

## ANALISIS DAN PERANCANGAN MITIGASI KETIDAKSEIMBANGAN TEGANGAN DAN ARUS DI POLTEKKES SEMARANG

Berlian Ade Wijaya<sup>\*)</sup>, Susatyo Handoko dan Ajub Ajulian Zahra

Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)</sup>E-mail: berlianadewijaya@gmail.com

### Abstrak

Gedung Pascasarjana Poltekkes Kemenkes Semarang terdiri dari 6 lantai yang berfungsi sebagai tempat administrasi dan perkuliahan. Setelah dilaksanakan analisis ketidakseimbangan tegangan dan arus didapatkan hasil hampir semua bus memiliki ketidakseimbangan arus yang tidak sesuai standar. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini dilakukan perancangan mitigasi ketidakseimbangan tegangan dan arus menggunakan software ETAP 12.6, mengacu pada standar EN-50160 dan ANSI-C84.1-1995. Pada tugas akhir ini, perancangan mitigasi yang dilakukan berupa pemindahan beban satu fasa. Menurut EN-50160 batas ketidakseimbangan tegangan maksimal adalah 2 %. Menurut ANSI-C84.1-1995 batas ketidakseimbangan arus maksimal adalah 5%. Hasil dari perancangan mitigasi diperoleh nilai ketidakseimbangan arus pada bus MDP turun dari 9,51% menjadi 0,24% dan telah memenuhi standar yang ditentukan.

*Kata kunci: Ketidakseimbangan tegangan dan arus, Mitigasi, EN-50160, ANSI-C84.1-1995, ETAP 12.6.*

### Abstract

*The Poltekkes Kemenkes Semarang Postgraduate building consists of 6 floors that function as a place for administration and lectures. After analyzing the voltage and current unbalance, it is found that almost all buses have the current unbalance that exceeds the standard. Therefore, in this final project, the voltage and current unbalance mitigation design are carried out using the ETAP 12.6 software, referring to the EN-50160 and ANSI-C84.1-1995 standards. In this final project, the mitigation design is carried out in the form of one-phase load shifting. According to EN-50160, the maximum voltage unbalance limit is 2%. According to ANSI-C84.1-1995, the maximum current unbalance limit is 5%. The results of the mitigation design show that the current unbalance value on the MDP bus has decreased from 9.51% to 0.24% and has met the specified standards.*

*Keywords: Voltage and current unbalance, Mitigation, EN-50160, ANSI-C84.1-1995, ETAP 12.6.*

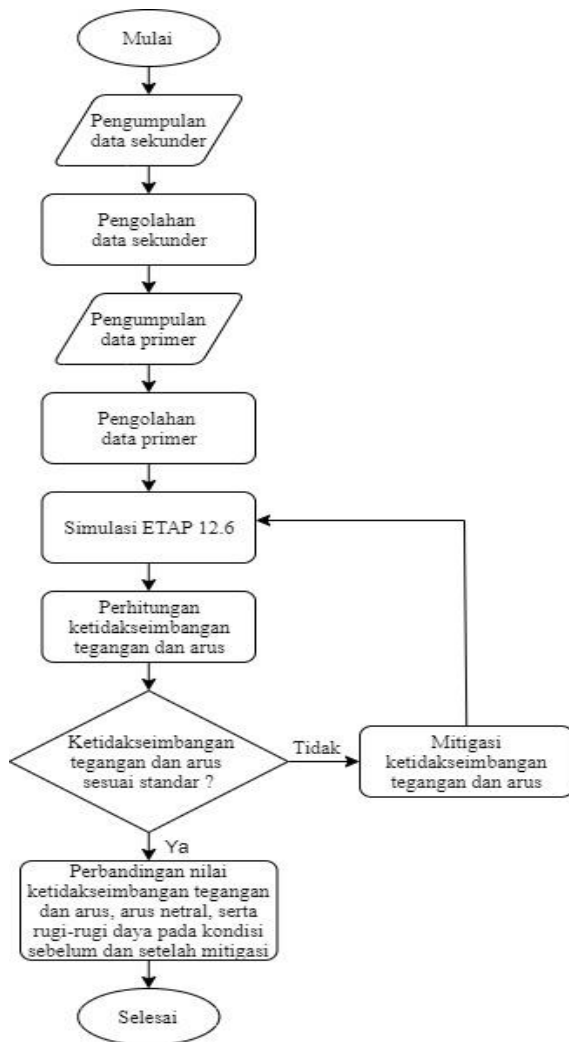
### 1. Pendahuluan

Poltekkes Semarang didirikan pada tanggal 16 April 2001 berdasarkan Surat Keputusan Nomor 298/MENKES-KESOS/SK/IV/2001 dengan nama awal Politeknik Kesehatan Departemen Kesehatan Semarang. Kemudian berubah nama menjadi Politeknik Kesehatan Kemenkes Semarang (Poltekkes Semarang) pada tanggal 18 Februari 2010 berdasarkan keputusan dari Sekjen Kementerian Kesehatan RI Nomor TU 05.02/II/II/1535/2010 tentang Perubahan Nomenklatur Departemen Kesehatan RI menjadi Kementerian Kesehatan RI [1]. Kualitas daya listrik adalah konsep yang menggambarkan layak tidaknya mutu daya listrik pada gedung karena adanya berbagai gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik [2]. Salah satu parameter kualitas daya listrik adalah ketidakseimbangan tegangan dan arus [3]. Kualitas daya listrik yang baik memiliki nilai ketidakseimbangan tegangan dan arus yang sama dengan nol [4]. Ketidakseimbangan tegangan adalah besar tegangan atau

sudut tegangan di tiap fasa pada sistem tenaga listrik yang bernilai tidak sama. Ketidakseimbangan arus adalah nilai arus yang tidak seimbang yang mengalir pada tiap fasa [5]. Besar ketidakseimbangan ini akan menyebabkan timbulnya arus pada kawat netral. Hal ini tentunya akan mengakibatkan terjadinya rugi-rugi daya (*losses*) dan panas [6]. Penyebab ketidakseimbangan tegangan dan arus adalah distribusi beban pada tiap fasa tidak merata [7]. Setelah dilakukan pengukuran diperoleh hasil bahwa gedung Pascasarjana Poltekkes Kemenkes Semarang memiliki nilai ketidakseimbangan tegangan dan arus yang tidak sesuai standar. Menurut EN-50160 nilai ketidakseimbangan tegangan maksimal adalah sebesar 2% [8]. Menurut ANSI-C84.1-1995 nilai ketidakseimbangan arus maksimal adalah sebesar 5% [9]. Perancangan mitigasi ketidakseimbangan tegangan dan arus sangat diperlukan agar gedung Poltekkes Kemenkes Semarang menjadi gedung yang memenuhi standar EN-50160 dan ANSI-C84.1-1995. Perancangan mitigasi yang dilakukan berupa pemindahan beban satu fasa.

2. Metode Penelitian

2.1. Langkah Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.2. Persamaan yang digunakan

2.2.1. Ketidakseimbangan tegangan dan arus

Ketidakseimbangan tegangan dan arus dinyatakan dalam persen pada persamaan berikut [10].

$$\%V_{unb} = \frac{\text{Maksimal Deviasi dari Rata-rata Tegangan}}{\text{Rata-rata Tegangan}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\%I_{unb} = \frac{\text{Maksimal Deviasi dari Rata-rata Arus}}{\text{Rata-rata Arus}} \times 100\% \quad (2)$$

2.2.2. Rugi-rugi daya akibat arus netral

Arus netral akan timbul bila terjadi ketidakseimbangan beban pada tiap fasa [11]. Arus netral ini akan menyebabkan adanya rugi-rugi daya (*losses*) [12]. Rugi-

rugi daya di kawat netral dirumuskan sebagai berikut [13].

$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \quad (3)$$

dimana

$P_N$  = Rugi-rugi daya akibat arus netral (watt)

$I_N$  = Arus netral (A)

$R_N$  = Tahanan kawat netral ( $\Omega$ )

2.3. Data Penelitian

2.3.1. Data beban terpasang di gedung pascasarjana Poltekkes Kemenkes Semarang

Tabel 1. Data beban lantai 1

Nama Beban	Jumlah Beban		
	Fasa R	Fasa S	Fasa T
AC 1,5 PK	3	2	4
AC 1 PK	1	2	0
Lampu TL @40 watt	20	20	8
Lampu TL @20 watt	12	14	4
Lampu LED @10 watt	10	0	0
Lampu SL @24 watt	10	15	12
Lampu SL @15 watt	0	0	19
Komputer @200 watt	2	2	2

Tabel 2. Data beban lantai 2

Nama Beban	Jumlah Beban		
	Fasa R	Fasa S	Fasa T
AC 1,5 PK	9	10	9
Lampu TL @40 watt	28	14	18
Lampu TL @20 watt	20	10	26
Lampu SL @24 watt	16	12	14
Komputer @200 watt	3	3	3

Tabel 3. Data beban lantai 3

Nama Beban	Jumlah Beban		
	Fasa R	Fasa S	Fasa T
AC 1 PK	8	7	4
Lampu TL @40 watt	16	22	14
Lampu TL @20 watt	16	20	14
Lampu LED @10 watt	4	2	2
Lampu SL @24 watt	15	24	14
Komputer @200 watt	7	7	7
TV @100 watt	1	1	1

Tabel 4. Data beban lantai 4

Nama Beban	Jumlah Beban		
	Fasa R	Fasa S	Fasa T
AC 1,5 PK	0	1	0
AC 1 PK	6	6	4
Lampu TL @40 watt	32	10	18
Lampu TL @20 watt	12	8	14
Lampu LED @10 watt	2	2	6
Lampu SL @24 watt	6	5	9
Komputer @200 watt	8	8	8

Tabel 5. Data beban lantai 5

Nama Beban	Jumlah Beban		
	Fasa R	Fasa S	Fasa T
AC 1,5 PK	2	0	1
AC 1 PK	5	9	5
Lampu TL @40 watt	10	20	2
Lampu TL @20 watt	8	12	0
Lampu LED @10 watt	5	3	0
Lampu SL @24 watt	7	17	2

Tabel 6. Data beban lantai 6

Nama Beban	Jumlah Beban		
	Fasa R	Fasa S	Fasa T
Lampu TL @40 watt	2	4	4
Lampu LED @10 watt	1	2	1
Lampu SL @24 watt	3	5	8

2.3.1 Data kabel dan transformator

Tabel 7. Data kabel

Identitas Kabel	Jenis Penghantar	Isolator	Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Tahanan (Ω/km)
Kabel MDP	Tembaga	PVC	35	0,52
Kabel SDP Lantai 1	Tembaga	PVC	25	0,73
Kabel SDP Lantai 2	Tembaga	PVC	25	0,73
Kabel SDP Lantai 3	Tembaga	PVC	25	0,73
Kabel SDP Lantai 4	Tembaga	PVC	25	0,73
Kabel SDP Lantai 5	Tembaga	PVC	25	0,73
Kabel SDP Lantai 6	Tembaga	PVC	25	0,73
Kabel AC Lantai 1	Tembaga	PVC	6	3,08
Kabel AC Lantai 2	Tembaga	PVC	6	3,08
Kabel AC Lantai 3	Tembaga	PVC	6	3,08
Kabel AC Lantai 4	Tembaga	PVC	6	3,08
Kabel AC Lantai 5	Tembaga	PVC	6	3,08
Kabel PP Lantai 1	Tembaga	PVC	6	3,08
Kabel PP Lantai 2	Tembaga	PVC	6	3,08
Kabel PP Lantai 3	Tembaga	PVC	6	3,08
Kabel PP Lantai 4	Tembaga	PVC	6	3,08
Kabel PP Lantai 5	Tembaga	PVC	6	3,08
Kabel PP Lantai 6	Tembaga	PVC	6	3,08
Kabel Komputer Lt 1	Tembaga	PVC	6	3,08
Kabel Komputer Lt 2	Tembaga	PVC	6	3,08
Kabel Komputer Lt 3	Tembaga	PVC	6	3,08
Kabel Komputer Lt 4	Tembaga	PVC	6	3,08
Kabel Lift	Tembaga	PVC	25	0,73

Tabel 8. Data transformator

Transformator	
Jenis Trafo	3 fasa
Frekuensi	50 Hz
Nominal Rating	800 kVA
Nominal Voltage	20kV / 400V
Nominal Current	23,09 A / 1154,70 A
Type of Oil	Mineral Oil
X/R	3,5

2.3.2. Data hasil pengukuran

Tabel 9. Data hasil pengukuran

Identitas Bus	Fasa	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya Semu (kVA)	Daya Nyata (kW)	Faktor Daya
Bus AC Lantai 1	R	231,8	17,6	4,4	4,0	0,907
	S	233,5	17,9	4,2	3,8	0,916
	T	233,3	19,6	4,9	4,6	0,966
Bus Penerangan Lantai 1	R	231,6	8,0	1,9	1,4	0,774
	S	233,0	8,1	1,9	1,4	0,715
	T	232,5	6,3	1,5	1,0	0,691
Bus AC Lantai 2	R	229,4	47,9	11,0	10,1	0,921
	S	230,8	50,8	11,7	10,9	0,931
	T	230,7	49,9	11,5	10,5	0,914
Bus Penerangan Lantai 2	R	228,8	11,4	2,6	1,9	0,744
	S	230,1	5,6	1,3	1,0	0,734
	T	230,1	8,8	2,0	1,6	0,772
Bus AC Lantai 3	R	230,1	27,5	6,3	6,3	0,993
	S	232,0	23,0	5,3	5,3	0,992
	T	232,9	13,1	3,1	3,0	0,988
Bus Penerangan Lantai 3	R	230,0	7,6	1,7	1,4	0,804
	S	232,3	9,3	2,2	1,9	0,891
	T	232,9	6,8	1,6	1,2	0,741
Bus AC Lantai 4	R	231,6	20,4	4,7	4,6	0,979
	S	233,2	23,8	5,6	5,5	0,985
	T	234,0	14,3	3,4	3,2	0,960
Bus Penerangan Lantai 4	R	232,0	8,7	2,0	1,7	0,854
	S	234,5	5,1	1,2	0,7	0,576
	T	235,0	7,5	1,8	1,3	0,738
Bus AC Lantai 5	R	233,5	24,9	5,8	5,8	0,990
	S	234,3	29,7	7,0	6,9	0,988
	T	235,7	21,5	5,1	4,9	0,965
Bus Penerangan Lantai 5	R	233,5	4,1	1,0	0,8	0,786
	S	234,1	8,0	1,9	1,5	0,799
	T	235,7	0,4	0,1	0,1	0,767
Bus Penerangan Lantai 6	R	235,1	1,4	0,3	0,2	0,756
	S	236,8	1,8	0,4	0,3	0,781
	T	236,5	2,4	0,6	0,4	0,754
Bus Lift	R	233,1	9,7	2,3	2,3	0,997
	S	234,4	9,6	2,3	2,3	0,983
	T	234,2	9,7	2,3	2,3	0,991

3. Hasil dan Analisis

3.1. Mitigasi Ketidakseimbangan Tegangan dan Arus

Tabel 10. Hasil perancangan pemerataan beban

No.	Identitas Bus	Konfigurasi Letak Beban			
		Sebelum Mitigasi		Setelah Mitigasi	
		Nama Beban	Jumlah	Nama Beban	Jumlah
1	Bus AC Lantai 1	AC 1,5 PK	3 (Fasa R)	AC 1,5 PK	3 (Fasa R)
			2 (Fasa S)		3 (Fasa S)
			4 (Fasa T)		3 (Fasa T)
		AC 1 PK	1 (Fasa R)	AC 1 PK	1 (Fasa R)
			2 (Fasa S)		1 (Fasa S)
			0 (Fasa T)		1 (Fasa T)
2	Bus Penerangan Lantai 1	Lampu TL @40 watt	20 (Fasa R)	Lampu TL @40 watt	16 (Fasa R)
			20 (Fasa S)		16 (Fasa S)
			8 (Fasa T)		16 (Fasa T)
		Lampu TL @20 watt	12 (Fasa R)	Lampu TL @20 watt	10 (Fasa R)
			14 (Fasa S)		10 (Fasa S)
			4 (Fasa T)		10 (Fasa T)
		Lampu LED @10 watt	10 (Fasa R)	Lampu LED @10 watt	4 (Fasa R)
			0 (Fasa S)		3 (Fasa S)
			0 (Fasa T)		3 (Fasa T)

Tabel 11. (lanjutan)

No.	Identitas Bus	Konfigurasi Letak Beban			
		Sebelum Mitigasi	Setelah Mitigasi	Sebelum Mitigasi	Setelah Mitigasi
		Nama Beban	Jumlah	Nama Beban	Jumlah
3	Bus Penerangan Lantai 1	Lampu SL @24 watt	10 (Fasa R) 15 (Fasa S) 12 (Fasa T)	Lampu SL @24 watt	12 (Fasa R) 13 (Fasa S) 12 (Fasa T)
		Lampu SL @15 watt	0 (Fasa R) 19 (Fasa T)	Lampu SL @15 watt	6 (Fasa R) 7 (Fasa T)
		Lampu TL @40 watt	28 (Fasa R) 14 (Fasa S) 18 (Fasa T)	Lampu TL @40 watt	20 (Fasa R) 20 (Fasa S) 20 (Fasa T)
4	Bus AC Lantai 3	Lampu TL @20 watt	20 (Fasa R) 10 (Fasa S) 26 (Fasa T)	Lampu TL @20 watt	18 (Fasa R) 19 (Fasa S) 19 (Fasa T)
		Lampu SL @24 watt	16 (Fasa R) 12 (Fasa S) 14 (Fasa T)	Lampu SL @24 watt	14 (Fasa R) 14 (Fasa S) 14 (Fasa T)
		AC 1 PK	8 (Fasa R) 7 (Fasa S) 4 (Fasa T)	AC 1 PK	7 (Fasa R) 7 (Fasa S) 7 (Fasa T)
5	Bus Penerangan Lantai 3	Lampu TL @40 watt	16 (Fasa R) 22 (Fasa S) 14 (Fasa T)	Lampu TL @40 watt	17 (Fasa R) 18 (Fasa S) 17 (Fasa T)
		Lampu TL @20 watt	16 (Fasa R) 20 (Fasa S) 14 (Fasa T)	Lampu TL @20 watt	17 (Fasa R) 16 (Fasa S) 17 (Fasa T)
		Lampu LED @10 watt Lampu SL @24 watt	4 (Fasa R) 2 (Fasa T) 15 (Fasa R) 24 (Fasa S) 14 (Fasa T)	Lampu LED @10 watt Lampu SL @24 watt	3 (Fasa R) 2 (Fasa S) 18 (Fasa R) 17 (Fasa S) 18 (Fasa T)
6	Bus AC Lantai 4	AC 1,5 PK	0 (Fasa R) 1 (Fasa S) 0 (Fasa T)	AC 1,5 PK	0 (Fasa R) 0 (Fasa S) 1 (Fasa T)
		AC 1 PK	6 (Fasa R) 6 (Fasa S) 4 (Fasa T)	AC 1 PK	6 (Fasa R) 6 (Fasa S) 5 (Fasa T)
		Lampu TL @40 watt	32 (Fasa R) 10 (Fasa S) 18 (Fasa T)	Lampu TL @40 watt	20 (Fasa R) 20 (Fasa S) 20 (Fasa T)
7	Bus Penerangan Lantai 4	Lampu TL @20 watt	12 (Fasa R) 8 (Fasa S) 14 (Fasa T)	Lampu TL @20 watt	11 (Fasa R) 11 (Fasa S) 12 (Fasa T)
		Lampu LED @10 watt Lampu SL @24 watt	2 (Fasa R) 2 (Fasa S) 6 (Fasa R) 5 (Fasa S) 9 (Fasa T)	Lampu LED @10 watt Lampu SL @24 watt	3 (Fasa R) 4 (Fasa S) 7 (Fasa R) 7 (Fasa S) 6 (Fasa T)
		AC 1,5 PK	2 (Fasa R) 0 (Fasa S) 1 (Fasa T)	AC 1,5 PK	2 (Fasa R) 1 (Fasa S) 2 (Fasa T)
8	Bus AC Lantai 5	AC 1 PK	5 (Fasa R) 9 (Fasa S) 5 (Fasa T)	AC 1 PK	6 (Fasa R) 7 (Fasa S) 6 (Fasa T)
		Lampu TL @40 watt	10 (Fasa R) 20 (Fasa S) 2 (Fasa T)	Lampu TL @40 watt	11 (Fasa R) 11 (Fasa S) 10 (Fasa T)
		Lampu TL @20 watt	8 (Fasa R) 12 (Fasa S) 0 (Fasa T)	Lampu TL @20 watt	6 (Fasa R) 7 (Fasa S) 7 (Fasa T)
9	Bus Penerangan Lantai 5	Lampu LED @10 watt	5 (Fasa R) 3 (Fasa S) 0 (Fasa T)	Lampu LED @10 watt	2 (Fasa R) 2 (Fasa S) 4 (Fasa T)
		Lampu SL @24 watt	7 (Fasa R) 17 (Fasa S) 2 (Fasa T)	Lampu SL @24 watt	9 (Fasa R) 8 (Fasa S) 9 (Fasa T)

Tabel 12. (lanjutan)

No.	Identitas Bus	Konfigurasi Letak Beban			
		Sebelum Mitigasi	Setelah Mitigasi	Sebelum Mitigasi	Setelah Mitigasi
		Nama Beban	Jumlah	Nama Beban	Jumlah
10	Bus Penerangan Lantai 6	Lampu TL @40 watt	2 (Fasa R) 4 (Fasa S) 4 (Fasa T)	Lampu TL @40 watt	3 (Fasa R) 3 (Fasa S) 4 (Fasa T)
		Lampu LED @10 watt	1 (Fasa R) 2 (Fasa S) 1 (Fasa T)	Lampu LED @10 watt	1 (Fasa R) 3 (Fasa S) 0 (Fasa T)
		Lampu SL @24 watt	3 (Fasa R) 5 (Fasa S) 8 (Fasa T)	Lampu SL @24 watt	6 (Fasa R) 5 (Fasa S) 5 (Fasa T)

Pada tabel 10. dapat dilihat perancangan pemerataan beban di tiap fasa untuk beberapa beban. Beban yang awalnya terletak tidak seimbang di tiap fasanya dirancang menjadi seimbang dengan cara memindahkan beban dari fasa yang kelebihan beban ke fasa yang bebannya sedikit [14]. Sehingga akan didapatkan keseimbangan beban yang memenuhi standar.

Pada beberapa bus AC disarankan jika melakukan penambahan AC di lantai 3, 4, dan 5 agar menambah sesuai dengan ketentuan berikut. Untuk lantai 3 menambah dua AC 1 PK pada fasa T. Lantai 4 menambah satu AC 1 PK pada fasa T. Sedangkan lantai 5 menambah masing-masing satu AC 1,5 PK pada fasa S dan T. Hal ini bertujuan agar tercipta keseimbangan beban di tiap fasa [15].

### 3.2. Perbandingan Ketidakseimbangan Tegangan dan Arus Sebelum dan Setelah Mitigasi

Tabel 13. Perbandingan ketidakseimbangan tegangan sebelum dan setelah mitigasi

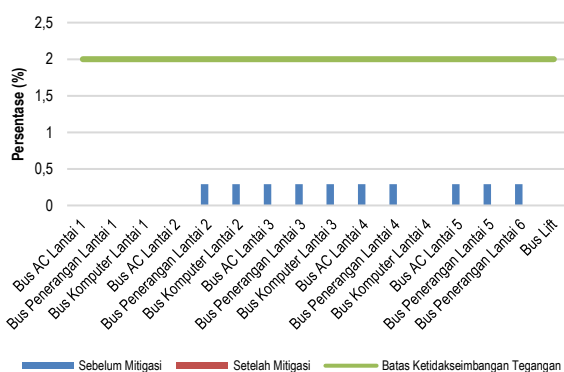
Identitas Bus	Ketidakseimbangan Tegangan			
	Sebelum Mitigasi		Setelah Mitigasi	
	Tegangan (V)	Persentase (%)	Tegangan (V)	Persentase (%)
Bus AC Lantai 1	0,00000	0,00	0,00000	0,00
Bus Penerangan Lantai 1	0,00000	0,00	0,00000	0,00
Bus Komputer Lantai 1	0,00000	0,00	0,00000	0,00
Bus AC Lantai 2	0,00000	0,00	0,00000	0,00
Bus Penerangan Lantai 2	0,00292	0,29	0,00000	0,00
Bus Komputer Lantai 2	0,00290	0,29	0,00000	0,00
Bus AC Lantai 3	0,00293	0,29	0,00000	0,00
Bus Penerangan Lantai 3	0,00292	0,29	0,00000	0,00
Bus Komputer Lantai 3	0,00290	0,29	0,00000	0,00

Tabel 14. (lanjutan)

Identitas Bus	Ketidakseimbangan Tegangan			
	Sebelum Mitigasi		Setelah Mitigasi	
	Tegangan (V)	Persentase (%)	Tegangan (V)	Persentase (%)
Bus AC Lantai 4	0,00293	0,29	0,00000	0,00
Bus Penerangan Lantai 4	0,00292	0,29	0,00000	0,00
Bus Komputer Lantai 4	0,00000	0,00	0,00000	0,00
Bus AC Lantai 5	0,00293	0,29	0,00000	0,00
Bus Penerangan Lantai 5	0,00292	0,29	0,00000	0,00
Bus Penerangan Lantai 6	0,00291	0,29	0,00000	0,00
Bus Lift	0,00000	0,00	0,00000	0,00
Bus MDP	0,00000	0,00	0,00000	0,00

Dari tabel 11. dapat dilihat bahwa setelah dilakukan mitigasi terjadi penurunan nilai ketidakseimbangan tegangan. Contohnya pada bus penerangan lantai 2. Sebelum mitigasi nilai ketidakseimbangan tegangannya adalah 0,29%. Setelah dilakukan mitigasi nilai ketidakseimbangan tegangannya menjadi 0%. Dapat dilihat juga bahwa semua nilai ketidakseimbangan tegangan untuk semua bus telah memenuhi standar EN-50160 dimana nilai ketidakseimbangan tegangan untuk semua bus berada dibawah 2%.

Gambar 2. berikut memperlihatkan grafik perbandingan ketidakseimbangan tegangan untuk kondisi sebelum dan setelah mitigasi.



Gambar 2. Perbandingan ketidakseimbangan tegangan sebelum dan setelah mitigasi

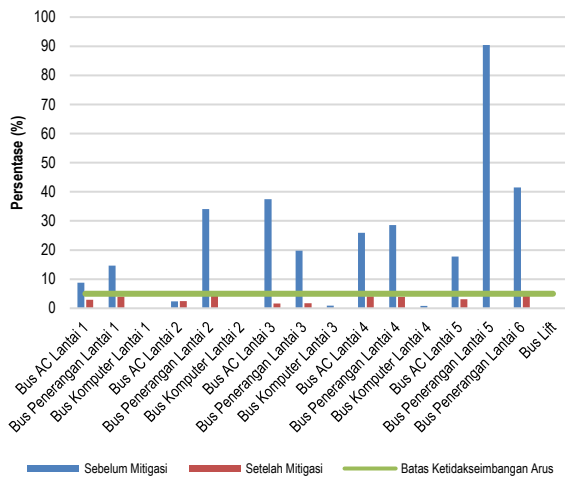
Dari gambar 2. dapat dilihat bahwa setelah dilakukan mitigasi terjadi penurunan nilai ketidakseimbangan tegangan untuk tiap bus. Dapat dilihat juga bahwa semua nilai ketidakseimbangan tegangan untuk semua bus telah memenuhi standar EN-50160 dimana nilai

ketidakseimbangan tegangan untuk semua bus berada dibawah 2%.

Tabel 15. Perbandingan ketidakseimbangan arus sebelum dan setelah mitigasi

Identitas Bus	Ketidakseimbangan Arus			
	Sebelum Mitigasi		Setelah Mitigasi	
	Arus (A)	Persentase (%)	Arus (A)	Persentase (%)
Bus AC Lantai 1	0,08803	8,80	0,02909	2,91
Bus Penerangan Lantai 1	0,14667	14,67	0,04054	4,05
Bus Komputer Lantai 1	0,00000	0,00	0,00000	0,00
Bus AC Lantai 2	0,02340	2,34	0,02479	2,48
Bus Penerangan Lantai 2	0,34118	34,12	0,04622	4,62
Bus Komputer Lantai 2	0,00000	0,00	0,00000	0,00
Bus AC Lantai 3	0,37500	37,50	0,01672	1,67
Bus Penerangan Lantai 3	0,19742	19,74	0,01747	1,75
Bus Komputer Lantai 3	0,00880	0,88	0,00000	0,00
Bus AC Lantai 4	0,25913	25,91	0,04124	4,12
Bus Penerangan Lantai 4	0,28571	28,57	0,03902	3,90
Bus Komputer Lantai 4	0,00830	0,83	0,00000	0,00
Bus AC Lantai 5	0,17727	17,73	0,03071	3,07
Bus Penerangan Lantai 5	0,90400	90,40	0,00000	0,00
Bus Komputer Lantai 5	0,41509	41,51	0,05000	5,00
Bus AC Lantai 6	0,00000	0,00	0,00000	0,00
Bus Lift	0,00000	0,00	0,00000	0,00
Bus MDP	0,09512	9,51	0,00237	0,24

Dari tabel 12. dapat dilihat bahwa setelah dilakukan mitigasi terjadi penurunan nilai ketidakseimbangan arus. Contohnya pada bus AC lantai 1. Sebelum mitigasi nilai ketidakseimbangan arusnya adalah 8,8 %. Setelah dilakukan mitigasi nilai ketidakseimbangan arusnya menjadi 2,91 %. Dapat dilihat juga setelah dilakukan mitigasi, nilai ketidakseimbangan arus untuk semua bus menjadi memenuhi standar ANSI-C84.1-1995 dimana nilai ketidakseimbangan arus untuk semua bus berada dibawah 5%.



Gambar 3. Perbandingan ketidakseimbangan arus sebelum dan setelah mitigasi

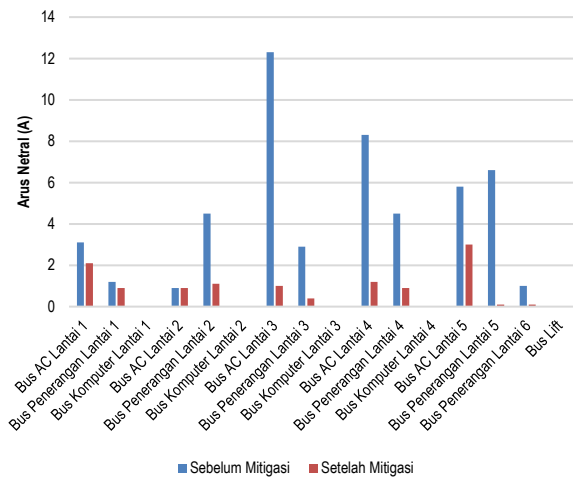
Dari gambar 3. dapat dilihat bahwa setelah dilakukan mitigasi terjadi penurunan nilai ketidakseimbangan arus untuk tiap bus. Dapat dilihat juga bahwa nilai ketidakseimbangan arus untuk semua bus telah memenuhi standar ANSI-C84.1-1995 dimana nilai ketidakseimbangan arus untuk semua bus berada dibawah 5%.

3.3. Perbandingan Arus Netral Sebelum dan Setelah Mitigasi

Tabel 16. Perbandingan arus netral sebelum dan setelah mitigasi

Identitas Bus	Arus Netral (A)	
	Sebelum Mitigasi	Setelah Mitigasi
Bus AC Lantai 1	3,1	2,1
Bus Penerangan Lantai 1	1,2	0,9
Bus Komputer Lantai 1	0,0	0,0
Bus AC Lantai 2	0,9	0,9
Bus Penerangan Lantai 2	4,5	1,1
Bus Komputer Lantai 2	0,0	0,0
Bus AC Lantai 3	12,3	1,0
Bus Penerangan Lantai 3	2,9	0,4
Bus Komputer Lantai 3	0,0	0,0
Bus AC Lantai 4	8,3	1,2
Bus Penerangan Lantai 4	4,5	0,9
Bus Komputer Lantai 4	0,0	0,0
Bus AC Lantai 5	5,8	3,0
Bus Penerangan Lantai 5	6,6	0,1
Bus Penerangan Lantai 6	1,0	0,1
Bus Lift	0,0	0,0
Bus MDP	30,6	0,9

Dari tabel 13. dapat dilihat bahwa setelah dilakukan mitigasi terjadi penurunan nilai arus netral. Contohnya pada bus AC lantai 1. Sebelum mitigasi nilai arus netralnya adalah 3,1 A. Setelah dilakukan mitigasi nilai arus netralnya menjadi 2,1 A.



Gambar 4. Perbandingan arus netral sebelum dan setelah mitigasi

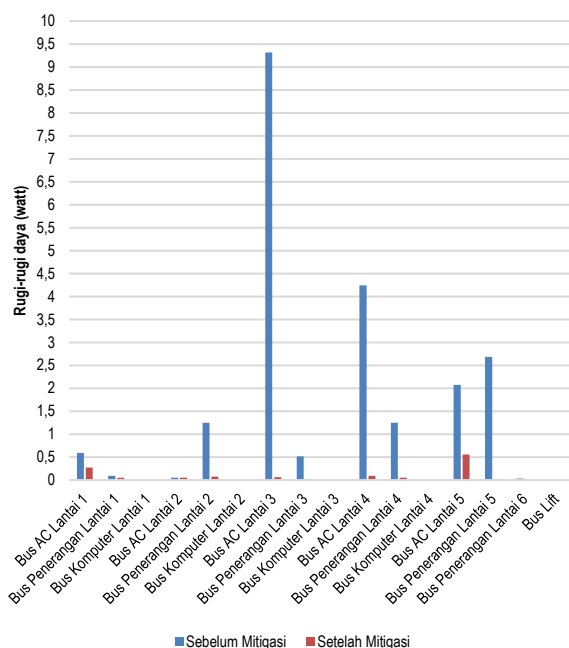
Dari gambar 4. dapat dilihat bahwa setelah dilakukan mitigasi terjadi penurunan nilai arus netral untuk tiap bus. Terlihat juga beberapa bus sudah tidak memiliki nilai arus netral.

3.4. Perbandingan Rugi-Rugi Daya Sebelum dan Setelah Mitigasi

Tabel 17. Perbandingan rugi-rugi daya sebelum dan setelah mitigasi

Identitas Bus	Rugi-rugi Daya (watt)	
	Sebelum Mitigasi	Setelah Mitigasi
Bus AC Lantai 1	0,592	0,272
Bus Penerangan Lantai 1	0,089	0,050
Bus Komputer Lantai 1	0,000	0,000
Bus AC Lantai 2	0,050	0,050
Bus Penerangan Lantai 2	1,247	0,075
Bus Komputer Lantai 2	0,000	0,000
Bus AC Lantai 3	9,319	0,062
Bus Penerangan Lantai 3	0,518	0,010
Bus Komputer Lantai 3	0,000	0,000
Bus AC Lantai 4	4,244	0,089
Bus Penerangan Lantai 4	1,247	0,050
Bus Komputer Lantai 4	0,000	0,000
Bus AC Lantai 5	2,072	0,554
Bus Penerangan Lantai 5	2,683	0,001
Bus Penerangan Lantai 6	0,031	0,000
Bus Lift	0,000	0,000
Bus MDP	29,129	1,477

Dari tabel 14. dapat dilihat bahwa setelah dilakukan mitigasi terjadi penurunan rugi-rugi daya. Contohnya pada bus AC lantai 1. Sebelum mitigasi rugi-rugi dayanya adalah 0,592 watt. Setelah dilakukan mitigasi rugi-rugi dayanya menjadi 0,272 watt.



Gambar 5. Perbandingan rugi-rugi daya sebelum dan setelah mitigasi

Dari gambar 5. dapat dilihat bahwa setelah dilakukan mitigasi terjadi penurunan rugi-rugi daya untuk tiap bus. Terlihat juga beberapa bus sudah tidak memiliki rugi-rugi daya yang berasal dari arus netral.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, setelah dilakukan mitigasi diperoleh nilai ketidakseimbangan tegangan dan arus yang sudah memenuhi standar EN-50160 dan ANSI-C84.1-1995. Hasil perbandingan kondisi sebelum dan setelah mitigasi diperoleh nilai ketidakseimbangan tegangan dan arus, arus netral, serta rugi-rugi daya menurun secara signifikan setelah dilakukan mitigasi. Nilai ketidakseimbangan arus pada bus MDP menurun dari 9,51% menjadi 0,24%.

#### Referensi

[1]. Polkesmar. Sejarah Politeknik Kesehatan Kemenkes Semarang. (2012) [Online]. Tersedia: <https://www.poltekkes-smg.ac.id/profile/sejarah>. Diakses: Mar. 15, 2021.

[2]. F. M. Hartono, "Pengukuran dan Analisis Kualitas Daya Listrik," Laporan Tugas Akhir, Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Semarang, Semarang, 2018.

[3]. Handbook of Power Quality, John Wiley & Sons Ltd, West Sussex, England, 2008.

[4]. D. S. W. Jayabadi, "Analisis Ketidakseimbangan Beban Trafo 1 GI Srdol Terhadap Rugi-Rugi Akibat Arus Netral dan Suhu Trafo Menggunakan ETAP 12.6.0," Jurnal Transient, vol. 5, no. 4, Des. 2016.

[5]. A. Anwar, "Studi Analisis dan Perancangan Mitigasi Ketidakseimbangan Tegangan dan Arus sebagai Upaya Peningkatan Kualitas Sistem Kelistrikan serta Standarisasi *Circuit Breaker* Unit Spinning I/II di PT. Sri Rejeki Isman, Tbk," Laporan Tugas Akhir, Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, Semarang, 2019.

[6]. J. S. Setiadi *dkk.*, "Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi," Jurnal Teknik Elektro, vol. 6, no. 1, hal. 68–73, Mar. 2006.

[7]. M. D. T. Sogen, "Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Transformator Distribusi di PT PLN (Persero) Area Sorong," Jurnal Elektro Luceat, vol. 4, no. 1, Jul. 2018.

[8]. *Voltage Characteristics of Public Distribution Systems*, EN 50160 Standard, 2004.

[9]. *Electric Power Systems and Equipment-Voltage Ratings*, ANSI Standard C84.1-1995.

[10]. R.C Dugan, M. F. McGranaghan, S. Santoso, and H. W. Beaty, 2012. *Electrical Power System Quality, Second Edition*. McGraw Hill Professional.

[11]. M. Anwari and A. Hiendro, "New Unbalance Factor for Estimating Performance of a Three-Phase Induction Motor and Overvoltage Unbalance," IEEE Transaction on Energy Conversion, vol. 25, no. 3, pp. 619-625, 2010.

[12]. Sudirham, Sudaryatno. 2012. "Analisa sistem tenaga". Darpublic. Bandung

[13]. Edan, Mohammed K. Effect of Unbalance Voltage on The Operation and Performance of a Three Phase Distribution Transformer. Jurnal Universitas Babylon. Vol. 21, no. 5, 2013.

[14]. S. Pandapotan, Penggunaan ETAP 12.6 Sebagai *Software Analisis Power Quality*, Jakarta, Indonesia: Politeknik Negeri Jakarta, 2016.

[15]. ABB, Unbalanced Voltage Supply The Damaging Effects on Three Phase Induction Motors and Rectifiers, New Zealand, 2018.

### Lampiran A Single Line Diagram Gedung Pascasarjana Poltekkes Kemenkes Semarang

