

PENGARUH BESARAN HAMBATAN PEMBUMIAN TITIK NETRAL TERHADAP THD DI GEDUNG KAMPUS

W G Yoga Ananta Wijaya¹, I G N Janardana², I B Gede Manuaba³

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

^{2,3}Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Jl. Kampus Bukit Jimbaran, Bali, Indonesia

Yogagdy.389f@gmail.com¹, janardana@ee.unud.ac.id²

ABSTRAK

Kualitas daya listrik dipengaruhi oleh faktor harmonisa yang terjadi karena adanya ketidakseimbangan beban pada sistem tenaga. Ketidakseimbangan beban ini mengakibatkan adanya arus pada titik netral. Besarnya arus ini dapat mengakibatkan kerusakan peralatan dan rugi daya listrik. Maka dari itu diperlukan sistem pembumian untuk mengurai arus yang mengalir pada titik netral dan sebagai pengaman sistem tenaga listrik di suatu gedung. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh dari nilai resistansi pembumian titik netral terhadap THD arus pada MDP yang terpasang saat keadaan beban puncak di Kampus Teknik Elektro Universitas Udayana Jimbaran. Metode penelitian ini menggunakan simulasi dengan *software Simulink Matlab* untuk mengetahui pengaruh besaran hambatan pembumian titik netral terhadap THD arus di tempat yang memiliki tanah berkapur. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai resistansi pembumian berpengaruh terhadap nilai THDi pada sistem kelistrikan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada saat nilai resistansi pembumian 5 Ω , THD arus fasa R, S, dan T bernilai 17,55 %, 19,42 %, dan 8,86 %. Kemudian pada saat nilai resistansi diturunkan menjadi 0,5 Ω , THD arus fasa R, S, T bernilai 17,20 %, 17,35 %, dan 8,79 %. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil nilai resistansi pembumian, maka nilai THD arus akan semakin kecil.

Kata kunci : Harmonisa, Kualitas Listrik, Jaringan Distribusi, Simulink Matlab

ABSTRACT

The quality of electric power is influenced by harmonic factors that occur due to an imbalance in the load on the power system. This load imbalance results in a current at the neutral point. This amount of current can cause equipment damage and loss of electrical power. Therefore, an earthing system is needed to parse the current flowing at the neutral point and as a safety for the electric power system in a building. The objective of this research was to specify the impact of the grounding resistance value of the neutral point on the current THD on the MDP installed during peak load conditions at the Electrical Engineering Campus of Udayana University in Jimbaran. This research method uses simulation with Simulink Matlab software to determine the effect of neutral point grounding resistance on current THD in areas with calcareous soils. The simulation outputs indicate that the value of the earth resistance affects the THDi value in the electrical system. The simulation outcomes represent that when the earth resistance value is 5 Ω , the THD of the R, S, and T phase currents is feasible at 17.55%, 19.42 %, and 8.86%. Then when the resistance value is lowered by 0.5, the THD of the R, S, T phase currents is feasible 17.20%, 17.35%, and 8.79%. This shows that more slight the earth resistance number, the smaller the current THD value.

Key Words : Harmonics, Electrical Quality, Distribution Network, Simulink Matlab

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan kebutuhan primer bagi masyarakat sekarang ini, sehingga kualitas energi listrik harus diperhatikan. Kualitas energi listrik yang baik dapat memperpanjang umur dari

peralatan listrik, dan harmonisa listrik adalah salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas energi listrik tersebut. Pada dasarnya harmonisa adalah distorsi gelombang sinusoidal arus listrik

yang disebabkan oleh penggunaan beban nonlinear.

Ketidakseimbangan beban terjadi saat ketiga vektor fasa arus beban tidak sama besar dan sudutnya tidak berbentuk 120° atau ketiga vektor fasa arus beban sama besar namun sudutnya berbentuk 120° atau sebaliknya. Adanya arus yang mengalir pada titik netral terjadi karena ketidakseimbangan beban pada sistem [1]. Sehingga diperlukan sistem pembumian untuk mengurai arus pada titik netral, dan juga sebagai sistem pengamanan tenaga listrik, gedung, peralatan listrik dan konsumen atau pengguna. Untuk peralatan listrik dan elektronika nilai resistansi (R) dari pembumian idealnya $\leq 1 \Omega$ tetapi PUIL memberikan toleransi hingga $\leq 5 \Omega$ [2]. Berdasarkan Standar IEEE 80-2000 tentang pembumian gardu distribusi diberikan kurang dari 1Ω [3], [4].

Dari penelitian sebelumnya telah ada pembahasan mengenai harmonisa yang terjadi pada trafo pada Penyulang Sedap Malam, menunjukkan hasil trafo memiliki nilai THDi lebih dari 8% dan mengakibatkan rugi-rugi daya pada trafo [5]. Kemudian Penelitian lain tentang pengaruh nilai resistansi untuk pembumian titik netral, menunjukan hasil pada titik netral mengalir arus sebesar 41,6 A yang seharusnya jika pada kondisi seimbang tidak ada arus yang mengalir pada titik netral [6]. Penelitian lain yang berjudul analisis sistem pentanahan pada peralatan pengamanan bangunan Universitas Udayana di kampus Denpasar menyimpulkan bahwa metode pembumian yang paling efektif adalah pembumian tipe grid yang memiliki resistansi terendah dengan nilai $2,09 \Omega$ [7]. Beberapa penelitian tersebut menunjukan bahwa adanya permasalahan dalam kualitas daya listrik berupa harmonisa, arus netral, dan resistansi pembumian. Tetapi belum ada penelitian terkait hubungan antara ketiga permasalahan tersebut yang dilakukan di Prodi Teknik Elektro UNUD kampus Jimbaran.

Maka dari itu, studi ini dilakukan untuk menganalisa bagaimana dampak

nilai tahanan pentanahan (R) di titik netral terhadap arus THD pada beban puncak pada MDP yang terpasang di Program Studi Teknik Elektro UNUD kampus Jimbaran. Penelitian ini memiliki kelebihan karena dapat mengetahui pengaruh pentanahan titik netral terhadap THD arus pada tempat-tempat yang memiliki tanah berkapur menggunakan software Simulink MATLAB.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem Pembangkit tenaga listrik, sistem saluran transmisi, sistem saluran distribusi, dan juga konsumen, merupakan 4 bagian subsistem dari sistem tenaga listrik. Kualitas daya listrik yang baik didapatkan dari penyediaan energi listrik yang stabil dan berkelanjutan. Kedua hal tersebut merupakan persyaratan dalam memenuhi kebutuhan energi listrik. Pembebanan didesain merata pada awal perencanaan tetapi karena adanya ketidakserempakkan waktu penggunaan mengakibatkan ketidak-seimbangan pemanfaatan beban yang mempengaruhi kualitas penyediaan energi listrik [8].

2.2 Sistem Pembumian

Grounding atau sistem pembumian adalah suatu sistem penghantar atau konduktor sebagai suatu sistem pengamanan yang menghubungkan badan peralatan pada instalasi listrik ke tanah atau bumi atau *ground* yang diperuntukan sebagai pengamanan manusia dari sengatan listrik dan pengamanan peralatan dari bahaya tegangan maupun arus yang tidak normal [9].

2.3 Permasalahan Beban Listrik

Ada beberapa kondisi yang dapat menyebabkan permasalahan beban yang terpasang pada sistem distribusi tenaga listrik, yaitu kondisi beban nonlinear dan beban tidak seimbang.

(a) Beban Nonlinear

Beban nonlinear merupakan beban yang bentuk *output* gelombang arusnya tidak sebanding dengan bentuk *output* gelombang tegangannya per siklus, sehingga bentuk keluaran gelombang arus dan tegangan tidak sama dengan bentuk gelombang masukan. Terjadi distorsi gelombang dan terjadi kondisi *leading* maupun *lagging* pada keluaran arus dan tegangan [10].

(b) Beban Tidak Seimbang

Beban dalam kondisi *imbalance* adalah kondisi saat salah satu dari kedua syarat kondisi beban seimbang tidak dapat tercapai. Ada tiga peluang yang memungkinkan kondisi beban tidak seimbang, yaitu sebagai berikut [11]:

1. Tiga vektor fasa arus bernilai sama namun sudut 120° tidak terbentuk terhadap fasa yang lainnya.
2. Tiga vektor fasa arus tidak sama namun sudut 120° terbentuk terhadap fasa yang lainnya.
3. Tiga vektor fasa arus tidak sama besar dan sudut 120° tidak terbentuk terhadap fasa yang lainnya.

(c) Arus Netral

Arus pada kawat netral dalam sistem distribusi adalah arus dalam konduktor netral yang mengalir dalam sistem tiga fase empat kawat yang disebabkan oleh ketidakseimbangan beban dan adanya arus harmonisa atau THDi akibat banyaknya pengoperasian beban non-linear [12].

2.4 Harmonisa

Harmonisa merupakan tegangan atau arus sinusoid yang memiliki multi frekuensi, dimana frekuensi-frekuensi tersebut adalah frekuensi dasar yang berkelipatan bilangan bulat. Sistem tenaga listrik di Indonesia menggunakan frekuensi dasar 50 Hz [13].

A. Dampak Harmonisa

Harmonisa memiliki dampak yang buruk bagi sistem tenaga listrik harmonisa tegangan mengakibatkan rugi-rugi besi atau *core losses* dan harmonisa arus memberikan rugi-rugi tembaga.

Tabel 1. Dampak Polaritas Komponen Harmonik [14]

Urutan	Pengaruh pada Sistem Tenaga Listrik
Positif	Panas
Negatif	Panas, arah putaran motor berubah
Nol	Panas, menimbulkan arus pada titik netral

B. Total Harmonic Distortion (THD)

THD atau penjumlahan distorsi harmonisa difungsikan untuk mengetahui besar distorsi dari harmonisa suatu komponen fundamental [15]. Dinilai dalam satuan persentase, THD tegangan dapat dihitung melalui persamaan berikut.

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \times 100\% \quad (1)$$

THD untuk arus listrik dapat diketahui menggunakan persamaan berikut.

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

Dimana V_h merupakan komponen harmonisa tegangan orde ke h dan V_1 merupakan tegangan rms. Kemudian I_h merupakan komponen harmonisa arus orde ke h dan I_1 merupakan arus fundamental rms.

C. Standar Harmonisa [16]

Dalam suatu sistem tenaga listrik, harmonisa diatur melalui standar IEEE 519-2014.

1. Standar THD Tegangan

Tabel 2 menunjukkan standar THD tegangan.

Tabel 2. Batas Distorsi Tegangan Berdasarkan IEEE

Bus Voltage (V) at PCC	Individual Harmonic (%)	Total Harmonic Distortion (%)
$V \leq 1 \text{ kV}$	5.0	8.0
$1 \text{ kV} < V < 69 \text{ kV}$	3.0	5.0
$69 \text{ kV} < V < 161 \text{ kV}$	1.5	2.5
$161 \text{ kV} < V$	1.0	1.5

2. Standar THD Arus (120 V - 69 kV)

Batas THD arus yang direkomendasikan oleh IEEE 519-2014 untuk konsumen yang tersambung dengan

jaringan bertegangan 120 V sampai dengan 69 kV disesuaikan dengan (SC Ratio) *short circuit ratio* atau rasio hubung singkat. SC Ratio adalah nilai perbandingan antara (ISC) arus hubung singkat dengan (IL) arus beban. Batas THD arus yang direkomendasikan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Batas THD Arus Pada Tegangan 120 V Sampai Dengan 69 kV

Distorsi Arus Harmonik Maksimum (Persen) I_L						
Orde Harmonik Individu (Harmonik Ganjil) ^{a,b}						
I_{SC}/I_L^c	$3 \leq h \leq 11$	$11 \leq h \leq 17$	$17 \leq h \leq 23$	$23 \leq h \leq 35$	$35 \leq h \leq 50$	THD (%)
$< 20^c$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
$21 < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
$51 < 100$	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
$101 < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.5	1.0	15.0
$1000 <$	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

^a Harmonik genap dibatasi hingga 25% dari batas harmonik ganjil di atas.
^b Distorsi arus yang menghasilkan offset DC, misalnya, konverter setengah gelombang, tidak diperbolehkan.
^c Semua pembangkit dibatasi oleh nilai distorsi arus ini, selain ISC/IL yang sebenarnya. ISC adalah arus *short circuit* tertinggi pada PCC, dan IL adalah arus beban permintaan tertinggi pada PCC dalam kondisi operasi beban normal.

D. Perhitungan Rasio Hubung Singkat

Untuk menentukan standar THD arus yang diperbolehkan oleh IEEE 519-2014, rasio hubung singkat (SC Ratio) harus diketahui terlebih dahulu. SC Ratio dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut [17].

$$SC_{Ratio} = \frac{I_{SC}}{I_L} \quad (3)$$

Dengan:

I_{SC} = arus hubung singkat (A)

I_L = arus beban penuh (A)

Nilai arus hubung singkat (I_{SC}) tiga fasa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$I_{SC} = \frac{kVA \times 100}{\%Z \times \sqrt{3} \times kV} \quad (4)$$

Dengan:

I_{SC} = arus *short circuit* 3 fasa dalam A

kVA = daya *trafo* dalam kVA

V = tegangan sisi sekunder transformator dalam kV

%Z = persentase impedansi dalam %

Nilai arus beban penuh (I_L) tiga fasa dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$I_L = \frac{kW}{PF \times \sqrt{3} \times kV} \quad (5)$$

Dengan:

I_L = arus beban penuh 3 fasa (A)

kW = daya aktif (kW)

PF = faktor daya ($\cos \phi$)

kV = tegangan sisi sekunder transformator (kV)

E. Pengolahan Data Tenaga Listrik 3 Fasa

Ada beberapa rumus yang akan digunakan untuk mengolah data sistem listrik 3 fasa, diantaranya sebagai berikut:

1. Tegangan rms / Phase-to-phase rms Voltage

Untuk mengetahui nilai tegangan rms, dapat digunakan rumus berikut.

$$V_{rms} = \frac{V_{sekunder}}{\sqrt{2}} \quad (6)$$

Dengan:

V_{rms} = tegangan rms (V)

$V_{sekunder}$ = tegangan sekunder (V)

2. Frekuensi

Nilai frekuensi sistem yang digunakan dan berlaku di Indonesia adalah senilai 50 Hz.

3. Resistansi Sumber / Source Resistance

Untuk menentukan resistansi sumber, harus dilakukan perhitungan Z terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan berikut.

$$Z_s = \frac{kV \phi^2}{MVA 3\phi} \times Z \quad (7)$$

Dengan:

Z_s = Impedansi sumber (Ω)

kV ϕ = Tegangan fasa (V)

MVA 3 ϕ = Kapasitas transformator (MVA)

Z = Impedansi transformator (%)

Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai X_s yang dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$X_s = \frac{X}{R} \times R_s \quad (8)$$

Dengan:

X_s = Reaktansi sumber

X = Reaktansi *transformator* (%)

R = Resistansi *transformator* (%)

R_s = Resistansi sumber (Ω)

Setelah nilai Z_s dan X_s dihitung maka nilai R_s dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$Z_s^2 = X_s^2 + R_s^2 \quad (9)$$

4. Induktansi Sumber / *Source Inductance*

Nilai induktansi sumber dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$L_s = \frac{X_s}{2 \times \pi \times f} \quad (10)$$

Dengan:

L_s = Induktansi sumber (H)

F = Frekuensi (Hz)

F. Parameter Pemodelan Beban Nonlinear

Berikut beberapa rumus untuk menentukan parameter yang akan dimasukkan ke dalam pemodelan beban nonlinear.

1. Resistansi / *Resistance*

Nilai resistansi beban tiap fasanya dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$R = \frac{V^2}{P} \quad (11)$$

Dengan:

R = resistansi beban (Ω)

V = tegangan fasa (V)

P = daya terpasang per fasa (W)

2. Kapasitansi / *Capacitance*

Nilai kapasitansi dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$C = \frac{1}{4\sqrt{3} \times f \times RF \times R} \quad (12)$$

Dimana:

C = kapasitansi beban (F)

f = frekuensi (Hz)

RF = *ripple factor* (Nilai RF dioda dengan input 220 V adalah 5%)

R = resistansi beban (Ω)

3. Induktansi / *Inductance*

Nilai induktansi dapat dihitung berdasarkan nilai kapasitansi dengan menggunakan persamaan berikut.

$$L = \frac{0,236R}{2 \times \pi \times f \times C} \quad (13)$$

Dimana:

L = induktansi beban (H)

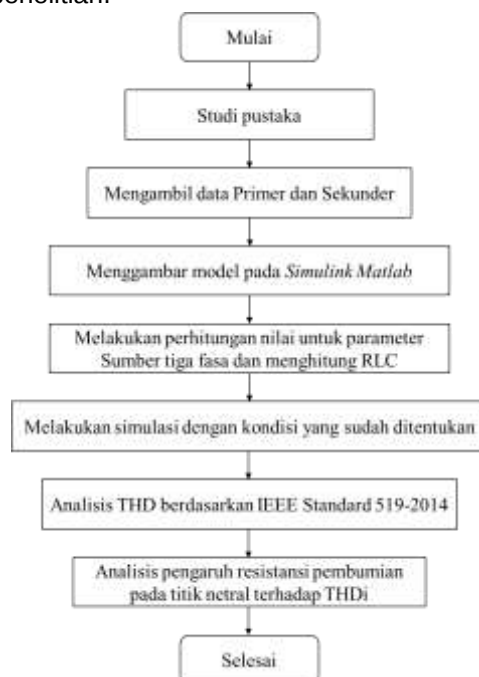
R = resistansi beban (Ω)

f = frekuensi (Hz)

C = kapasitansi beban (F)

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di kampus Teknik Elektro Universitas Udayana yang berlokasi di Jimbaran, Bali. Analisis Data dapat dilihat pada gambar diagram alir penelitian.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Dalam penelitian ini data yang diperoleh akan dianalisis dengan prosedur sebagai berikut:

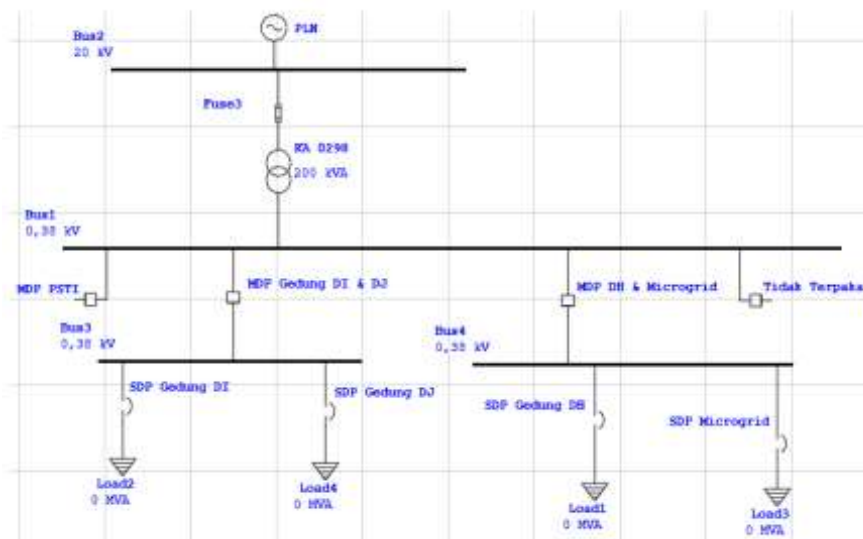
1. Studi Pustaka mengenai sistem kelistrikan Program Studi Teknik Elektro Jimbaran seperti *single line diagram*.
2. Melakukan pengukuran jumlah data beban yang tersambung, mengukur data MDP, pengukuran data per fasa meliputi nilai THD arus, data ketika beban penuh diantaranya voltase, ampere, faktor daya, Watt, VA dan VAR.
3. Melakukan pemodelan berdasarkan *single line diagram*.
4. Melakukan perhitungan terhadap data primer dan sekunder untuk dimasukkan ke dalam pemodelan *Simulink Matlab*.

5. Melakukan simulasi dengan pemodelan *Simulink Matlab* dengan parameter-parameter hasil perhitungan.
6. Menganalisis hasil simulasi dengan standar IEEE 519-2014 dengan menentukan standar THD arus dengan menggunakan *SC Ratio*.
7. Menganalisis pengaruh nilai resistansi pembumian titik netral terhadap nilai THD arus.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sistem Kelistrikan di Kampus

MDP dibagi menjadi 3 jalur. Pertama menuju Program Studi Teknologi Informasi, jalur kedua menuju Program Studi Teknik Elektro gedung DJ dan Laboratorium, dan jalur ketiga menuju gedung DH dan *microgrid*.



Gambar 2. *Single Line Diagram* Sistem Kelistrikan Program Studi Teknik Elektro Universitas Udayana – Jimbaran.

4.2 Pemodelan Sistem Tenaga Listrik

Model ini dibuat menggunakan sistem 3 fasa 4 kawat. Pada pemodelan ini terdapat tiga blok yang memerlukan *input* data parameter, yaitu sub sistem pembumian, sub sistem pemodelan sumber, dan sub sistem beban nonlinear. Data diperoleh dari hasil pengukuran, spesifikasi *transformator*, serta hasil perhitungan yang akan dimasukkan ke dalam blok parameter masing-masing sub sistem. Berikut

merupakan data yang diperoleh dari hasil pengukuran.

Tabel 4. Data hasil pengukuran

	Fasa R	Fasa S	Fasa T
Tegangan	230,95 V	235,76 V	232,05 V
Cos ϕ	0,905	0,73	0,915
Daya	4857,4W	5791,7W	4507,55W

(a) Pemodelan Sumber

Model sumber 3 fasa yang dirancang memerlukan beberapa parameter pada blok

parameter sumber 3 fasa yang akan diisi oleh data dari spesifikasi *transformator* dan berdasarkan perhitungan berikut ini:

1. Tegangan rms atau *Phase-to-phase rms voltage* (Vrms)

Besaran ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (6).

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

2. Frekuensi

Frekuensi dasar yang digunakan di Indonesia adalah 50 Hz.

3. Resistansi Sumber (Rs)

Parameter selanjutnya adalah resistansi sumber (Rs), untuk mendapatkan nilai Rs harus diketahui terlebih dahulu nilai dari impedansi sumber (Zs) dengan menggunakan persamaan. Maka, nilai dari Zs adalah sebagai berikut:

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

$$Z_s = 0,0288 \Omega$$

Selanjutnya perlu mencari nilai dari reaktansi sumber (Xs) dengan menggunakan persamaan (8).

Dengan menggunakan nilai tipikal X/R yang didapatkan dari ETAP yaitu 1,5 maka nilai dari Xs adalah sebagai berikut:

$$X_s = 1,5R_s$$

Setelah didapat nilai Zs dan Xs maka nilai Rs dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (9).

$$Z_s^2 = 1,5R_s^2 + R_s^2$$

$$Z_s^2 = 2,25R_s^2 + R_s^2$$

$$Z_s^2 = 3,25R_s^2$$

Maka nilai dari Rs adalah:

$$R_s^2 = \frac{Z_s^2}{3,25}$$

$$R_s = \sqrt{\frac{0,0288^2}{3,25}}$$

$$= 0,01597 \Omega$$

$$= 1,59e^{-2} \Omega$$

4. Induktansi Sumber (Ls)

Parameter induktansi sumber (Ls) dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (10).

$$L_s = \frac{1,5R_s}{2 \times 3,14 \times 50}$$

$$L_s = \frac{1,5 \times 0,01597}{2 \times 3,14 \times 50}$$

$$L_s = 0,0000762 H$$

$$L_s = 0,762e^{-4} H$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, maka telah didapatkan nilai tegangan rms (Vrms), resistansi sumber (Rs), dan induktansi sumber (Ls) sehingga data tersebut dapat dimasukkan ke dalam blok parameter sumber 3 fasa.

- (b) Pemodelan Beban Nonlinear Dengan Kondisi Beban Tidak Seimbang

Pemodelan sistem beban nonlinear menggunakan komponen jenis semikonduktor berupa diode, dan menggunakan blok parameter series RLC branch. Blok parameter tersebut terletak di sisi beban dan memerlukan beberapa parameter yang perlu dimasukkan, yaitu resistansi, induktansi, dan kapasitansi.

Parameter-parameter yang diperlukan yaitu resistansi, kapasitansi, dan induktansi beban dapat dihitung dengan data hasil pengukuran yang ada pada tabel 4 menggunakan persamaan (11), (12), dan (13).

1. Perhitungan resistansi beban (R) nonlinear

Menggunakan data yang ada di tabel 4 dan persamaan (11), perhitungan resistansi beban adalah sebagai berikut:

$$R = \frac{230,95^2}{4857,35}$$

$$R = 10,98086 \Omega$$

2. Perhitungan kapasitansi beban (C) nonlinear

Menggunakan data yang ada di tabel 4 dan persamaan (12), perhitungan kapasitansi beban adalah sebagai berikut:

$$C = \frac{1}{4\sqrt{3} \times 50 \times 0,05 \times 10,98086}$$

$$C = 0,0052577 F$$

3. Perhitungan induktansi beban (L) nonlinear

Menggunakan data yang ada di tabel 4 dan persamaan (13), perhitungan induktansi beban adalah sebagai berikut:

$$L = \frac{0,236 \times 10,98086}{2 \times 3,14 \times 50 \times 0,005257}$$

$$L = 1,56969 H$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, maka telah didapatkan nilai resistansi, induktansi, dan kapasitansi beban pada fasa R, sehingga nilai tersebut dapat dimasukkan ke dalam blok parameter Series RLC Branch.

Menggunakan cara yang sama, dapat dilihat nilai-nilai parameter fasa S dan fasa T di Tabel 5.

Tabel 5. Tabel Nilai Resistansi, Induktansi, dan Kapasitansi per Fasa

Fasa	Resistansi Beban (R) (Ohm)	Induktansi Beban (L) (Henry)	Kapasitansi Beban (C) (Farad)
R	10,98086	1,569694	0,0052577
S	9,5969	1,1989	0,00601
T	11,946	1,8577	0,004833

(c) Pemodelan Sistem Pembumian

Pada pemodelan ini sistem pembumian dirancang sebagai sistem pengaman saluran tenaga listrik. Bila terjadi gangguan arus lebih maka akan disalurkan ke dalam tanah melalui kutub pembumian/elektroda berupa konduktor yang menjadi media hantar arus tenaga listrik saat terjadi gangguan.

Sistem pembumian yang ada di kampus ini merupakan jenis pembumian langsung. Jenis pembumian ini adalah jenis pembumian yang menancapkan elektrodanya (media hantar) langsung ke dalam tanah. Nilai resistansi sistem pembumian ini dipengaruhi oleh nilai resistansi tanah.

Pada simulasi ini, sistem pentanahan dirancang dengan beberapa kondisi. Yang pertama adalah kondisi yang ada saat ini (*existing*) yaitu nilai resistansi pembumian sebesar 31,5 Ω , kondisi dimana sistem pembumian dirancang dengan nilai resistansinya melebihi standar nilai resistansi pembumian (20 Ω , 15 Ω , 10 Ω , 8 Ω , 6 Ω), kondisi dimana sistem pembumian dirancang dengan nilai resistansinya sesuai dengan standar nilai resistansi pembumian (5 Ω) dan kondisi dimana sistem pembumian dirancang dengan nilai resistansinya lebih baik dari standar nilai

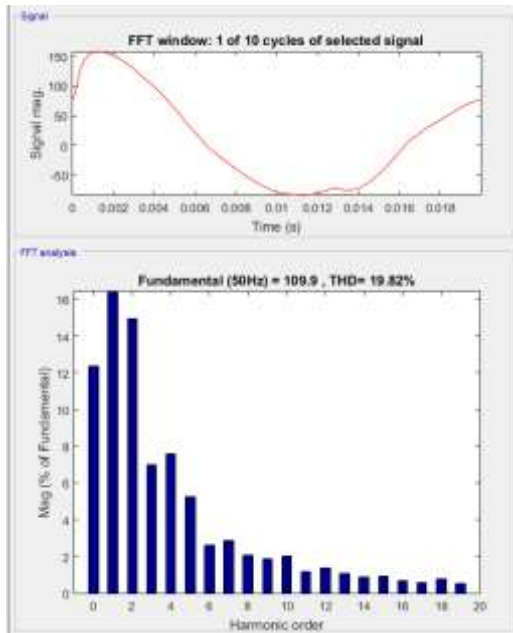
resistansi pembumian (4 Ω , 3 Ω , 2,5 Ω , 1,5 Ω , dan 0,5 Ω). Nilai-nilai tersebut dimasukkan ke dalam blok parameter Resistansi Pembumian, seperti pada Gambar 3.

4.3 Hasil Simulasi Total Harmonic Distortion Arus (THDi)

Setelah memasukkan nilai-nilai parameter hasil dari perhitungan ke dalam blok parameter, dilakukan simulasi THDi. Simulasi THDi dilakukan per fasa dengan beban nonlinear dengan kondisi yang tidak seimbang, dengan sistem pembumian langsung sesuai dengan kondisi *existing*, kondisi melebihi standar nilai resistansi, kondisi sesuai dengan resistansi, dan kondisi lebih baik dari standar nilai resistansi. Dari hasil simulasi akan dianalisis pengaruh dari variasi nilai resistansi sistem pembumian terhadap THDi pada sistem kelistrikan di kampus. simulasi menggunakan Simulink MATLAB dengan menggunakan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) dilakukan untuk menganalisis pengaruh nilai resistansi sistem pembumian terhadap THDi.

(a) Hasil Simulasi Dengan Kondisi *Existing*

Simulasi dengan kondisi eksisting yang memiliki nilai tahanan pentanahan sebesar 31,5 dilakukan dengan menggunakan metode FFT dan didapatkan hasil sebagai berikut :



Gambar 3. Hasil Simulasi THDi Fasa R

Gambar 3 menunjukkan hasil simulasi beban nonlinear dalam kondisi tidak seimbang, dengan kondisi *existing* nilai resistansi 31,5 Ω pada fasa R. Hasilnya diketahui nilai THDi sebesar 19,82%. Dengan cara yang sama, dilakukan simulasi pada fasa S dan T, kemudian hasilnya tertera pada tabel berikut.

Tabel 6. Hasil Simulasi *Simulink* MATLAB

Nilai Resistansi Penumian (Ω)	Fasa	Hasil Simulasi THDi (%)
Kondisi <i>Existing</i>		
31,5	R	19,82
	S	19,84
	T	9,90
Kondisi Tidak Sesuai Standar		
20	R	18,57
	S	19,82
	T	8,93
15	R	18,09
	S	19,75
	T	8,91
10	R	17,94
	S	19,71
	T	8,91
8	R	17,73
	S	19,62
	T	8,89
6	R	17,64
	S	19,51
	T	8,86
Kondisi Sesuai Standar		
5	R	17,55
	S	19,42

4	T	8,86
	R	17,44
	S	19,33
3	T	8,83
	R	17,36
	S	19,11
2,5	T	8,83
	R	17,31
	S	18,95
1,5	T	8,81
	R	17,25
	S	18,50
Kondisi Ideal		
0,5	R	17,20
	S	17,35
	T	8,79

Berdasarkan Tabel 6 dapat diketahui bahwa persentase nilai THD arus pada tiap fasa dengan kondisi nilai resistansi sistem pembumian yang bervariasi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai THD arus fasa R mengalami penurunan seiring dengan penurunan nilai resistansi pembumian titik netral. Pada fasa S juga mengalami penurunan seiring dengan penurunan nilai resistansi pembumian titik netral. Selanjutnya pada fasa T nilai THD arus mengalami penurunan seiring dengan penurunan nilai resistansi pembumian titik netral.

4.4 Analisis Pengaruh Nilai Resistansi Sistem Pembumian Terhadap THD Arus Berdasarkan Standar

Batas THD arus menurut IEEE 519-2014 dapat dilihat pada Tabel 3. Batas THD arus ditentukan dengan nilai rasio hubungan singkat atau *short circuit ratio* (SCRatio). Dalam perhitungan SCRatio diperlukan nilai arus hubungan singkat (ISC) dan arus beban (IL). Perhitungan ISC dan IL dapat dihitung menggunakan persamaan (4) dan (5). serta dari data *transformator* yang ada.

$$I_{sc} = \frac{200 \times 100}{4 \times \sqrt{3} \times 0.38}$$

$$I_{sc} = 7596,714 \text{ A}$$

Pada sistem tiga fasa, perhitungan tiap fasanya adalah sama, maka selanjutnya dilakukan perhitungan IL pada setiap fasanya. Berikut perhitungan untuk fasa R.

$$I_L = \frac{4857,35}{0,82 \times 230,95}$$

$$I_L = 25,648 \text{ A}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan yang sama untuk setiap fasanya pada Tabel berikut.

Tabel 7. Nilai Arus Beban per Fasa

Arus Beban (I_L)		
Fasa R (A)	Fasa S (A)	Fasa T (A)
25,648 A	31,904 A	22,073 A

Dengan didapatkannya ISC dan IL maka SC_{Ratio} dapat dihitung menggunakan persamaan (3).

$$SC_{Ratio} = \frac{7596,714}{25,648}$$

$$SC_{Ratio} = 296,191 \text{ A}$$

Menggunakan cara itu, perhitungan diulang untuk SC_{Ratio} setiap fasa. Hasilnya tertera pada Tabel berikut.

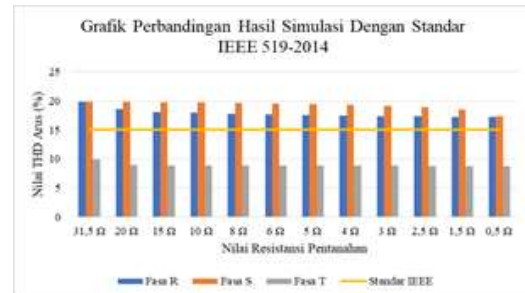
Tabel 8. Nilai Rasio Hubung Singkat

Rasio Hubung Singkat (SC_{Ratio})		
R	S	T
296,191 A	238,111 A	344,163 A

Setelah mendapatkan nilai SC_{Ratio} maka nilai yang didapatkan kemudian dibandingkan dengan standar IEEE 519-2014. Berdasarkan Tabel 8 nilai SC_{Ratio} Transformator KA 0298 berada di kategori $100 < 1000$, yaitu dengan batas maksimum THD arus 15%.

4.5 Analisis Hasil Simulasi Dengan Standar IEEE 519-2014

Berdasarkan hasil simulasi beban nonlinear dengan kondisi nilai resistansi sistem *existing* sebesar 31.5 Ω , kondisi melebihi standar sebesar 20 Ω , 15 Ω , 10 Ω , 8 Ω , 6 Ω , kondisi sesuai standar sebesar 5 Ω , dan kondisi di bawah standar sebesar 4 Ω , 3 Ω , 2.5 Ω , 1.5 Ω , dan 0.5 Ω pada model sistem kelistrikan kampus, pada Gambar 4 dapat dianalisa nilai batas maksimum THD arus yang diperbolehkan dalam sistem kelistrikan.



Gambar 4. Perbandingan Hasil Simulasi dengan Standar IEEE

Gambar 4 menunjukkan hasil simulasi sistem kelistrikan di kampus yang telah dilakukan. Simulasi menggunakan dua belas nilai resistansi pembumihan yang berbeda. Standar acuan yang digunakan dalam penelitian ini membatasi nilai THD arusnya sebesar 15%. Sehingga dari hasil simulasi ini dapat dianalisis pengaruh resistansi pembumihan di titik netral terhadap THDi.

Berdasarkan hasil simulasi, saat nilai resistansi sistem pembumihan 31.5 Ω , hasil simulasi menunjukkan bahwa fasa R, S, dan T berturut-turut mempunyai THDi sebesar 19,82 %, 19,84 %, dan 9,90 %. Saat nilai resistansi diturunkan menjadi 20 Ω , THD arus fasa R, S, dan T berturut-turut bernilai 18,57 %, 19,82 %, dan 8,93 %. Saat nilai resistansi diturunkan menjadi 15 Ω , THD arus fasa R, S, dan T berturut-turut bernilai 18,09 %, 19,75 %, dan 8,91 %. Saat nilai resistansi diturunkan menjadi 10 Ω , THD arus fasa R, S, dan T berturut-turut bernilai 17,94 %, 19,71 %, dan 8,91 %. Saat nilai resistansi diturunkan menjadi 8 Ω , THD arus fasa R, S, dan T berturut-turut bernilai 17,73 %, 19,62 %, dan 8,89 %. Saat nilai resistansi diturunkan menjadi 6 Ω , THD arus fasa R, S, dan T berturut-turut bernilai 17,64 %, 19,51 %, dan 8,86 %. Saat nilai resistansi diturunkan menjadi 5 Ω , THD arus fasa R, S, dan T berturut-turut bernilai 17,55 %, 19,42 %, dan 8,86 %. Saat nilai resistansi diturunkan menjadi 4 Ω , THD arus fasa R, S, dan T berturut-turut bernilai 17,44 %, 19,33 %, dan 8,83 %. Saat nilai resistansi diturunkan menjadi 3 Ω , THD arus fasa R, S, dan T berturut-turut bernilai 17,36 %, 19,11 %, dan 8,83 %. Saat nilai

resistansi diturunkan menjadi 2,5 Ω , THD arus fasa R, S, dan T berturut-turut bernilai 17,31 %, 18,95 %, dan 8,81 %. Saat nilai resistansi diturunkan menjadi 1,5 Ω , THD arus fasa R, S, dan T berturut-turut bernilai 17,25 %, 18,50 %, dan 8,80 %. Saat nilai resistansi diturunkan menjadi 0,5 Ω , THD arus fasa R, S, dan T berturut-turut bernilai 17,20 %, 17,35 %, 8,79 %.



Gambar 5. Perbandingan Penurunan Nilai Resistansi Pembumian Terhadap THD Arus

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat pengaruh dari penurunan nilai resistansi pembumian terhadap nilai THD arus pada pemodelan sistem kelistrikan di kampus. Bila nilai resistansi pembumian semakin kecil maka persentase kandungan harmonisa pada sistem kelistrikan juga akan cenderung semakin kecil.

5. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi dan analisis yang sudah diselesaikan maka dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai resistansi pembumian titik netral berpengaruh terhadap nilai THD arus. Saat nilai resistansi sistem pembumian 31.5 Ω dalam kondisi *existing*, hasil simulasi menunjukkan bahwa fasa R, S, dan T berturut-turut memiliki THDi sebesar 19,82 %, 19,84 %, dan 9,90 %. Kemudian pada saat nilai resistansi pembumian diturunkan menjadi kurang dari 1 Ω saat nilai resistansi pembumian 0,5 Ω dalam kondisi ideal, THDi fasa R, S, dan T berturut-turut bernilai 17,20 %, 17,35 %, 8,79 %. Nilai THDi fasa R, S, dan T terus menurun seiring dengan penurunan nilai resistansi pembumian titik netral. Semakin kecil nilai resistansi pembumian titik netral maka akan semakin

kecil juga nilai THD arus dalam suatu sistem ketenagalistrikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dugan, R. C., McGranaghan, M. F., Santoso. S., Beaty, H. W. 2004 Electrical Power System Quality – Second Edition. McGraw Hill.
- [2] Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2011; Badan Standarisasi Nasional
- [3] Sugiharto, A. 2019. Pentanahan untuk Perlindungan Peralatan dan Bangunan Gedung; Swara Parta. Vol 9 No2. P 34-41
- [4] IEEE 80-2000. *Errata to IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding*.
- [5] Ariana, I. G., Rinas, I. W., Arjana, I. G. D., 2017. Analisis Pengaruh Harmonisa Terhadap Rugi-Rugi Daya (Losses) Pada Transformator di Penyulang Sedap Malam. Vol. 16. No. 1.
- [6] Amerta 2018. Analisis Pengaruh Nilai Resistansi Untuk Pembumian Titik Netral Terhadap THD di Fakultas Teknik Universitas Udayana – Sudirman.
- [7] Janardana, I. G. N. 2017. Analysis Grounding System As Building Equipment Security Udayana University Denpasar; Journal of Electrical, Electronics, and Informatics.Vol: 1, No. 2.
- [8] Bachtiar, A., Dirgantara. B. 2017. Optimalisasi Penyeimbangan Beban Transformator Dengan Motode Seimbang Beban Seharian (SBS) pada Gardu Depan Kantor Rayon PT. PLN (Persero) Rayon; Institut Teknologi Padang. Vol: 6, No. 1.
- [9] Erliza Y, Abdul M, Faisal. 2018. Studi Perlakuan Terhadap Tanah Untuk Menentukan Nilai Resistansi dan Tahanan Jenis Pembumian. Universitas Muhammadiyah Palembang. Jurnal Surya Energy Vol. 3 No. 2 P. 269-275
- [10] Bayuna, IG.W.A. Sukerayasa, I.W. Ariastina W.G. 2017. Studi Analisis Pengaruh Harmonisa Terhadap Rugi-Rugi Daya Pada Penyulang Menjangan. Majalah Ilmiah Teknologi Elektro (MITE). Vol.16. No.1. P.123-129

- [11] Dwipayana, IG.N. Rinas, I.W. Suartika, I.M. 2017. Analisis THD dan Peningkatan Arus pada Kawat Netral Akibat Pengoperasian Beban Non Linier yang Tak Seimbang pada Sistem Tenaga Listrik di RSUD Kabupaten Klungkung. Majalah Ilmiah Teknologi Elektro (MITE). Vol. 16. No.3 P.92-98
- [12] Dwipayana, Rinas. 2016. Analisis THD dan Peningkatan Arus pada Kawat Netral Akibat Pengoperasian Beban Non-Linear yang Tidak Seimbang pada Sistem Tenaga Listrik di RSUD Kabupated Klungkung; Teknik Elektro Universitas Udayana.
- [13] Rinas, I. W., 2017. Kualitas Daya Listrik dan Beberapa Solusinya.
- [14] Hasugian. H. 2014. Analisis Pengaruh Harmonisa Terhadap Panas Pada Belitan Transformator Distribusi. Fakultas Teknik Universitas Sumatra Utara (USU); Sumatera Utara. Vol: 6. No. 3.
- [15] Rosa. F. C. D. L. 2006. Harmonics and Power Systems. Distribution Control Systems, Inc.; USA.
- [16] IEEE 519-2014. *Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*. (Revisi dari IEEE Std. 519-1992).
- [17] Gunawan, IG. A. Rinas, IW. Wijaya IW.A. 2015. Analisis Distorsi Harmonisa Pada Penyulang Abang Karangasem Setelah Terpasangnya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Jurnal SPEKTRUM Vol.2 No.3 P 130-135