitungan tegangan rms (V_{rms}), resistansi sumber (R_s), dan induktansi sumber (L_s). Parameter pertama dilakukan dengan menghitung tegangan rms (V_{rms}) :

$$V_{rms} = \frac{380}{\sqrt{2}}$$

$$V_{rms} = 268,700 \text{ V}$$

Parameter kedua dilakukan dengan menghitung resistansi sumber yang terlebih dahulu dengan melakukan perhitungan nilai impedansi sumber (Z_s), reaktansi sumber (X_s) . Impedansi sumber:

$$Z_s = \frac{0,38^2}{0,2} \times 4\%$$

$$Z_s = 0,029\Omega$$

Reaktansi sumber, dengan reaktansi transformator (X) 3,93% dan resistansi transformator (R) 1,08% :

$$X_s = \frac{3,93}{1,08} \times R_s$$

$$X_s = 3,639 \times R_s$$

Berdasarkan nilai Z_s dan X_s , maka nilai resistansi sumber (R_s) dapat dihitung sebagai berikut :

$$Z_s^2 = (3,639 \times R_s)^2 + R_s^2$$

$$Z_s^2 = 14,24R_s^2$$

$$R_s = \frac{0,029}{\sqrt{14,24}}$$

$$R_s = 0,0077 = 7,7e^{-3}\Omega$$

Parameter ketiga dilakukan dengan melakukan perhitungan induktansi :

$$L_s = \frac{(3,639 \times R_s)}{2 \times 3,14 \times 50}$$

$$L_s = 0,000089 = 8,9e^{-5}H$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, nilai tegangan rms (V_{rms}) sebesar 268,700 V, nilai R_s sebesar $7,7e^{-3}\Omega$, dan L_s sebesar $8,9e^{-5}H$.

Hasil perhitungan V_{rms} , R_s , dan L_s kemudian dimasukkan kedalam *block parameter Three-Phase Source* seperti.

B. Penentuan Beban Setiap Phasa pada Simulasi

Perhitungan dilakukan pada kapasitas phasa R, dimana diketahui nilai tegangan (V) sebesar 226,9 V, nilai beban setiap phasa (P) sebesar 27930 watt, nilai *ripple factor* (RF) sebesar 5%, dan frekuensi (F) sebesar 50 Hz.

Nilai R :

$$R = \frac{226,9^2}{27930}$$

$$R = 1,8433 \Omega$$

Untuk mengetahui nilai beban L, dilakukan perhitungan pada beban C terlebih dahulu :

$$C = \frac{1}{4\sqrt{3} \times 50 \times 0,05 \times 1,843}$$

$$C = 0,0314 \text{ Farad}$$

Setelah diketahui nilai beban C, maka didapatkan nilai beban L :

$$L = \frac{0,236 \times 1,843}{2 \times 3,14 \times 50 \times 0,313}$$

$$L = 0,0442 \text{ H}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, maka didapatkan nilai beban R dan L pada phasa R yaitu sebesar $R=1,8433 \Omega$, dan $L=0,0442 \text{ H}$ dan $C = 0,0314$. Nilai R, L, dan C ini diinputkan pada *block parameters Series RLC Branch*. Nilai kapasitas beban R, L dan C pada phasa R, S, dan T, dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Beban R, L dan C untuk phasa R, S dan T

Phasa	R (Ohm)	L (Henry)	C (Farad)
R	1,8433	0,0442	0,0314
S	1,2892	0,0216	0,0448
T	1,6724	0,0364	0,0346

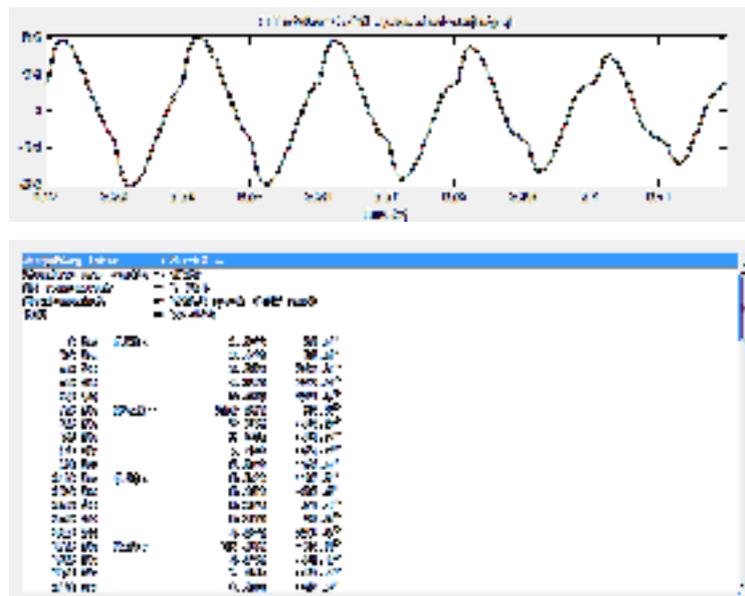
4.4 Simulasi THD_i

Simulasi menggunakan model seperti gambar 4.1 dan 4.2 dengan terlebih dahulu melakukan penginputan nilai-nilai pada masing-masing *block parameters Three-Phase Source* dan *block parameters Series RLC Branch*. Simulasi

dilakukan untuk melihat nilai THD_i , *output* gelombang arus, orde harmonisa, arus fundamentalnya dan arus yang mengalir pada kawat netral (I_n).

A. Simulasi THD_i pada Kondisi Eksisting

Hasil simulasi menunjukkan arus yang mengalir pada kawat netral trafo sebesar 22,58 A dan THD_i berbentuk sinyal gelombang harmonisa arus, orde harmonisa arus dengan menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT) *tools* seperti gambar 4.4 :

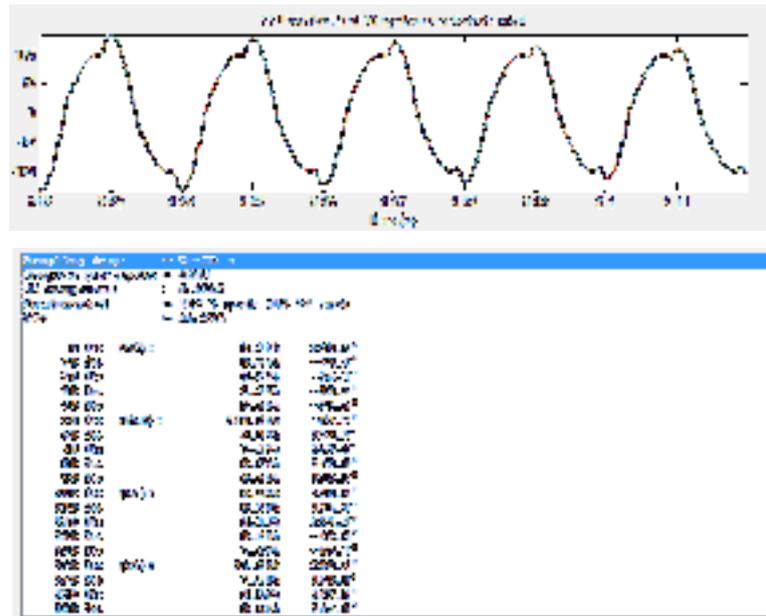


Gambar 4.4 Sinyal Arus dan Orde Harmonisa pada Phasa R pada Kondisi Eksisting

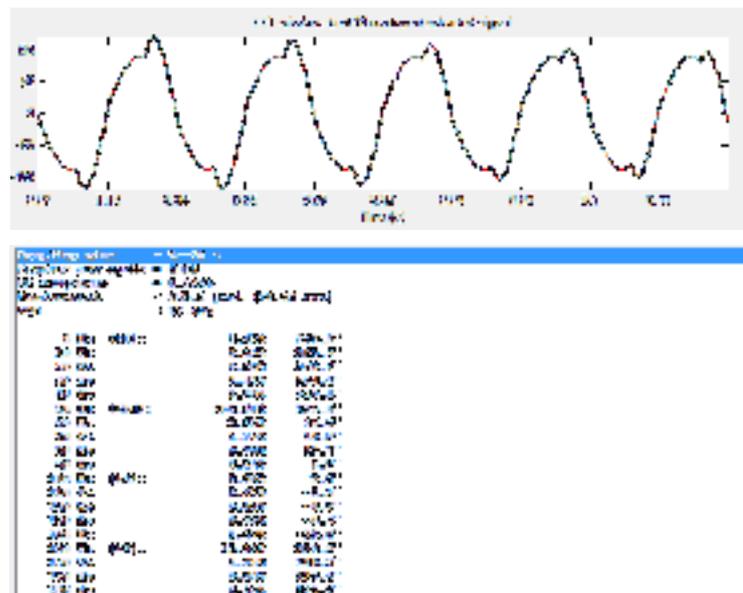
Pada gambar 4.4, menunjukkan bentuk gelombang non sinusoidal hasil simulasi phasa R saat kondisi eksisting setelah ditransformasikan menggunakan *FFT Tools*. Kondisi gelombang ini terjadi karena adanya pengaruh THD_i sebesar 17,87 %.

Hasil simulasi *FFT Tools* pada phasa S saat kondisi eksiting, dapat dilihat pada gambar 4.5 yang menunjukkan bentuk gelombang hampir yang masih terdistorsi oleh arus harmonisa. Kondisi ini disebabkan karena adanya pengaruh THD_i pada sistem yang cukup besar yakni 16,71%.

Pada gambar 4.6 menunjukkan hasil simulasi *FFT Tools* pada phasa T saat kondisi eksisting, Pada phasa T memiliki kandungan THD_i sebesar 17,34 % . Tabel 4.4 menunjukkan hasil simulasi pada kondisi eksisting untuk masing-masing phasa dan standar THD_i berdasarkan IEEE 519-2014.



Gambar 4.5 Sinyal Arus dan Orde Harmonisa pada Phasa S pada Kondisi Eksisting



Gambar 4.6 Sinyal Arus dan Orde Harmonisa pada Phasa T pada Kondisi Eksisting

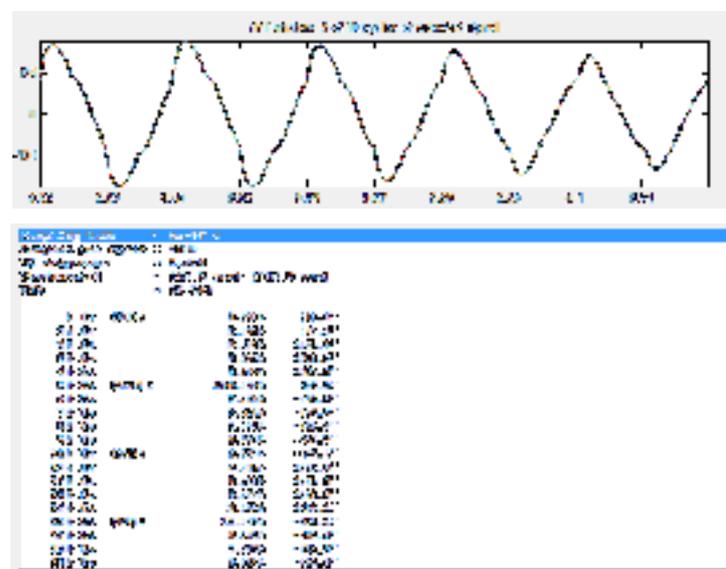
Tabel 4.4 Persentase I_{THD} Masing-Masing Phasa pada Kondisi Eksisting

Phasa	THDi (%)	Standar THDi (%)	Keterangan
R	17,87	8	Tidak sesuai standar
S	16,71	8	Tidak sesuai standar
T	17,34	8	Tidak sesuai standar

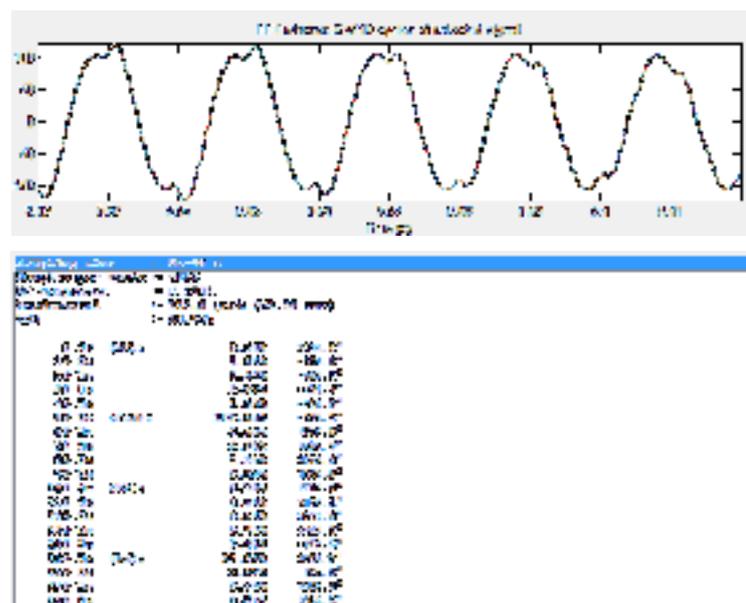
Berdasarkan tabel 4.4, dapat diketahui bahwa THD_i masing-masing phasa pada kondisi eksiting tidak sesuai standar IEEE 519-2014 yaitu $\geq 8\%$.

B. Simulasi THD_i dengan beberapa nilai R_{netral} yang berbeda

Simulasi dengan pengoperasian nilai R_{netral} (**R_n**) yang nilai tahanannya berbeda, menggunakan pemodelan gambar 4.3. Nilai R_n yang digunakan pada masing-masing simulasi adalah : 10 Ω; 5 Ω; 1 Ω; 0,5 Ω. Hasil simulasi arus netral (I_n) dan THD_i yang didapatkan berbentuk sinyal gelombang harmonisa arus dan orde harmonisa arus dengan menggunakan FFT *tools*. Simulasi menggunakan R_n = 10 Ω, nilai I_n didapatkan sebesar 1,039 A. THD_i, bentuk gelombang arus dan orde harmonisa pada fasa R, S dan T dapat dilihat seperti gambar 4.7; 4.8; dan 4.9.

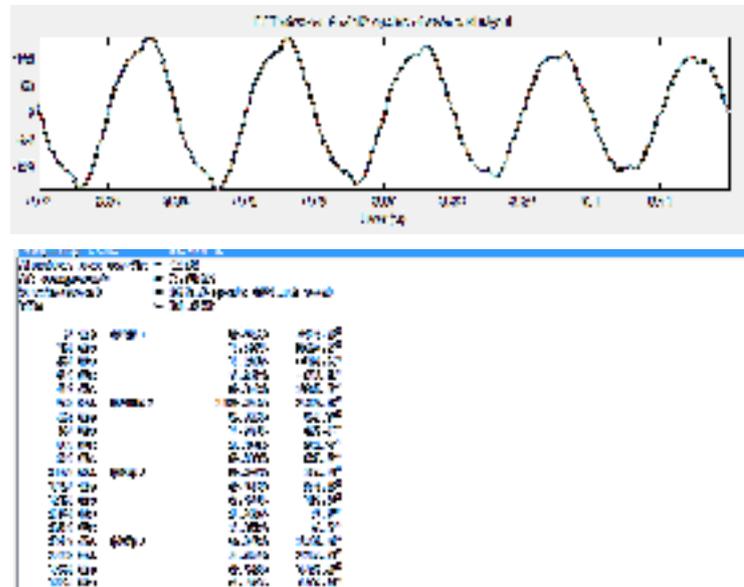


Gambar 4.7 Sinyal Arus dan Orde Harmonisa pada Fasa R dengan R_n 10 Ω



Gambar 4.8 Sinyal Arus dan Orde Harmonisa pada Fasa S dengan R_n 10 Ω

THD_i hasil simulasi untuk masing-masing fasa seperti gambar 4,7; 4.8 dan 4.9 adalah, fasa R = 15,54 %; fasa S = 14,99 % dan fasa T = 10,84 %. Dengan pengoperasian nilai R_n = 10 Ω akan terjadi penurunan nilai THD_i dan arus I_n .



Gambar 4.9 Sinyal Arus dan Orde Harmonisa pada Fasa T dengan R_n 10 Ω

Hasil simulasi dengan R_n yang berbeda dapat dilihat pada table 4.5 seperti berikut.

Tabel 4.5 Hasil simulasi dengan nilai tahanan R_n yang berbeda

NO	R _n (Ω)	I _n (A)	THD _i PHASA (%)			THD _i Standar (%)	Keterangan
			R	S	T		
1	10	1,039	15,54	14,99	10,84	8	Tdk standar
2	5	1,99	15,30	14,88	10,76	8	Tdk standar
3	1	6,97	14,07	14,32	10,71	8	Tdk standar
4	0,5	9,914	13,68	14,13	11,27	8	Tdk standar

4.5 Analisa Rugi-Rugi Daya akibat Arus Harmonisa (I_h)

Analisa ini hanya melihat peningkatan/penurunan rugi-rugi daya yang disebabkan oleh arus harmonisa yang muncul sebagai akibat pengoperasian beban-beban non-linier maupun kondisi ke-tidak seimbangan beban pada *utility*.

A. Analisa Rugi-Rugi Daya akibat Arus Harmonisa pada Kondisi Eksisting

Hasil simulasi mendapatkan I_{rms} pada fasa R adalah 113 A. Untuk mengetahui arus harmonisa (I_h) fasa R pada orde 3 (I_{h3_R}) adalah :

$$I_{h3_phasaR} = \frac{I_{h3} \times I_{rms}}{100}$$

$$I_{h3_R} = 13,93 \text{ A}$$

Dari hasil perhitungan I_{h3_R} pada phasa R, dapat diketahui nilai arus harmonisanya sebesar 13,93 A. Arus harmonisa pada setiap orde untuk phasa R, S, dan T dapat dihitung menggunakan persamaan yang sama, dan dapat dilihat pada tabel 4.6 sebagai berikut :

Tabel 4.6 Nilai I_h untuk Orde Harmonisa Ganjil pada Phasa R, S, dan T pada Kondisi Eksisting

Orde Harmonisa	Phasa R		Phasa S		Phasa T	
	I_h (%)	I_h (A)	I_h (%)	I_h (A)	I_h (%)	I_h (A)
1	100	113.00	100	83.24	100	74.58
3	12.33	13.933	15.04	12.519	15.61	11.642
5	5.09	5.752	4.92	4.095	5.44	4.057
7	2.08	2.350	1.52	1.265	1.5	1.119
9	1.05	1.187	1.56	1.299	1.68	1.253
11	0.63	0.712	0.2	0.166	0.3	0.224
13	0.36	0.407	0.47	0.391	0.59	0.440
15	0.23	0.260	0.13	0.108	0.16	0.119
17	0.19	0.215	0.13	0.108	0.2	0.149
19	0.16	0.181	0.05	0.042	0.09	0.067

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.6, dapat diketahui nilai arus harmonisa untuk setiap orde harmonisanya. Setelah nilai arus harmonisa untuk setiap orde didapatkan, maka dapat dihitung arus harmonisa per unit (I_h p.u) . Perhitungan I_h pu untuk orde 1 pada phasa R dapat dihitung,

$$I_{h1_phasaR} (\text{pu}) = I_{h1}/I_{h1}$$

$$I_{h1_phasaR} (\text{p.u}) = 1,000(\text{p.u})$$

Setelah didapatkan nilai I_h pu untuk orde 1, maka selanjutnya dilakukan perhitungan I_h pu untuk orde 3 pada phasa R:

$$I_{h3_phasaR} (\text{p.u}) = \frac{I_{h3}}{I_{h1}}$$

$$I_{h3_phasaR} (\text{pu}) = 13.933/ 113.00$$

$$= 0,123 \text{ pu}$$

Dari hasil perhitungan I_h p.u untuk orde 1 dan 3, maka dapat dihitung I_h p.u untuk masing-masing orde pada setiap phasa R, S, dan T dengan menggunakan

persamaan yang sama dan dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Nilai I_h (pu) untuk Orde Harmonisa Ganjil pada Phasa R, S, dan T Kondisi Eksisting

Orde Harmonisa	Phasa R		Phasa S		Phasa T	
	I_h (A)	I_h (p.u)	I_h (A)	I_h (p.u)	I_h (A)	I_h (p.u)
1	113.00	1.00	83.24	1.00	74.58	1.00
3	13.933	0.123	12.519	0.150	11.642	0.156
5	5.752	0.051	4.095	0.049	4.057	0.054
7	2.350	0.021	1.265	0.015	1.119	0.015
9	1.187	0.011	1.299	0.016	1.253	0.017
11	0.712	0.006	0.166	0.002	0.224	0.003
13	0.407	0.004	0.391	0.005	0.440	0.006
15	0.260	0.002	0.108	0.001	0.119	0.002
17	0.215	0.002	0.108	0.001	0.149	0.002
19	0.181	0.002	0.042	0.001	0.067	0.001

Berdasarkan hasil perhitungan I_h (p.u) untuk setiap orde seperti pada tabel 4.7, maka dapat dihitung nilai I_h^2 pu dan nilai ($I_h^2 \times h^2$) pu untuk phasa R, dapat dilihat pada tabel 4.8:

Tabel 4.8 Nilai I_h^2 untuk Phasa R pada Kondisi Eksisting

Orde Harmonisa (h)	Phasa R		
	I_h (pu)	I_h^2 (pu)	($I_h^2 \times h^2$) pu
1	1.00	1.00000	1.00000
3	0.123	0.01520	0.13683
5	0.051	0.00259	0.06477
7	0.021	0.00043	0.02120
9	0.011	0.00011	0.00893
11	0.006	0.00004	0.00480
13	0.004	0.00001	0.00219
15	0.002	0.00001	0.00119
17	0.002	0.00000	0.00104
19	0.002	0.00000	0.00092
Total (Σ)		0.01840	1.24188

Tabel 4.9 memperlihatkan hasil perhitungan I_h^2 pu dan ($I_h^2 \times h^2$) pu untuk phasa S. Tabel 4.10 juga memberikan hasil perhitungan I_h^2 pu dan ($I_h^2 \times h^2$) pu untuk phasa T. I_h^2 pu dan ($I_h^2 \times h^2$) pu akan digunakan untuk menghitung nilai P_{LL} (rugi-rugi daya listrik akibat arus harmonisa I_h) pada masing-masing phasa.

Tabel 4.9 Nilai I_h^2 dan untuk Phasa S pada Kondisi Eksisting

Orde Harmonisa (h)	Phasa S		
	I_h (pu)	I_h^2 (pu)	$(I_h^2 \times h^2)$ pu
1	1.00	1.00000	1.00000
3	0.150	0.01520	0.20358
5	0.049	0.00259	0.06052
7	0.015	0.00043	0.01132
9	0.016	0.00011	0.01971
11	0.002	0.00004	0.00048
13	0.005	0.00001	0.00373
15	0.001	0.00001	0.00038
17	0.001	0.00000	0.00049
19	0.001	0.00000	0.00009
Total (Σ)		0.02554	1.30031

Tabel 4.10 Nilai I_h^2 dan untuk Phasa T pada Kondisi Eksisting

Orde Harmonisa (h)	Phasa T		
	I_h (pu)	I_h^2 (pu)	$(I_h^2 \times h^2)$ pu
1	1.00	1.00000	1.00000
3	0.156	0.01520	0.21930
5	0.054	0.00259	0.07398
7	0.015	0.00043	0.01103
9	0.017	0.00011	0.02286
11	0.003	0.00004	0.00109
13	0.006	0.00001	0.00588
15	0.002	0.00001	0.00058
17	0.002	0.00000	0.00116
19	0.001	0.00000	0.00029
Total (Σ)		0.02788	1.33617

Berdasarkan hasil perhitungan I_h^2 (pu) dan $(I_h^2 \times h^2)$ pu dari orde 3 sampai dengan orde 19, maka dapat dihitung nilai P_{LL} . P_{EC} untuk transformator dengan tegangan sekunder 400 V adalah 1%.

Perhitungan P_{LL} pada phasa R:

$$P_{LL} = \Sigma I_R^2 + (\Sigma I_R^2 \times h^2) \times P_{EC-R}$$

$$P_{LL} = 0.01840 \text{ pu} + (1.24188 \text{ pu}) \times 0,01$$

$$= 0.0308188 \text{ pu}$$

Dari perhitungan di atas, maka didiapatkan hasil P_{LL} untuk phasa R sebesar 0.0308188 pu. Untuk phasa S, dan T dapat dilakukan perhitungan P_{LL} dengan

menggunakan persamaan yang sama. Hasil dari perhitungan fasa R, S, dan T dilihat pada tabel 4.11.

Tabel 4.11 Hasil Pehitungan P_{LL} (p.u) pada Fasa R, S, dan T pada Kondisi Eksisting

Phasa	P_{LL} (p.u)
R	0.0308188
S	0.0385431
T	0.0412417

Pada 4.11, diketahui bahwa nilai harmonisa untuk masing-masing fasa mengalami peningkatan rugi-rugi daya listrik yaitu untuk fasa R sebesar 0.0308188 pu, fasa S sebesar 0.0385431 pu, dan fasa T sebesar 0.0412417 pu.

Untuk menghitung rugi-rugi daya dalam satua kilo watt (kW), dilakukan perhitungan $P_{Base1\phi}$ dengan menentukan kapasitas transformator (S) sebesar 200 kVA dan $\cos\phi$ sebesar 0,911, maka didapatkan hasil perhitungan $P_{Base1\phi}$:

$$P_{Base1\phi} = \frac{S \times \cos\phi}{\sqrt{3}}$$

$$P_{Base1\phi} = \frac{200 \times 0,911}{\sqrt{3}}$$

$$P_{Base1\phi} = 105,193 \text{ kW}$$

Hasil perhitungan, didapatkan nilai $P_{Base1\phi}$ sebesar 105,193 kW. Setelah nilai $P_{Base1\phi}$ diketahui, kemudian dilakukan perhitungan P_{LL} dalam satuan kW untuk fasa R, sebagai berikut :

$$\text{Rugi-rugi daya kW } (P_{LL} \text{ kW}) = P_{LL} \times P_{Base1\phi}$$

$$\text{Rugi-rugi daya (kW)} = 0.0308188 \text{ pu} \times 105,193 \text{ kW} = 3.241922 \text{ kW}$$

Dari hasil perhitungan P_{LL} dalam satuan kW untuk fasa R didapatkan nilai rugi-rugi daya listrik sebesar 3.241922 kW. Untuk fasa S, dan T dapat dilakukan dengan menggunakan perhitungan yang sama. Nilai hasil perhitungan P_{LL} dalam satuan kW untuk masing-masing fasa dapat dilihat pada tabel 4.12.

Tabel 4.12 Hasil Pehitungan P_{LL} kW pada Fasa R, S, dan T pada Kondisi Eksisting

Phasa	P_{LL} (p.u)	$P_{Base1\phi}$ (kW)	P_{LL} (kW)
R	0.0308188	105,193	3.241922
S	0.0385431	105,193	4.054464
T	0.0412417	105,193	4.338338
Total P_{LL}			11.63472
Rugi-rugi daya harmonisa = $(11.63472/105,193) \times 100 \% = 11,06 \%$			

Berdasarkan tabel 4.12, dapat diketahui nilai P_{LL} dalam satuan kW untuk phasa R sebesar 3.241922 kW, phasa S sebesar 4.054464 kW, dan phasa T sebesar 4.338338 kW. Sehingga didapatkan total rugi-rugi daya listrik pada kondisi eksisting karena pengaruh harmonisa adalah 11.63472 kW (11,06 %)

B. Analisa Rugi-Rugi Daya Listrik Dengan variasi nilai tahanan pentanahan titik netral (R_n)

Pada masing-masing simulasi , ditentukan nilai tahanan pentanahan titik netral trafo adalah : 10 Ω ; 5 Ω ; 1 Ω dan 0,5 Ω . Pada simulasi dengan nilai pentanahan 10 Ω didapatkan I_{rms} pada phasa R yaitu 100,8 A, persentase I_h orde 3 yaitu 11,06%. Untuk mengetahui arus harmonisa (I_h) dalam satuan ampere pada setiap orde, maka dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} I_{h3_phasaR} &= \frac{I_{h3} \times I_{rms}}{100} \\ &= (11,06\% \times 100,8) / 100 \\ &= 11,148 \text{ A} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan arus harmonisa orde 3 (I_{h3}) pada phasa R, dapat diketahui nilai arus harmonisanya sebesar 11,148 A. Untuk arus harmonisa pada setiap orde untuk phasa R, S, dan T dapat dihitung menggunakan persamaan yang sama dan dapat dilihat pada tabel 4.13 sebagai berikut :

Tabel 4.13 Nilai I_h Untuk Orde Harmonisa Ganjil pada Phasa R, S, dan T dng $R_n = 10 \Omega$

Orde Harmonisa	Phasa R		Phasa S		Phasa T	
	I_h (%)	I_h (A)	I_h (%)	I_h (A)	I_h (%)	I_h (A)
1	100	100.80	100	81.53	100	87.34
3	11.06	11.148	11.93	9.727	6.99	5.818
5	4.62	4.657	4.54	3.701	2.57	2.139
7	2.07	2.087	1.06	0.864	1.51	1.257
9	Jan-00	1.008	0.9	0.734	0.7	0.583
11	0.49	0.494	0.1	0.082	0.53	0.441
13	0.36	0.363	0.28	0.228	0.47	0.391
15	0.2	0.202	0.13	0.106	0.25	0.208
17	0.17	0.171	0.2	0.163	0.31	0.258
19	0.08	0,29	0,24	0,69	0,08	0,23

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.13, dapat diketahui nilai arus harmonisa untuk setiap orde harmonisanya. Setelah nilai arus harmonisa untuk setiap orde didapatkan, maka dapat dihitung arus harmonisa per_unit (I_h pu).

Perhitungan I_h pu untuk orde 1 pada fasa R dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$I_{h1_phasaR} (p.u) = \frac{I_{h1}}{I_{h1}}$$

$$= 100,80/100,80$$

$$I_{h1_phasaR} (p.u) = 1,000(p.u)$$

Setelah didapatkan nilai I_h pu untuk orde 1, maka selanjutnya dilakukan perhitungan I_h pu untuk orde 3 pada fasa R:

$$I_{h3_phasaR} (p.u) = \frac{I_{h3}}{I_{h1}}$$

$$= 11.148/100,80$$

$$= 0,111 \text{ pu}$$

Dari hasil perhitungan I_h pu untuk orde 1 dan 3, maka dapat dihitung I_h pu untuk masing-masing orde pada setiap fasa R, S, dan T dengan menggunakan persamaan yang sama dan dapat dilihat pada tabel 4.14

Tabel 4.14 Nilai I_h (p.u) Untuk Orde Harmonisa Ganjil pada Fasa R, S, dan T dng $R_n = 10 \Omega$

Orde Harmonisa	Fasa R		Fasa S		Fasa T	
	I_h (A)	I_h (p.u)	I_h (A)	I_h (p.u)	I_h (A)	I_h (p.u)
1	100.80	1.00	81.53	1.00	87.34	1.00
3	11.148	0.111	9.727	0.119	5.818	0.070
5	4.657	0.046	3.701	0.045	2.139	0.026
7	2.087	0.021	0.864	0.011	1.257	0.015
9	1.008	0.010	0.734	0.009	0.583	0.007
11	0.494	0.005	0.082	0.001	0.441	0.005
13	0.363	0.004	0.228	0.003	0.391	0.005
15	0.202	0.002	0.106	0.001	0.208	0.003
17	0.171	0.002	0.163	0.002	0.258	0.003
19	0,29	0.001	0,69	0.001	0,23	0.001

Berdasarkan hasil perhitungan I_h (p.u) untuk setiap orde seperti pada tabel 4.14, maka dapat dihitung nilai I_h^2 pu dan nilai $(I_h^2 \times h^2)$ pu untuk masing-masing fasa R, S, dan T dapat dihitung seperti table 4.5. Arus harmonisa I_h^2 pu dan nilai $(I_h^2 \times h^2)$ pu dihitung untuk menentukan P_{LL} (rugi-rugi daya akibat pengaruh arus harmonisa)

Tabel 4.15 Nilai I_h^2 untuk Phasa R, S dan T dng $R_n = 10 \Omega$

Orde Harmonisa	Phasa R		Phasa S		Phasa T	
	I_h^2 pu	$(I_h^2 \times h^2)$ pu	I_h^2 pu	$(I_h^2 \times h^2)$ pu	I_h^2 pu	$(I_h^2 \times h^2)$ pu
1	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000	1.00000
3	0.01223	0.11009	0.01423	0.12809	0.00489	0.04397
5	0.00213	0.05336	0.00206	0.05153	0.00066	0.01651
7	0.00043	0.02100	0.00011	0.00551	0.00023	0.01117
9	0.00010	0.00810	0.00008	0.00656	0.00005	0.00397
11	0.00002	0.00291	0.00000	0.00012	0.00003	0.00340
13	0.00001	0.00219	0.00001	0.00132	0.00002	0.00373
15	0.00000	0.00090	0.00000	0.00038	0.00001	0.00141
17	0.00000	0.00084	0.00000	0.00116	0.00001	0.00278
19	0.00000	0.00023	0.00000	0.00052	0.00000	0.00036
TOTAL	0.01494	1.19961	0.01650	1.19519	0.00589	1.08730

Berdasarkan hasil perhitungan harmonisa dari orde 3 sampai dengan orde 19, maka nilai P_{LL} pada phasa R dengan menggunakan persamaan berikut, dimana nilai P_{EC-R} untuk transformator dengan tegangan sekunder 400 V adalah sebesar 1%,

Perhitungan P_{LL} pada phasa R:

$$\begin{aligned}
 P_{LL} &= \Sigma I_R^2 + (\Sigma I_R^2 \times h^2) \times P_{EC-R} \\
 &= 0.01494 + (1.19961 \times 0,01) \\
 &= 0.0269361 \text{ pu}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, maka didiapatkan hasil P_{LL} untuk phasa R sebesar 0.0269361 (p.u). Untuk phasa S, dan T dapat dilakukan perhitungan P_{LL} dengan menggunakan persamaan yang sama. Hasil P_{LL} dari perhitungan phasa R, S, dan T diperlihatkan pada tabel 4.18.

Tabel 4.16 Hasil Pehitungan P_{LL} (p.u) pada Phasa R, S, dan T dng $R_n = 10 \Omega$

Phasa	P_{LL} (p.u)
R	0.0269361
S	0.0284519
T	0.016763

Berdasarkan tabel 4.16, diketahui bahwa nilai P_{LL} dari masing-masing phasa mengalami peningkatan untuk phasa R sebesar 0.0269361 (p.u), phasa S sebesar 0.0284519 (p.u), dan phasa T sebesar 0.01676350 (p.u).

Untuk menghitung P_{LL} , terlebih dahulu dilakukan perhitungan $P_{Base1\phi}$ dengan mengetahui kapasitas transformator (S) sebesar 200 kVA dan $\cos\varphi$ sebesar 0,911, maka didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut :

$$P_{Base1\phi} = \frac{S \times \cos\varphi}{\sqrt{3}}$$

$$P_{Base1\phi} = \frac{200 \times 0,911}{\sqrt{3}}$$

$$P_{Base1\phi} = 105,193 \text{ kW}$$

Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan nilai $P_{Base1\phi}$ sebesar 105,193 kw. Setelah nilai $P_{Base1\phi}$ diketahui, kemudian dilakukan perhitungan P_{LL} dalam satuan kW untuk fasa R, sebagai berikut :

$$P_{LL} \text{ (kW)} = P_{LL} \text{ (pu)} \times P_{Base1\phi}$$

$$= 0,0269361 \times 105,139 \text{ kW}$$

$$= 2,833489 \text{ kW.}$$

Dari hasil perhitungan P_{LL} dalam satuan kW untuk fasa R didapatkan nilai P_{LL} sebesar 2,833489 kW. Untuk fasa S, dan T dapat dilakukan dengan menggunakan perhitungan yang sama. Nilai hasil perhitungan P_{LL} dalam satuan kW untuk masing-masing fasa dapat dilihat pada tabel 4.17.

Tabel 4.17 Hasil Pehitungan P_{LL} kW pada Fasa R, S, dan T dengan R_n 10 Ω

Phasa	P_{LL} (p.u)	$P_{Base1\phi}$ (kW)	P_{LL} (kW)
R	0,0269361	105,193	2,833489
S	0,0284519	105,193	2,992941
T	0,016763	105,193	1,76335
Total P_{LL}			7,58978
Rugi-rugi daya harmonisa = $(7.58978/105,193) \times 100 \% = 4,16 \%$			

Berdasarkan tabel 4.17, dapat diketahui nilai P_{LL} dalam satuan kW untuk fasa R sebesar 2,833489 kW, fasa S sebesar 2,992941 kW, dan fasa T sebesar 1,76335 kW. Sehingga didapatkan total rugi-rugi daya listriknya adalah 7.58978kW atau sebesar 4,16 %.

Dengan cara perhitungan yang sama , rugi-rugi daya harmonisa untuk R_n : 5 Ω , 1 Ω dan 0,5 Ω dapat dicari P_{LL} dan arus netral I_n yang mengalir pada kawat netral, seperti diperlihatkan pada table 4.18; 4.19; 4.20 seperti berikut:

Tabel 4.18 Hasil Pehitungan P_{LL} kW pada Phasa R, S, dan T dengan R_n 5 Ω

Phasa	I_n (A)	P_{LL} (p.u)	P_{LL} (kW)
R	1,99	0.0260423	2.739468
S		0.028213	2.96781
T		0.0168548	1.773007
Total P_{LL}			7.480285
Rugi-rugi daya harmonisa = $(7.480285/105,193) \times 100 \% = 4,105 \%$			

Pada table 4.18 dapat dilihat arus yang mengalir pada kawat netral sebesar 1,99 A dengan rugi-rugi daya phasa R, S da T adalah : 2.739468 kW; 2.96781 kW dan 1.773007 kW. Rugi-rugi daya karena harmonisa total sebesar 7.480285 kW (4,10 %).

Tabel 4.19 Hasil Pehitungan P_{LL} kW pada Phasa R, S, dan T dengan R_n 1 Ω

Phasa	I_n (A)	P_{LL} (p.u)	P_{LL} (kW)
R	6,97	0.0212123	2.231385
S		0.0271867	2.859851
T		0.0181097	1.905014
Total P_{LL}			6.99625
Rugi-rugi daya harmonisa = $(6.99625/105,193) \times 100 \% = 3,83 \%$			

Pada table 4.19 dapat dilihat arus yang mengalir pada kawat netral sebesar 6,97 A (arusnya meningkat), dengan rugi-rugi daya phasa R, S da T adalah : 2.231385 kW; 2.859851 kW dan 1.905014 kW. Rugi-rugi daya karena harmonisa total sebesar 6.99625 kW (3,83 %).

Tabel 4.20 Hasil Pehitungan P_{LL} kW pada Phasa R, S, dan T dengan R_n 0,1 Ω

Phasa	I_n (A)	P_{LL} (p.u)	P_{LL} (kW)
R	9,914	0.0193266	2.033023
S		0.027323	2.874188
T		0.0202742	2.132704
Total P_{LL}			7.039915
Rugi-rugi daya harmonisa = $(7.039915/105,193) \times 100 \% = 3,86 \%$			

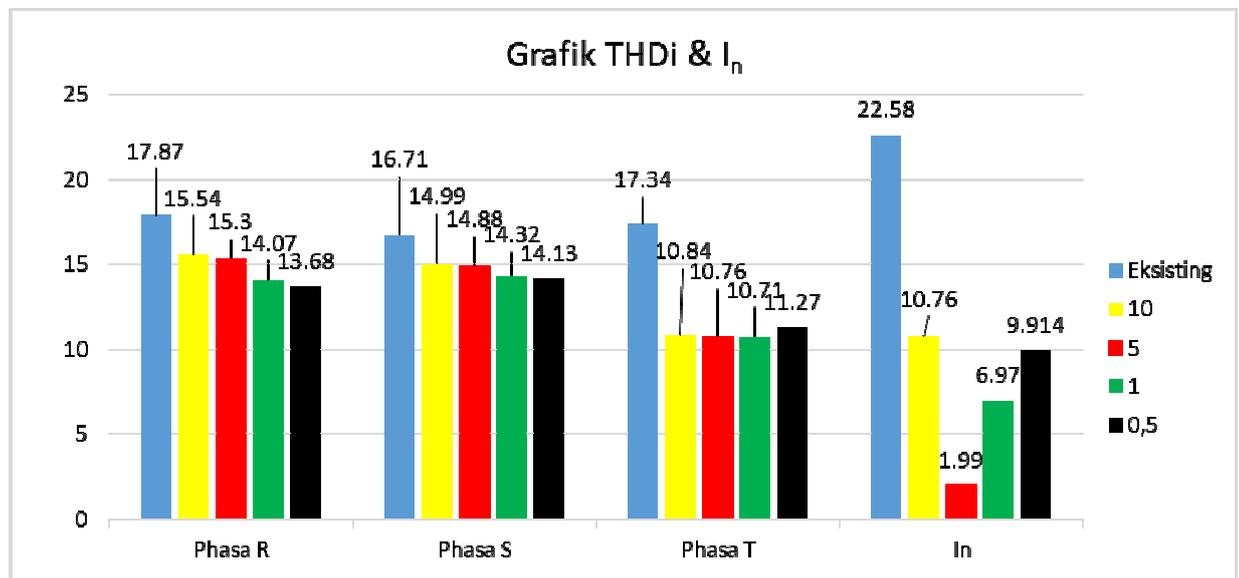
Pada table 4.20 dapat dilihat arus yang mengalir pada kawat netral sebesar 9,914 A (arusnya meningkat), dengan rugi-rugi daya phasa R, S da T adalah : 2.033023 kW; 2.874188 kW dan 2.132704 kW. Rugi-rugi daya karena harmonisa total sebesar 7.039915 kW (3,86 %).

4.6 Analisa hasil simulasi THD_i, I_n dan PLL untuk kondisi Eksisting dan dengan bebrapa nilai tahanan pentanahan titik netral

Tabel 4.21 Perbandingan hasil THD_i & I_n untuk masing-masing simulasi

NO	R _n (Ω)	R (%)	S (%)	T (%)	I _n (A)
1	Eksisting	17,87	16,71	17,34	22,58
2	10	15,54	14,99	10,84	1,039
3	5	15,30	14,88	10,76	1,99
4	1	14,07	14,32	10,71	6,97
5	0,5	13,68	14,13	11,27	9,914

Tabel 4.21 memperlihatkan hasil dari lima simulasi yang dilakukan berupa perubahan THD_i dan arus netral I_n untuk masing-masing phasa R, S dan T.



Gambar 4.10 Perbandingan hasil THD_i & I_n untuk masing-masing simulasi

Dari kelima simulasi yang dihasil dengan R_n yang berbeda didapat hasil THD_i darimasing-masing phasa dan arus netral I_n yang mengalir pada kawat netral. THD_i dari kondisi eksisting, R_n : 10 Ω, 5 Ω, 1 Ω, dan 0,1 Ω mengalami penurunan, sedangkankan arus netralnya hanya mengalami penurunan dari kondisi eksiting ke R_n 10 Ω yang mengalami penurunan, sedangkan dari 10 Ω ke 5Ω, 1 Ω dan 0,1 Ω mengalami kenaikan seperti diperlihatkan pada gambar 4.10

Tabel 4.22 memperlihatkan hasil analisa rugi-rugi daya dari kelima simulasi yang telah dilakukan (kondisi eksisting, R_n : 10 Ω, 5 Ω, 1 Ω, dan 0,1 Ω). Rugi-rugi daya dari simulasi tersebut adalah, untuk kondisi eksisting sebesar

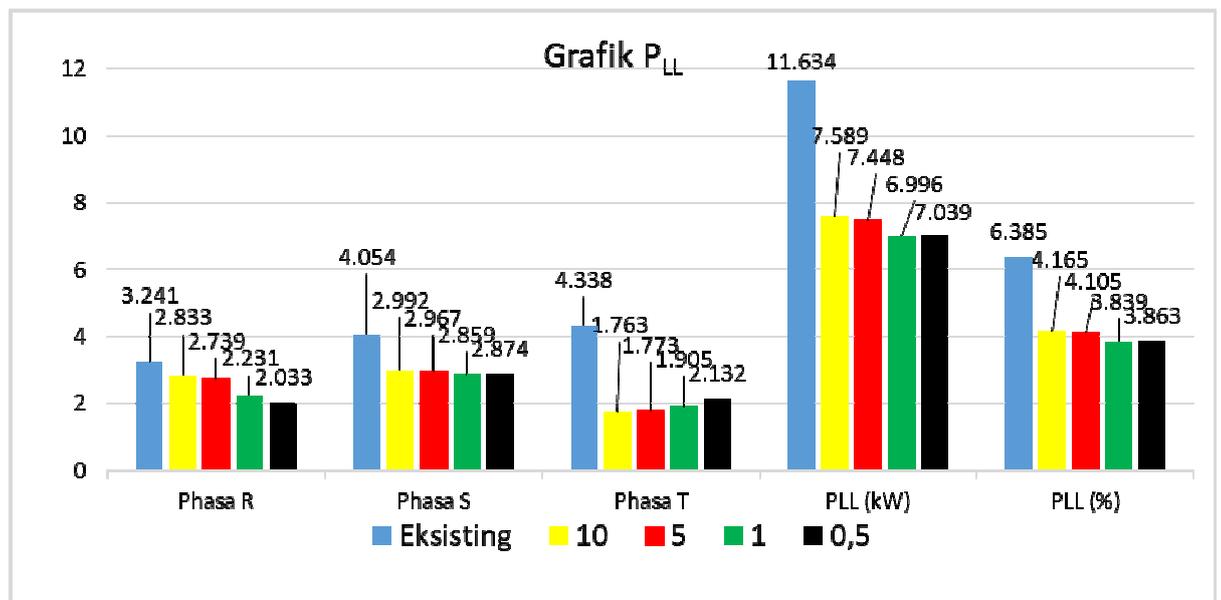
11,63472 kW; R_n 10 Ω sebesar 7,58978 kW; R_n 5 Ω sebesar 7,480285 kW; R_n 1 Ω dan R_n 0,1 Ω masing-masing 6,99625 kW dan 7,039915 kW.

Tabel 4.22 Perbandingan hasil rugi-rugi daya (P_{LL}) untuk masing-masing simulasi

R_n (Ω)	R (kW)	S (kW)	T (kW)	P_{LL} (kW)	P_{LL} (%)
Eksisting	3,241922	4,054464	4,338338	11,63472	6,385
10	2,833489	2,992941	1,76335	7,58978	4,165
5	2,739468	2,96781	1,773007	7,480285	4,105
1	2,231385	2,859851	1,905014	6,99625	3,839
0,5	2,033023	2,874188	2,132704	7,039915	3,863

Hasil analisa prosentase perubahan rugi-rugi daya yang terjadi dari masing-masing simulasi adalah: kondisi eksisting, R_n : 10 Ω , 5 Ω , 1 Ω , dan 0,1 Ω masing-masing adalah : 6,385 %; 4,165 %; 4,105 %; 3,839 %; dan 3,863 %.

Bentuk grafik batangnya dapat dilihat pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 Perbandingan hasil rugi-rugi daya (P_{LL}) untuk masing-masing simulasi

BAB V **SIMPULAN**

5.1 Simpulan

Pengoperasian beban listrik yang berbasis elektronika daya akan mengakibatkan terjadinya distorsi periodic gelombang arus sinus yang disebut THDi. Arus harmonisa yang melebihi standar dapat menyebabkan arus netral (I_n) mengalir pada kawat netral transformator meskipun dalam kondisi bebanseimbang. Selain harmonisa, ketidakseimbangan beban menyebabkan meningkatnya I_n yang mengalir pada kawat netral, sehingga dapat merugikan sistem kelistrikannya.

Hasil simulasi dan analisa perubahan THDi pada kondisi eksisting dan dengan variasi nilai tahanan pentanahan titik netral transformator adalah, pada kondisi eksisting didapatkan THDi untuk pasa R 17,87 %, S 16,71 % , T 17,34 % dan I_n sebesar 22,58 A. Hasil simulasi dengan R_n 10 Ω didapatkan untuk pasa R 15,54 %, S 14,99 %, T 10,84 % dan I_n sebesar 1,039 A. R_n 5 Ω didapatkan untuk pasa R 15,3 %, S 14,88 %, T 10,76 % dan I_n sebesar 1,99 A. R_n 1 Ω didapatkan untuk pasa R 14,07 %, S 14,32 %, T 10,71 % dan I_n sebesar 6,97 A. R_n 0,5 Ω didapatkan untuk pasa R 13,68 %, S 14,13 %, T 11,27 % dan I_n 9,91 A. Dengan menurunkan nilai tahanan pentanahan titik netralnya didapatkan THDi yang semakin kecil, sedangkan arus I_n menurun dari kondisi eksisting ke R_n 10 Ω , dari R_n 5 Ω sampai R_n 1 Ω terjadi peningkatan.

Hasil analisa rugi-rugi daya akibat arus harmonisa didapatkan untuk kondisi eksisting 11,63 kW (6,4 %); untuk R_n 10 Ω didapatkan 7,59 kW (4,16 %); R_n 5 Ω didapatkan 7,48 kW (4,1 %); R_n 1 Ω didapatkan 6,99 kW (3,83 %); R_n 10 Ω didapatkan 7,03 kW (3,86 %).

DAFTAR PUSTAKA

1. Arrilaga, J; Bradley, D.A; Bodger, P.S. 1985. *Power System Harmonics*. London : British Library.
2. Buhron, H; Sutanto, J. 2001. *Implikasi Harmonisa dalam Sistem Tenaga Listrik dan Alternatif Solusinya*. Dept. Teknik Energi Politeknik Negeri Bandung, Dept. Teknik Elektro Universitas Siliwangi Tasikmalaya dan Staf Operasi Distribusi PLN Distribusi Jawa Barat dan Banten.
3. Burke, J. 1994. *Power Distribution Engineering – Fundamentals and Applications*. New York : Marcel Dekker INC
4. Duffey, C.K. 1989. *Update of Harmonic Standard IEEE-51*. IEEE Transaction on Industry Application, Vol.25. No.6, November 1989.
5. Dugan, R.C; McGranaghan, M.F; Santoso; Beaty, H.W. 2003. *Electrical Power System Quality - Second Edition*. USA : McGraw-Hill.
6. Dugan, R.C; Rizy. 2001. *Harmonic Considerations for Electrical Distribution Feeders*. National Technical Information Service, Report No. ORNL/Sub/81-95011/4 (Cooper Power Systems as Bulletin 87011, “Electrical Power System Harmonics, Design Guide”).
7. Mielczarski, W. 1997. *Quality of Electricity Supply and Management of Network Losses*. Melbourne : Puma Press Publishing and Printing.
8. Tribuana, W. 1999. *Pengaruh Harmonik pada Transformator Distribusi*. Diakses dari <http://www.elektroindonesia.com/elektro/ener25.html>. Tanggal 24 Oktober 2009.
9. Neagu, dkk. 2016. *The Impact of Harmonic Current Flow on Additional Power Losses in Low Voltage Distribution Network*. Power Engineering Department; Romania
10. IEEE 519-2014. *IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*
11. Ariana.I.G, I.W. Rinas, I.G.D Arjana. 2017. Analisis Pengaruh Harmonisa Terhadap Rugi-Rugi Daya (*Losses*) Pada Transformator di Penyulang Sedap Malam. Vol. 16, No.1

LAMPIRAN

Lampiran 1. Justifikasi anggaran

1. Honor				
Honor Pembantu peneliti (mahasiswa)	Honor/jam (Rp)	Waktu (jam/minggu)	Minggu	Honor per tahun (Rp)
I Putu Adhe Putra Novantara (1705542022)	25.000	5	9	1.100.000
I Nyoman Wardana (1705542016)	25.000	5	9	1.100.000
Gede Agus Ryzky Martha (1705542015)	25.000	5	9	1.100.000
I Kadek Dwi Artika Putra (1705542012)	25.000	5	9	1.100.000
I Komang Widi Astawa (1705542024)	25.000	5	9	1.100.000
Made Niken Ayu Larasati Danianto (1705542014)	25.000	5	9	1.100.000
SUB TOTAL (Rp)				6.600.000
2. Peralatan Penunjang				
Material	Justifikasi Pemakaian	Kuantitas	Harga Satuan (Rp)	Harga Peralatan Penunjang (Rp)
Alat Komunikasi	Untuk alat komunikasi	2	1.200.000	2.400.000
Tang-amper	Mengukur tingkat harmonisa	2	1.150.000	2.300.000
Alat Ukur Ampermeter Digital	Mengukur Arus listrik	2	300,000	600,000
Toolset	Untuk pekerjaan Instalasi	1	300.000	300.000
Tangga Aluminium	Untuk mengecek instalasi	1	750.000	700.000
Alat Ukur Volt meter Digital	Mengukur Tegangan listrik	2	300,000	600,000
SUB TOTAL (Rp)				6.900.000
3. Bahan Habis Pakai				

Material	Justifikasi Pemakaian	Kuantitas	Harga Satuan (Rp)	Harga Peralatan Penunjang (Rp)
Solder + timah	Menyolder rangkaian	1	350.000	350.000
Kabel	Instalasi sistem	2 rol	1.250.000	2.500.000
Meteran	pengukuran	2 unit	125.000	250,000
SUB TOTAL (Rp)				3.100.000
4. Perjalanan				
Material	Justifikasi Perjalanan	Kuantitas	Harga Satuan (Rp)	Harga Peralatan Penunjang (Rp)
Sewa Transportasi Kampus Bukit-Kampus FT di Jln Sudirman	Survey dan pengukuran	10	3.00.000	3.000.000
Perjalanan Manggis-Tuban	Seminar	1	250.000	250.000
SUB TOTAL (Rp)				3.250.000
5. Lain-Lain				
Material	Justifikasi Pemakaian	Kuantitas	Harga Satuan (Rp)	Harga Peralatan Penunjang (Rp)
Konsumsi	Pembelian konsumsi untuk 6 orang	10	100.000	1.000.000
Mencetak buku Laporan	Cetak dan Jilid	15	50,000	750,000
Seminar	Registrasi	1	1,000,000	1,000,000
Publikasi Jurnal	Pengiriman	1	1,500,000	1,500,000
SUB TOTAL (Rp)				4.250.000
TOTAL ANGGARAN YANG DIPERLUKAN SETAHUN (RP)				25.000.000

Lampiran 2. Dukungan sarana dan prasarana penelitian

Dukungan sarana dan prasarana penelitian

Penelitian ini akan didukung dan dilaksanakan di Laboratorium Dasar teknik Elektro yang terletak di PS Teknik Elektro Kampus Bukit Jimbaran.. Lab. Ini juga memiliki 1 buah osiloskop digital dan beberapa multimeter digital.

Lampiran 3. Susunan organisasi tim peneliti dan pembagian tugas

No.	Nama/NIDN	Instansi Asal	Bidang Ilmu	Alokasi Waktu (jam/minggu)	Uraian Tugas
1	Ir. I Wayan Rinas, MT (Ketua,0031126481)	FT Unud	TTL	8	Mengatur Rencana, pelaksanaan penelitian dan analisa
2	I Made Suartika, ST.MT. (Ang, 0026036505)	FT Unud	TTL	8	Rancang Bangun Sistem
3	I Putu Adhe Putra Novantara (1705542022)	FT Unud	TTL	5	Pengambilan data
4	I Nyoman Wardana (1705542016)	FT Unud	TTL	5	Pengambilan data
5	Gede Agus Ryzky Martha (1705542015)	FT Unud	TTL	5	Pengambilan data
6	I Kadek Dwi Artika Putra (1705542012)	FT Unud	TTL	5	Pengambilan data
7	I Komang Widi Astawa (1705542024)	FT Unud	TTL	5	Pengambilan data
8	Made Niken Ayu Larasati Danianto (1705542014)	FT Unud	TTL	5	Pengambilan data

LAMPIRAN 4. BIODATA KETUA DAN ANGGOTA TIM PENELITIAN

KETUA TIM PENELITIAN

A. Identitas Diri

1.	Nama Lengkap (dengan gelar)	Ir. I Wayan Rinas, MT.	L/P
2.	Jabatan Fungsional	Lektor Kepala	
3.	Jabatan Struktural	IVa / Pembina	
4.	NIP/NIK/No. Identitas lainnya	196412311992031028	
5.	NIDN	0031126481	
6.	Tempat dan Tanggal Lahir	Manggis-Karangasem, 31Desember 1964	
7.	Alamat Rumah	Dusun Tengah Manggis, Karangasem - Bali	
8.	Nomor Telepon/Faks /HP	08123664588	
9.	Alamat Kantor	Fakultas Teknik Unud Kampus Bukit Jimbaran	
10.	Nomor Telepon/Faks	0361 703321, 0361 701806	
11.	Alamat e-mail	rinas@.unud.ac.id	
12.	Lulusan yang telah dihasilkan	S-1= ... orang; S-2= ...Orang; S-3= Orang ...	
13.	Mata Kuliah yg diampu	1. Teknik Tegangan Tinggi 2. Dasar Teknik Tenaga Listrik 3. Kualitas Daya listrik	

B. Riwayat Pendidikan

Program	S-1	S-2	S-3
Nama Perguruan Tinggi	Universitas Udayana	Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)	
Bidang Ilmu	Teknik Elektro	Teknik Sistem Tenaga/ Teknik Elektro	
Tahun Masuk	1984	2000	
Tahun Lulus	1991	2007	
Judul Skripsi/Thesis/Disertasi	Studi Perencanaan Laboratorium Teknik Tegangan Tinggi di PS. Teknik Elektro Universitas Udayana	Penggunaan Metode Urutan (Sequence Method) Pada Analisis Harmonisa Untuk Sistem Kelistrikan Tak Seimbang	
Nama Pembimbing/Promotor	Dr. Ir. Susilo Matair	Prof.Dr.Ir. Ontoseno Penangsang, MSc	

C. Pengalaman Penelitian dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber *)	Jml (Juta Rp.)
1	2013	Alarm pengaman anti maling untuk sepeda motor dan mobil	Dana Dipa T. Elektro FT unud	7.5
2	2016	Operation of LED Light as Emergency Lighting Resource DC with Charger Control Based Arduino Uno ATmega	DIPA PNPB Universitas Udayana	25
3	2017	Pemanfaatan PLTS sebagai Sumber Daya Baterai Charger Control Berbasis Arduino Uno Atmega untuk Sistem Komunikasi di Daerah Terpencil	DIPA PNPB Universitas Udayana	25.
4	2017	Analisa Peningkatan Rugi-rugi Daya Trafo Akibat Pengoperasian Beban-beban Nonlinier yang Takseimbang di Fakultas Teknik Universitas Udayana Bukit Jimbaran	DIPA PNPB Universitas Udayana	25.
5	2018	ANALISA PENGARUH PENGOPERASIAN FILTER HARMONISA TERHADAP PENURUNAN RUGI-RUGI DAYA PADA SISTEM TENAGA LISTRIK	DIPA PNPB Universitas Udayana	25.
6	2018	PENGARUH DISTORSI HARMONISA TERHADAP KAPASITAS KERJA TRAFU TERPASANG PADA SISTEM TENAGA LISTRIK	DIPA PNPB Universitas Udayana	25.

D. Pengalaman Pengabdian kepada Masyarakat dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Tahun	Judul Pengabdian Kepada Masyarakat	Pendanaan	
			Sumber *)	Jml (Juta Rp.)
1	2016	GAMBAR RENCANA PENATAAN PURA SEKAR ANGSANA DI DESA PAKRAMAN TEMUKUS, DESA BESAKIH, KECAMATAN RENDANG, KABUPATEN KARANGASEM	-	-
2	2017	Pengenalan dan Sosialisasi Penerapan Instalasi Kelistrikan SWER Untuk Penerangan Jalan di Banjar Sambian Undagi Desa Timpag, Kecamatan Kerambitan, Tabanan	DIPA PNPB Universitas Udayana	10.

3	2017	Sosialisai kesehatan lingkungan dengan pengadaan jamban sehat di desa manikyang kecamatan selemadeg kabupaten tabanan	DIPA PNPB Universitas Udayana	10.
4	2018	PEMASANGAN SISTEM KONTROL PENERANGAN JALAN DAN SOSIALISASI PENGHEMATAN DAYA LISTRIK DI BANJAR SAMBIAN UNDAGI DESA TIMPAG KECAMATAN KERAMBITAN KABUPATEN TABANAN	DIPA PNPB Universitas Udayana	10.

E. Pengalaman Penulisan Artikel Ilmiah dalam Jurnal dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Judul Artikel Ilmiah	Volume/Nomor	Nama Jurnal
1	Operation of LED Light as Emergency Lighting Resource DC with Charger Control Based Arduino Uno ATmega	1/2	Journal of Electrical, Electronics and Informatics
2	ANALISIS SETTING PENGAMAN TRANSFORMATOR DAYA DI GARDU INDUK NUSA DUA JIKA TERJADI GANGGUAN HUBUNG SINGKAT SATU PHASA TANAH	4/1	Spektrum Unud
3	Design and Analysis of Online Shop Display Based on Augmented Reality Technology	1/1	International Journal of Engineering and Emerging Technology
4	Pemanfaatan PLTS sebagai Sumber Daya Baterai Charger Control Berbasis Arduino Uno Atmega untuk Sistem Komunikasi di Daerah Terpencil	Seminar Nasional dan Teknologi IV 2017	Prosiding
5	Analysis of the Increase of Transformer Power Losses due to the Operation of Unbalanced Nonlinear Loads	2/2	Journal of Electrical, Electronics and Informatics

F. Pengalaman Penyampaian Makalah Secara Oral pada Pertemuan/ Seminar Ilmiah dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Nama Pertemuan ilmiah/ Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat
1.			
Dst.			

G. Pengalaman Penulisan Buku dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Judul Buku	Tahun	Jumlah Halaman	Penerbit
1.	KUALITAS DAYA LISTRIK DAN BEBERAPA SOLUSINYA	2017	168	Udayana University Press
Dst.				

H. Pengalaman Perolehan HKI dalam 5 – 10 Tahun Terakhir

No.	Judul/Thema HKI	Tahun	Jenis	No.P/ID
1.				
Dst.				

I. Pengalaman Merumuskan Kebijakan Publik/Rekayasa Sosial Lainnya dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Judul/Tema/Jenis Rekayasa Sosial Lainnya yang Telah Diterapkan	Tahun	Tempat Penerapan	Respon Masyarakat
1.				
Dst.				

J. Penghargaan yang Pernah Diraih dalam 10 tahun Terakhir (dari pemerintah, asosiasi atau institusi lainnya)

No.	Jenis Penghargaan	Institusi Pemberi Penghargaan	Tahun
1.			
Dst.			

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila dikemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima risikonya.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan penelitian : Unggulan Udayana

Badung, 4-10-2019
Pengusul,



(Ir. I Wayan Rinas, MT.)
NIP. 196412311992031028

ANGGOTA TIM 1

A. Identitas Diri

1	NamaLengkap	I Made Suartika, ST.MT. (L)
2	JabatanFungsional	Asisten Ahli
3	JabatanStruktural	-
4	NIP	19650326 199412 1 001
5	NIDN	0026036505
6	TempatdanTanggalLahir	Aan, Klungkung, 26 Maret 1965
7	AlamatRumah	Dsn Pasek, Ds Aan, Kec. Banjarangkan, Klungkung
8	NomorTelepon/Faks /HP	081558906090
9	Alamat Kantor	Kampus Bukit Jimbaran, Denpasar Bali (80361)
10	NomorTelepon/Faks	(0361)703321, Fax (0361) 703321
	Alamat e-mail	suartika@ee.unud.ac.id
	Lulusan yang telahdihasilkan	S 1= orang, S 2 = ...orang, S 3 = orang
	Mata kuliah yang di ampu	Dasar Teknik Tenaga Listrik
		Dasar Elektronika
		Dasar Teknik Elektro
		Pengukuran Listrik
		Fisika I

B. Riwayat Pendidikan

Program	S1	S2	S3
Nama PT	UNUD	Unud	
BidangIlmu	Teknik Elektro		
TahunMasuk	1984		
Tahun Lulus	1994		-

JudulSkripsi/ Tesis	Pengaturan Putaran Motor Universal 220 V, 0,3 KW dengan AC Voltage Controller		
NamaPembimb ing/Promotor	Prof. Dr. Soebagio		

C. Pengalaman Penelitian dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber *)	Jml (Juta Rp.)
1	2016	Operation of LED Light as Emergency Lighting Resource DC with Charger Control Based Arduino Uno ATmega	DIPA PNPB Universitas Udayana	25
2	2017	Analisa Peningkatan Rugi-rugi Daya Trafo Akibat Pengoperasian Beban-beban Nonlinier yang Takseimbang di Fakultas Teknik Universitas Udayana Bukit Jimbaran	DIPA PNPB Universitas Udayana	25.
3	2018	ANALISA PENGARUH PENGOPERASIAN FILTER HARMONISA TERHADAP PENURUNAN RUGI-RUGI DAYA PADA SISTEM TENAGA LISTRIK	DIPA PNPB Universitas Udayana	25.
4	2018	PENGARUH DISTORSI HARMONISA TERHADAP KAPASITAS KERJA TRAF0 TERPASANG PADA SISTEM TENAGA LISTRIK	DIPA PNPB Universitas Udayana	25.

D. Pengalaman Pengabdian kepada Masyarakat dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Tahun	Judul Pengabdian Kepada Masyarakat	Pendanaan	
			Sumber *)	Jml (Juta Rp.)
1	2017	Pengenalan dan Sosialisasi Penerapan Instalasi Kelistrikan SWER Untuk Penerangan Jalan di Banjar Sambian Undagi Desa Timpag, Kecamatan Kerambitan, Tabanan	DIPA PNPB Universitas Udayana	10.
2	2017	Sosialisai kesehatan lingkungan dengan pengadaan jamban sehat di desa manikyang kecamatan selemadeg kabupaten tabanan	DIPA PNPB Universitas Udayana	10.
3	2018	PEMASANGAN SISTEM KONTROL PENERANGAN JALAN DAN SOSIALISASI PENGHEMATAN DAYA LISTRIK DI BANJAR	DIPA PNPB Universitas Udayana	10.

	SAMBIAN UNDAGI DESA TIMPAG KECAMATAN KERAMBITAN KABUPATEN TABANAN		
--	---	--	--

E. Pengalaman Penulisan Artikel Ilmiah dalam Jurnal dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Judul Artikel Ilmiah	Volume/Nomor	Nama Jurnal
1	Operation of LED Light as Emergency Lighting Resource DC with Charger Control Based Arduino Uno ATmega	1/2	Journal of Electrical, Electronics and Informatics
2	Analysis of the Increase of Transformer Power Losses due to the Operation of Unbalanced Nonlinier Loads	2/2	Journal of Electrical, Electronics and Informatics

F. Pengalaman Penyampaian Makalah Secara Oral pada Pertemuan/ Seminar Ilmiah dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Nama Pertemuan ilmiah/ Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat
1.			

G. Pengalaman Penulisan Buku dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Judul Buku	Tahun	Jumlah Halaman	Penerbit
1.				

H. Pengalaman Perolehan HKI dalam 5 – 10 Tahun Terakhir

No.	Judul/Thema HKI	Tahun	Jenis	No.P/ID
1.				

I. Pengalaman Merumuskan Kebijakan Publik/Rekayasa Sosial Lainnya dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Judul/Tema/Jenis Rekayasa Sosial Lainnya yang Telah Diterapkan	Tahun	Tempat Penerapan	Respon Masyarakat
1.				

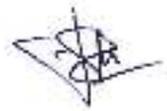
J. Penghargaan yang Pernah Diraih dalam 10 tahun Terakhir (dari pemerintah, asosiasi atau institusi lainnya)

No.	Jenis Penghargaan	Institusi Pemberi Penghargaan	Tahun
1.			

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila dikemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima risikonya.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan penelitian : Unggulan Udayana

Badung, 4-10-2019
Pengusul,



(I Made Suartika , ST.MT.)
NIP. 19650326 199412 1 001

Data Logbook

Judul : PENGARUH NILAI PENTANAHAN TITIK NETRAL TRANSFORMATOR UNTUK PERUBAHAN ARUS HARMONIC, ARUS NETRAL DAN RUGI-RUGI DAYA PADA SISTEM TENAGA LISTRIK

Skim : Penelitian Unggulan Program Studi

Dana Disetujui : Rp 25.000.000

Dana Terpakai : Rp 25.000.000

Tanggal Pelaksanaan	Persentase	Uraian Kegiatan	Daftar Pengeluaran	Dana Terpakai
01 Maret 2019	2.54%	PEMBELIAN ALAT TULIS DAN KERTAS	<ul style="list-style-type: none"> - BELANJA BARANG NON OPERASIONAL (PEMBELIAN 1 LUSIN BOXY: 1 x 100.000 = 100.000) - BELANJA BARANG NON OPERASIONAL (PEMBELIAN KERTAS HVS A4: 10 x 45.000 = 450.000) - BELANJA BARANG NON OPERASIONAL (PEMBELIAN 1 LUSIN SPIDOL: 1 x 85.000 = 85.000) 	635.000
10 Maret 2019	1.92%	CETAK PROPOSAL	<ul style="list-style-type: none"> - BELANJA BARANG NON OPERASIONAL (CETAK PROPOSAL: 12 x 40.000 = 480.000) 	480.000
01 Mei 2019	14.4%	PEMBELIAN PERLENGKAPAN UNTUK PENGUKURAN	<ul style="list-style-type: none"> - BELANJA BARANG OPERASIONAL (PEMBELIAN KABEL NYM: 2 x 1.300.000 = 2.600.000) - BELANJA BARANG OPERASIONAL (PEMBELIAN METERAN: 125000 x 2 = 250.000) - BELANJA BARANG OPERASIONAL (PEMBELIAN TANGGA ALUMINIUM: 1 x 750.000 = 750.000) 	3.600.000
03 Mei 2019	7.4%	PEMBELIAN SOLDER, TOOLSET, VOLT METER DAN AMPER METER DIGITAL	<ul style="list-style-type: none"> - BELANJA BARANG OPERASIONAL (PEMBELIAN SOLDER LISTRIK: 1 x 350.000 = 350.000) - BELANJA BARANG OPERASIONAL (PEMBELIAN TOOLSET: 1 x 300.000 = 300.000) - BELANJA BARANG OPERASIONAL (PEMBELIAN VOLT METER DIGITAL: 2 x 300.000 = 600.000) - BELANJA BARANG OPERASIONAL (PEMBELIAN AMPER METER DIGITAL: 2 x 300.000 = 600.000) 	1.850.000

Tanggal Pelaksanaan	Persentase	Uraian Kegiatan	Daftar Pengeluaran	Dana Terpakai
06 Mei 2019	18.8%	PEMBELIAN TANG AMPER	- BELANJA BARANG OPERASIONAL (PEMBELIAN TANG AMPER: 2 x 1.150.000 = 2.300.000) - BELANJA BARANG OPERASIONAL (PEMBELIAN ALAT KOMUNIKASI /HT: 2 x 1.200.000 = 2.400.000)	4.700.000
10 Mei 2019	1.2%	RAPAT KOODINASI	- BELANJA PERJALANAN LAINNYA (SEWA MOBIL: 1 x 300.000 = 300.000)	300.000
10 Mei 2019	1.28%	RAPAT KOORDINASI	- BELANJA BARANG NON OPERASIONAL (NASI KOTAK@ RP.25.000 & SNACK @RP. 15.000: 8 x 40.000 = 320.000)	320.000
11 Mei 2019	0.96%	RAPAT KOORDINASI	- BELANJA BARANG NON OPERASIONAL (NASI @RP25000 & SNACK @ RP 15000: 6 x 40.000 = 240.000)	240.000
11 Mei 2019	1.2%	RAPAT KOORDINASI	- BELANJA PERJALANAN LAINNYA (SEWA MOBIL: 1 x 300.000 = 300.000)	300.000
12 Mei 2019	0.96%	MENYIAPKAN RANCANGAN PENGUKURAN	- BELANJA BARANG NON OPERASIONAL (NASI @ RP 25000 & SNACK @ RP 15000: 6 x 40.000 = 240.000)	240.000
12 Mei 2019	1.2%	PERSIAPAN RANCANGAN PENGUKURAN	- BELANJA PERJALANAN LAINNYA (SEWA MOBIL: 1 x 300.000 = 300.000)	300.000
20 Mei 2019	1.2%	MELAKSANAKAN PENGUKURAN	- BELANJA PERJALANAN LAINNYA (SEWA MOBIL: 1 x 300.000 = 300.000)	300.000
20 Mei 2019	1.28%	MELAKUKAN PENGUKURAN	- BELANJA BARANG NON OPERASIONAL (NASI DAN SNACK: 8 x 40.000 = 320.000)	320.000
21 Mei 2019	0.96%	PELAKSANAAN PENGUKURAN	- BELANJA BARANG NON OPERASIONAL (NASI DAN SNACK: 6 x 40.000 = 240.000)	240.000
21 Mei 2019	1.2%	MELAKSANAKAN PENGUKURAN	- BELANJA PERJALANAN LAINNYA (SEWA MOBIL: 1 x 300.000 = 300.000)	300.000
22 Mei 2019	0.96%	PELAKSANAAN PENGUKURAN	- BELANJA BARANG NON OPERASIONAL (NASI DAN SNACK: 6 x 40.000 = 240.000)	240.000
22 Mei 2019	1.2%	PELAKSANAAN PENGUKURAN	- BELANJA PERJALANAN LAINNYA (SEWA MOBIL: 1 x 300.000 = 300.000)	300.000

Tanggal Pelaksanaan	Persentase	Uraian Kegiatan	Daftar Pengeluaran	Dana Terpakai
09 Juni 2019	1.2%	ANALISA DATA HASIL PENGUKURAN	- BELANJA PERJALANAN LAINNYA (SEWA MOBIL: 1 x 300.000 = 300.000)	300.000
10 Juni 2019	1.2%	PEMBUATAN MODEL UNTUK SIMULASI	- BELANJA PERJALANAN LAINNYA (SEWA MOBIL: 1 x 300.000 = 300.000)	300.000
25 Juni 2019	1.2%	RAPAT KOORDINASI HASIL	- BELANJA PERJALANAN LAINNYA (SEWA MOBIL: 1 x 300.000 = 300.000)	300.000
25 Juni 2019	1.28%	RAPAT KOORDINASI HASIL	- BELANJA BARANG NON OPERASIONAL (NASI DAN SNACK: 8 x 40.000 = 320.000)	320.000
29 Juli 2019	2.16%	CETAK LAPORAN KEMAJUAN	- BELANJA BARANG NON OPERASIONAL (CELAPORAN KEMAJUAN: 12 x 45.000 = 540.000)	540.000
30 Juli 2019	4%	DAFTAR SENASTEK 2019	- BELANJA BARANG NON OPERASIONAL (DAFTAR SENASTEK 2019: 1 x 1.000.000 = 1.000.000)	1.000.000
15 Oktober 2019	2.8%	CETAK POSTER SENASTEK 2019	- BELANJA BARANG NON OPERASIONAL (CETAK POSTER: 1 x 100.000 = 100.000) - BELANJA BARANG NON OPERASIONAL (LAPORAN AKHIR: 12 x 50.000 = 600.000)	700.000
18 Oktober 2019	26.4%	HONOR MAHASISWA	- BELANJA BARANG NON OPERASIONAL (HONOR MAHASISWA: 6 x 1.100.000 = 6.600.000)	6.600.000
14 November 2019	1.1%	BIAYA TRANSPORTASI KE SENASTEK 2019	- BELANJA PERJALANAN LAINNYA (BIAYA TRANSPORTASI: 1 x 275.000 = 275.000)	275.000
Total				25.000.000

SURAT PERNYATAAN TANGGUNG JAWAB BELANJA

Yang bertanda tangan dibawah ini :

1. Nama : Ir. I wayan Rinas, MT.
2. Alamat :Kampus Universitas Udayanan di Jimbaran, Kuta Selatan, Badung, Bali.

Berdasarkan Perjanjian/Kontrak Nomor : 2500.1/UN14.2.5.II/LT/2019 mendapatkan Anggaran Penelitian “PENGARUH NILAI PENTANAHAN TITIK NETRAL TRANSFORMATOR UNTUK PERUBAHAN ARUS HARMONIC, ARUS NETRAL DAN RUGI-RUGI DAYA PADA SISTEM TENAGA LISTRIK” sebesar RP. 25.000.000.

1. Biaya kegiatan penelitian dibawah ini meliputi :

No	Penerima	Uraian	Tanggal	Jumlah (Rp)	Pajak yang dipungut BP/BPP	
					PPN	PPh
1	UD Srikandi	Pembelian 1 lusin boxy, @ lusin Rp. 100.000	1-3-2019	635.000		25.400
		Pembelian 10 rim HVS A4 70 gr, @ Rp.45.000	1-3-2019			
		Pembelian 1 lusin spidol, @ Rp. 90.000	1-3-2019			
2	UD Srikandi	Pembayaran Cetak 12 proposal, @ Rp. 40.000	10-3-2019	480.000		19.200
3	CV Dian Perdana	Pembelian 2 rol kabel NYM, @ Rp. 1.300.000	1-5-2019	3.600.000	327.272,7	49.090,9
		Pembelian 2 unit meteran, @ Rp. 125.000	1-5-2019			
		Pembelian 1 unit tangga , @ Rp. 750.000	1-5-2019			
4	CV Dian Perdana	Pembelian 1 set alat solder listrik, @ Rp. 350.000	3-5-2019	1.850.000	168.181,8	
		Pembelian 1 set Toolset, @ Rp. 300.000	3-5-2019			
		Pembelian 2 unit Voltmeter Digital, @Rp.300.000	3-5-2019			
		Pembelian 2 unit Ampermeter Digital , @ Rp.300.000	3-5-2019			
5	CV Dian Perdana	Pembelian 2 unit Tang Amper, @ Rp.1.150.000	6-5-2019	2.300.000	209.090,9	31.363,6
6	CV Dian Perdana	Pembelian 2 unit alat komunikasi HT, @ Rp.	9-5-2019	2.400.000	218.181,8	32.727,2
7	Swalayan Cintamani	Pembelian 8 kotak (Nasi + snack), @ Rp. 40.000 (Rapat koordinasi)	10-5-2019	320.000		12.800
8	Swalayan Cintamani	Pembelian 6 kotak (Nasi + snack), @ Rp. 40.000 (Rapat koordinasi)	11-5-2019	240.000		9.600

9	Swalayan Cintamani	Pembelian 6kotak (Nasi + snack), @ Rp. 40.000 (Menyiapkan rancangan pengukuran)	12-5-2019	240.000		9.600
10	Artha Nadi Transport	Sewa mobil untuk rapat koordinasi, @Rp.300.000	10-5-2019	300.000	12.000	
11	Artha Nadi Transport	Sewa mobil untuk rapat koordinasi, @Rp.300.000	11-5-2019	300.000	12.000	
12	Artha Nadi Transport	Sewa mobil untuk persiapan rancangan pengukuran,	11-5-2019	300.000	12.000	
13	Swalayan Cintamani	Pembelian 8 kotak (Nasi + snack), @ Rp. 40.000 (pengukuran)	20-5-2019	320.000		12.800
14	Swalayan Cintamani	Pembelian 6 kotak (Nasi + snack), @ Rp. 40.000 (pengukuran)	21-5-2019	240.000		9.600
15	Swalayan Cintamani	Pembelian 6 kotak (Nasi + snack), @ Rp. 40.000 (pengukuran)	22-5-2019	240.000		9.600
16	Artha Nadi Transport	Sewa mobil untuk melakukan pengukuran, @Rp. 300.000	20-5-2019	300.000	12.000	
17	Artha Nadi Transport	Sewa mobil untuk melakukan pengukuran, @Rp. 300.000	21-5-2019	300.000	12.000	
18	Artha Nadi Transport	Sewa mobil untuk melakukan pengukuran, @Rp. 300.000	22-5-2019	300.000	12.000	
19	Artha Nadi Transport	Sewa mobil untuk analisa data hasil pengukuran, @Rp.	9-6-2019	300.000	12.000	
20	Artha Nadi Transport	Sewa mobil untuk pembuatan model dan simulasi, @Rp.	10-6-2019	300.000	12.000	
21	Artha Nadi Transport	Sewa mobil untuk rapat koordinasi hasil simulasi, @Rp. 300.000	25-6-2019	300.000	12.000	
22	Swalayan Cintamani	Pembelian 8 kotak (Nasi + snack), @ Rp. 40.000	25-6-2019	320.000		12.800
23	BNI 46	Bayar Daftar Senastek di BNI 46 @ Rp. 1.000.000	26-7-2019	1.000.000		40.000
24	UD Srikandi	Cetak Laporan Kemajuan 12 buah, @Rp.45.000	29-7-2019	540.000		21.600
25	UD Srikandi	Cetak Poster , @ Rp.120.000	15-10-2019	700.000		28.000
		Cetak Lap. Akhir 12 buah, @ Rp. 50.000				
26	Kwitansi	Honor 6 orang Mahasiswa, @ Rp.1.100.000	18-10-2019	6.600.000		198.000
27	Artha Nadi Transport	Sewa mobil 1 hari, @Rp. 275.000	14-11-2019	275.000	11.000	
TOTAL PENGGUNAAN DANA 100%				25.000.000	1.041.727,2	522.181,7

2. Jumlah uang tersebut pada angka 1, benar-benar dikeluarkan untuk pelaksanaan kegiatan penelitian/pengabdian* yang dimaksud.
3. Bersedia menyimpan dengan baik seluruh bukti pengeluaran belanja yang telah dilaksanakan.
4. Bersedia untuk dilakukan pemeriksaan terhadap bukti-bukti pengeluaran oleh aparat pengawas fungsional pemerintah.

5. Apabila dikemudian hari, pernyataan yang saya buat ini mengakibatkan kerugian maka saya bersedia dituntut penggantian kerugian negara dimaksud sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan.

Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya.

Denpasar, 29 -10- 2019
Ketua Pelaksana



(Ir. I Wayan Rinas, MT.)
NIP: 19641231 1992 03 1028

LAMPIRAN 5

SURAT PERNYATAAN KETUA PENELITIAN



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS UDAYANA
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
Kampus Bukit Jimbaran. Telp. (Fax) (0361) 703367: 704622.
E-Mail: info-lppm@unud.ac.id [Http://lppm.unud.ac.id](http://lppm.unud.ac.id)

SURAT PERNYATAAN KETUA PENGUSUL

Yang bertanda tangan di bawah ini :

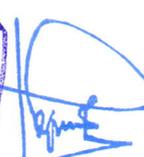
Nama Lengkap : Ir.I Wayan Rinas,MT.
NIP/NIDN : 196412311992031028/0031126481
Pangkat / Golomngan : Pembina/IVa
Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
Program Studi/Fakultas : Elektro/Teknik

Dengan ini menyatakan bahwa proposal saya dengan judul:“ PENGARUH NILAI PENTANAHAN TITIK NETRAL TRANSFORMATOR UNTUK PERUBAHAN ARUS HARMONIC, ARUS NETRAL DAN RUGI-RUGI DAYA PADA SISTEM TENAGA LISTRIK ”, yang diusulkan dalam skema Penelitian Unggulan Program Studi, untuk tahun anggaran 2019 dibuat secara bersama-sama oleh tim pengusul dan **bersifat original dan belum pernah dibiayai oleh lembaga/sumber dana lain.**

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses sesuai dengan ketentuan yang berlaku dan mengembalikan seluruh biaya penugasan yang sudah diterima ke BLU.

Demikian Surat Pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan dengan sebenar-benarnya.

Mengetahui
Ketua LPPM



(Prof. Dr. H. I Gede Rai Maya Temaja, MP)
NIP 19621009 198803 1 002

Badung, 4 – 02 – 2019
Yang menyatakan



(Ir. I Wayan Rinas,MT.)
NIP 196412311992031028