

REDESAIN SISTEM INSTALASI LISTRIK GEDUNG TEKNIK KIMIA UNIVERSITAS DIPONEGORO

Bryan Adhitya Effendi^{*)}, Bambang Winardi, Ajub Ajulian Zahra Macrina

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

^{*)}E-mail : bryan020298@students.undip.ac.id

Abstrak

Gedung Teknik Kimia Universitas Diponegoro dibangun pada tahun 1965, perlu dilakukan evaluasi instalasi listrik berdasarkan undang-undang nomor 30 tahun 2009. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kondisi kelistrikan sebuah gedung sesuai persyaratan teknik dan keselamatan berdasar standar PUIL (Persyaratan Umum Instalasi Listrik) 2011. Kondisi Eksisting pada gedung ini didapatkan jatuh tegangan terbesar pada penghantar Stop Kontak B2 sebesar 5%. Berdasarkan kondisi tersebut, maka pada tugas akhir ini dilakukan perancangan ulang instalasi listrik gedung dengan perangkat bantu ETAP 12.6.0 yang disesuaikan dengan standar. Hasil dari simulasi dan perhitungan, menunjukkan bahwa ukuran penghantar yang direkomendasikan minimal 1,5 mm² dan maksimal 185 mm². Jatuh tegangan terkecil berada pada penghantar SPD A1 sebesar 0,02% dan jatuh tegangan terbesar berada pada penghantar Stop Kontak B2 sebesar 3%. Kapasitor bank yang diperlukan sebesar 50 kVAR pada SMDP A, 12,5 kVAR pada SMDP B dan 6 kVAR pada SMDP C.

Kata Kunci: ETAP 12.6.0, Perancangan Ulang, PUIL 2011.

Abstract

Diponegoro University Chemical Engineering Building was built in 1965, it is necessary to evaluate the electrical installation based on law number 30 of 2009. This aims to determine the electrical condition of a building according to the technical and safety requirements based on the PUIL standard (General Requirements for Electrical Installation) 2011. Existing Conditions in the building this is the biggest voltage drop in the delivery of Stop Kontak B2 of 5%. Based on these conditions, in this final project a redesign of building electricity with ETAP 12.6.0 that were adjusted to the standard. The results of the simulations and calculations show that the recommended conductor size is at least 1,5 mm² and a maximum of 185 mm². The smallest voltage drop is in the conductor of SDP A1 of 0,02% and the largest voltage drop is in the conductor of Stop Kontak B2 of 3%. The required capacitor bank is 50 kVAR on SMDP A, 12,5 kVAR on SMDP B and 6 kVAR on SMDP C.

Keywords: ETAP 12.6.0, Redesign, PUIL 2011.

1. Pendahuluan

Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro (DTKU) berdiri pada tahun 1965 dan secara resmi disahkan oleh Pemerintah Republik Indonesia dengan SK Direktorat Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan No. 106/DIKTI/Kep/1984. Departemen Teknik Kimia dan saat ini telah berumur lebih dari 50 tahun dengan visi "Pada tahun 2020 Departemen Teknik Kimia bereputasi di tingkat nasional dan internasional" serta memiliki moto "*Chemical Engineering UNDIP for better life*". Dalam perkembangannya DTKU saat ini memiliki 3 Program Studi yang terdiri dari Program Studi S1 Teknik Kimia (PSTK) yang berdiri sejak tahun 1965, Program Studi Magister Teknik Kimia yang berdiri sejak tahun 2005, dan Program Studi Doktor Teknik Kimia yang berdiri sejak tahun 2014[1].

Gedung Teknik Kimia Universitas Diponegoro memiliki 3 gedung utama, yaitu gedung A, gedung B dan gedung C yang digunakan untuk ruang kuliah, laboratorium dan kantor. Untuk menunjang aktivitas dosen dan mahasiswa dalam riset dan pembelajaran, maka harus diimbangi dengan sistem kelistrikan yang memadai dan handal. Dibangun pada tahun 1965, gedung Teknik Kimia Universitas Diponegoro ini telah berumur lebih dari 54 tahun sehingga perlu diadakannya evaluasi instalasi listrik. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kondisi kelistrikan gedung saat ini masih memenuhi persyaratan teknik dan keselamatan atau tidak. Baik berupa perubahan kualitas maupun kuantitas. Perubahan tersebut berpengaruh terhadap kelayakan instalasi dan keselamatan pemakainya[2].

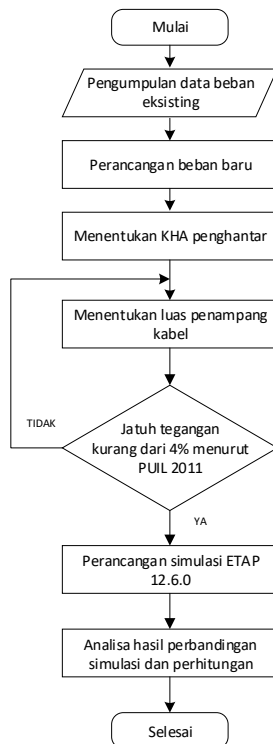
Kawat penghantar pada sebuah instalasi listrik yang kerap dipakai akan mengalami penurunan kualitas tahanan kabel. Pemilihan ukuran penampang kabel yang tidak sesuai dengan kebutuhan beban juga dapat merusak tahanan kabel. Penambahan beban stop kontak yang tidak sesuai standar juga menyebabkan panas dan menurunkan kualitas isolasi.

Berdasarkan hal tersebut, penulis merancang sebuah desain perbaikan instalasi Gedung Teknik Kimia Universitas Diponegoro dengan menyesuaikan pergantian beban penerangan baru dan mengacu kepada standar Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2011 dan *International Electrotechnical Commission* (IEC). Standar ini bertujuan agar pengusahaan instalasi listrik terselenggara dengan baik, untuk menjamin keselamatan manusia dari bahaya kejutan listrik, keamanan instalasi listrik beserta perlengkapannya, keamanan gedung serta isinya dari kebakaran akibat listrik, dan perlindungan lingkungan[3]. Metode simulasi dan perhitungan digunakan sebagai pendekatan untuk menentukan spesifikasi luas penampang penghantar, besar jatuh tegangan, kebutuhan kapasitor bank dan kebutuhan generator set[4].

Perancangan ulang (redesain) sistem instalasi listrik Gedung Teknik Kimia Universitas Diponegoro ini akan dirancang menggunakan *software* ETAP 12.6.0 untuk menggambarkan dan mensimulasikan *single line diagram* serta mengetahui besar jatuh tegangan dalam system[5].

2. Metodologi Penelitian

2.1. Langkah Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Tugas akhir ini dilaksanakan dalam beberapa tahap penelitian. Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.

2.2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada tugas akhir ini meliputi *single line diagram* kondisi eksisting, serta pengumpulan data beban lama dan beban baru. Pembuatan denah perencanaan instalasi digunakan untuk merancang kebutuhan beban saat ini. Kelistrikan Gedung Teknik Kimia Universitas Diponegoro disuplai oleh trafo dengan kapasitas sebesar 630 kVA. Trafo ini menyuplai 3 *Sub Main Distribution Panel* (SMDP) yakni SMDP A, SMDP B dan SMDP C dengan rincian sebagai berikut.

- A. SMDP A terdiri dari
 1. Panel SDP A1
 2. Panel SDP Lab A1
 3. Panel SDP A2
 4. Panel SDP Lab A2
 5. Panel SDP A3
 6. Panel SDP Lab A3
- B. SMDP B terdiri dari
 1. Panel SDP B1
 2. Panel SDP B2
 3. Panel SDP B3
- C. SMDP C terdiri dari
 1. Panel SDP C1
 2. Panel SDP C2
 3. Panel SDP C3

Tabel 1. Pembagian Beban Kondisi Redesain

Sumber	Beban (Watt)
Trafo ke LVMDP	168,7108
LVMDP	
Panel SMDP A	81,4923
Panel SMDP B	68,465
Panel SMDP C	18,3865
Panel SMDP A	
Panel SDP A1	12,7546
Panel SDP Lab A1	20,2728
Panel SDP A2	8,082
Panel SDP Lab A2	17,4964
Panel SDP A3	9,4145
Panel SDP Lab A3	13,472
Panel SDP A1	
Penerangan A1	1,2846
Stop Kontak A1.1	4,055
Stop Kontak A1.2	3,74
AC A1.1	1,47
AC A1.2	0,735
AC A1.3	1,47
Panel SDP Lab A1	
Penerangan Lab A1	1,4268
Stop Kontak Lab A1	0,92
AC Lab A1	0,735
Mesin Pendingin 3 fasa	3
Motor 1 Fasa 1	0,37
Motor 1 Fasa 2	1
Kompresor 1	0,746
Motor 1 fasa 3	0,125
Kompresor 2	0,19
Motor 1 fasa 4	0,56
Oven 1	1,05
Oven 2	1,3
Oven 3	1,3
Oven 4	1,3
Oven 5	1,25
Oven 6	1,05
Blower	1,1
Try dryer	1,1
Continuous Band Sealer	0,65
Motor induksi 3 fasa	0,55
Motor induksi 3 fasa	0,55
Panel SDP A2	
Penerangan A2	1,122
Stop Kontak A2	1,08
AC A2.1	2,94
AC A2.2	1,47
AC A2.3	1,47
Panel SDP Lab A2	
Penerangan Lab A2	1,624
Stop Kontak Lab A2	0,725
Motor 1 fasa 5	0,7457
Kompresor 3	1,44385
Pompa	0,74785
Tungku 1	2,4
Oven 7	2
Power Supply	1,76
Tungku 2	2,4
Oven 8	1,05
Oven 9	1,3
Oven 10	1,3
Panel SDP A3	
Penerangan A3	1,2945
Stop Kontak A3	2,24
AC A3.1	2,205
AC A3.2	0,735
AC A3.3	2,94
Panel SDP Lab A3	
Penerangan Lab A3	1,392
Stop Kontak Lab A3	3,155
AC Lab A3	3,675
Oven 11.1	3,15
Oven 11.2	1,05
Oven 11.3	1,05
Panel SMDP B	
Panel SDP B1	12,875
Panel SDP B2	14,5735
Panel SDP B3	41,0165

Tabel 1. (lanjutan)

Sumber	Beban (Watt)
Panel SDP B1	
Penerangan B1	1,351
Stop Kontak B1.1	2,665
Stop Kontak B1.2	2,978
AC B1.1	4,043
AC B1.2	1,838
Panel SDP B2	
Penerangan B3	1,5105
Stop Kontak B3	4,242
AC B3.1	3,675
AC B3.2	5,146
Panel SDP B3	
Penerangan B3	1,3165
Stop Kontak B3	0,96
AC B3.1	4,41
AC B3.2	4,41
Komputer	29,92
Panel SMDP C	
Panel SDP C1	4,8575
Panel SDP C2	6,5805
Panel SDP C3	7,3155
Panel SDP C1	
Penerangan C1	0,9945
Stop Kontak C1	0,555
AC C1.1	1,47
AC C1.2	0,735
AC C1.3	1,103
Panel SDP C2	
Penerangan C2	0,7955
Stop Kontak C2	0,64
AC C2.1	1,47
AC C2.2	2,205
AC C2.3	1,47
Panel SDP C3	
Penerangan C3	0,7955
Stop Kontak C3	0,64
AC C3.1	2,573
AC C3.2	1,47
AC C3.3	1,47

3. Hasil dan Analisis

3.1. Hasil Simulasi ETAP 12.6.0

Berdasarkan hasil perancangan beban, kemudian dibuat diagram garis tunggal pada ETAP 12.6. Diagram garis tunggal ditunjukkan pada Gambar 2 dengan hasil simulasi pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil simulasi

Sumber	Luas Penampang Penghantar (mm ²)			Voltage Drop (%)
	Fasa	Netral	PE	Simulasi
Trafo ke LVMDP	185	185	95	0,2
LVMDP				
Panel SMDP A	50	50	25	0,5
Panel SMDP B	50	50	25	0,4
Panel SMDP C	35	35	35	0,4
Panel SMDP A				
Panel SDP A1	6	6	6	0,02
Panel SDP Lab A1	16	16	16	0,2
Panel SDP A2	6	6	6	0,2
Panel SDP Lab A2	25	25	25	0,1
Panel SDP A3	6	6	6	0,4
Panel SDP Lab A3	10	10	10	0,4
Panel SDP A1				
Penerangan A1	1,5	1,5	1,5	1,3
Stop Kontak A1.1	2,5	2,5	2,5	2,9
Stop Kontak A1.2	2,5	2,5	2,5	2,7
AC A1.1	4	4	4	0,5
AC A1.2	4	4	4	0,3
AC A1.3	4	4	4	0,5

Tabel 2. (lanjutan)

Sumber	Luas Penampang Penghantar (mm ²)			Voltage Drop (%)
	Fasa	Netral	PE	Simulasi
Panel SDP Lab A1				
Penerangan Lab A1	1,5	1,5	1,5	0,97
Stop Kontak Lab A1	2,5	2,5	2,5	0,45
AC Lab A1	4	4	4	0,17
Mesin Pendingin 3 fasa	4	4	4	0,14
Motor 1 Fasa 1	4	4	4	0,09
Motor 1 Fasa 2	4	4	4	0,24
Kompresor 1	4	4	4	0,18
Motor 1 fasa 3	4	4	4	0,03
Kompresor 2	4	4	4	0,04
Motor 1 fasa 4	4	4	4	0,13
Oven 1	4	4	4	0,25
Oven 2	4	4	4	0,31
Oven 3	4	4	4	0,33
Oven 4	4	4	4	0,31
Oven 5	4	4	4	0,3
Oven 6	4	4	4	0,25
Blower	4	4	4	0,26
Try dryer	4	4	4	0,26
Continuous Band Sealer	4	4	4	0,15
Motor induksi 3 fasa	4	4	4	0,03
Motor induksi 3 fasa	4	4	4	0,03
Panel SDP A2				
Penerangan A2	1,5	1,5	1,5	1,1
Stop Kontak A2	2,5	2,5	2,5	0,8
AC A2.1	4	4	4	1,1
AC A2.2	4	4	4	0,5
AC A2.3	4	4	4	0,5
Panel SDP Lab A2				
Penerangan Lab A2	1,5	1,5	1,5	1,1
Stop Kontak Lab A2	2,5	2,5	2,5	0,4
Motor 1 fasa 5	4	4	4	0,2
Kompresor 3	4	4	4	0,3
Pompa	4	4	4	0,2
Tungku 1	4	4	4	0,6
Oven 7	4	4	4	0,5
Power Supply	4	4	4	0,4
Tungku 2	4	4	4	0,6
Oven 8	4	4	4	0,2
Oven 9	4	4	4	0,3
Oven 10	4	4	4	0,3
Panel SDP A3				
Penerangan A3	1,5	1,5	1,5	1,3
Stop Kontak A3	2,5	2,5	2,5	1,4
AC A3.1	4	4	4	0,8
AC A3.2	4	4	4	0,3
AC A3.3	4	4	4	1,1
Panel SDP Lab A3				
Penerangan Lab A3	1,5	1,5	1,5	0,9
Stop Kontak Lab A3	2,5	2,5	2,5	1,5
AC Lab A3	4	4	4	0,9
Oven 11.1	4	4	4	0,8
Oven 11.2	4	4	4	0,2
Oven 11.3	4	4	4	0,2
Panel SMDP B				
Panel SDP B1	6	6	6	0,02
Panel SDP B2	6	6	6	0,5
Panel SDP B3	35	35	35	0,4
Panel SDP B1				
Penerangan B1	2,5	2,5	2,5	1
Stop Kontak B1.1	2,5	2,5	2,5	1,9
Stop Kontak B1.2	2,5	2,5	2,5	2,2
AC B1.1	4	4	4	1,5
AC B1.2	4	4	4	0,7
Panel SDP B2				
Penerangan B3	1,5	1,5	1,5	1,5
Stop Kontak B3	2,5	2,5	2,5	3
AC B3.1	4	4	4	1,9
AC B3.2	4	4	4	1,9
Panel SDP B3				
Penerangan B3	1,5	1,5	1,5	1,3
Stop Kontak B3	2,5	2,5	2,5	1
AC B3.1	4	4	4	1,6
AC B3.2	4	4	4	1,6
Komputer	16	16	16	0,5
Panel SMDP C				
Panel SDP C1	4	4	4	0,01
Panel SDP C2	4	4	4	0,17

Tabel 2. (lanjutan)

Sumber	Luas Penampang Penghantar (mm ²)			Voltage Drop (%)
	Fasa	Netral	PE	Simulasi
Panel SDP C3	4	4	4	0,27
Panel SDP C1				
Penerangan C1	1,5	1,5	1,5	1
Stop Kontak C1	2,5	2,5	2,5	0,4
AC C1.1	4	4	4	0,5
AC C1.2	4	4	4	0,3
AC C1.3	4	4	4	0,4
Panel SDP C2				
Penerangan C2	1,5	1,5	1,5	0,8
Stop Kontak C2	2,5	2,5	2,5	0,5
AC C2.1	4	4	4	0,5
AC C2.2	4	4	4	0,5
AC C2.3	4	4	4	0,8
Panel SDP C3				
Penerangan C3	1,5	1,5	1,5	1
Stop Kontak C3	2,5	2,5	2,5	0,5
AC C3.1	4	4	4	0,9
AC C3.2	4	4	4	0,5
AC C3.3	4	4	4	0,5

3.2. Perhitungan Manual

3.2.1. Penentuan Kabel

1. Menentukan Ukuran Kabel Fasa

Pemilihan kabel fasa panel SDP A1 menggunakan perhitungan dengan pembebanan 100% sebagai berikut.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos \phi}$$

$$I = \frac{127746}{\sqrt{3} \times 400 \times 0,85}$$

$$I = 21,65845 \text{ Ampere}$$

Dengan faktor koreksi

$$I' = \frac{I}{k1 \times k2}$$

$$I' = \frac{21,65845}{0,94 \times 1}$$

$$I' = 23,041 \text{ Ampere}$$

Maka dapat didapatkan kuat hantar arus sebagai berikut

$$KHA = 125\% \times I$$

$$KHA = 125\% \times 23,041 = 28,8 \text{ Ampere}$$

Sesuai dengan tabel KHA terus menerus untuk kabel tanah inti tunggal, berkonduktor tembaga, dan berselubung PVC maka didapatkan ukuran kabel fasa NYY 6 mm². Pemilihan kabel ini juga mempertimbangkan kesesuaian sistem pada simulasi ETAP 12.6.0

2. Menentukan Ukuran Kabel Netral

Pemilihan ukuran kabel netral berdasarkan IEC yang dipakai pada standar Cenelec, untuk besaran kabel netral 1:1 dengan luas penghantar kabel fasanya. Sehingga didapatkan hasil sesuai persamaan (2.4) sebagai berikut.

$$N = 1 \times 6 \text{ mm}^2$$

$$N = 6 \text{ mm}^2$$

3. Menentukan Ukuran Kabel PE (*Protection Earth*)

Pemilihan kabel PE disesuaikan dengan standar PUIL 2011, dimana apabila penghantar fasa memiliki luas penampang kurang dari sama dengan 16 mm^2 ($S \leq 16$) maka luas penampang minimum proteksi terakait adalah sebesar S . Sehingga didapatkan hasil sebagai berikut.

$$Sp = S = 6 \text{ mm}^2$$

3.2.2. Perhitungan Jatuh Tegangan

Luas penampang penghantar pada tabel diatas dapat berubah menyesuaikan dengan nilai jatuh tegangannya, dimana jatuh tegangan yang diperbolehkan oleh PUIL 2011 adalah kurang dari 4%.

Outgoing Trafo ke LVMDP

Berdasarkan standar IEC 60288 didapatkan resistansi dan reaktansi kabel dengan luas penghantar 400 mm^2 isolasi XLPE adalah sebagai berikut

$$R = 0,128 \Omega/\text{km}$$

$$X = 0,095 \Omega/\text{km}$$

Sesuai dengan persamaan (2.8), maka didapatkan jatuh tegangan sebagai berikut.

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \times (R_{c1ph} \cos \varphi + X_{c1ph} \sin \varphi) \times I \times L \times 10^{-3}}{V} \times 100 \%$$

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \times (0,128 \times 0,98 + 0,095 \times 0,199) \times 161,1 \times 60 \times 10^{-3}}{400 \times 3} \times 100 \%$$

$$\Delta V = 0,2 \%$$

Panel SMDP A

Berdasarkan standar IEC 60288 didapatkan resistansi dan reaktansi kabel dengan luas penghantar 50 mm^2 isolasi XLPE adalah sebagai berikut

$$R = 0,494 \Omega/\text{km}$$

$$X = 0,079 \Omega/\text{km}$$

Sesuai dengan persamaan (2.8), maka didapatkan jatuh tegangan sebagai berikut

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \times (R_{c1ph} \cos \varphi + X_{c1ph} \sin \varphi) \times I \times L \times 10^{-3}}{V} \times 100 \%$$

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \times (0,494 \times 0,9 + 0,079 \times 0,43) \times 84,9 \times 60 \times 10^{-3}}{400 \times 2} \times 100 \%$$

$$\Delta V = 0,53 \%$$

Panel SDP A1

Berdasarkan standar IEC 60288 didapatkan resistansi dan reaktansi kabel dengan luas penghantar 4 mm^2 isolasi PVC adalah sebagai berikut

$$R = 3,08 \Omega/\text{km}$$

$$X = 0,1596 \Omega/\text{km}$$

Sesuai dengan persamaan (2.8), maka didapatkan jatuh tegangan sebagai berikut

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \times (R_{c1ph} \cos \varphi + X_{c1ph} \sin \varphi) \times I \times L \times 10^{-3}}{V} \times 100 \%$$

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \times (3,08 \times 0,85 + 0,1596 \times 0,53) \times 14,9 \times 1 \times 10^{-3}}{400} \times 100 \%$$

$$\Delta V = 0,02 \%$$

3.2.3. Perhitungan Kapasitor

Untuk memperbaiki faktor daya pada panel SMDP A , SMDP B dan SMDP C maka perlu dipasang kapasitor bank, dengan $\cos \theta$ awal sebesar 0,854 pada SMDP A, 0,855 pada SMDP B dan 0,853 pada SMDP C dengan perbaikan faktor daya menjadi 0,9. Sesuai dengan persamaan (2.9), maka akan diperoleh hasil sebagai berikut.

1. Panel LVMDP

$$P = 168,3438 \text{ kW}$$

$$S_1 = \frac{P}{\cos \theta} = \frac{168,3438}{0,855} = 196,89333 \text{ kVA}$$

$$Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P^2} = \sqrt{196,89333^2 - 168,3438^2} = 102,1144 \text{ kVAR}$$

$$P = 168,3438 \text{ kW}$$

$$S_2 = \frac{P}{\cos \theta} = \frac{168,3438}{0,9} = 177,204 \text{ kVA}$$

$$Q_2 = \sqrt{S_2^2 - P^2} = \sqrt{177,204^2 - 168,3438^2} = 55,331931 \text{ kVAR}$$

Kapasitor bank yang dibutuhkan

$$Q = Q_1 - Q_2 = 102,1144 - 55,331931 = 46,782464 \text{ kVAR}$$

2. Panel SMDP A

$$P = 81,4923 \text{ kW}$$

$$S_1 = \frac{P}{\cos \theta} = \frac{81,4923}{0,856} = 95,201285 \text{ kVA}$$

$$Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P^2} = \sqrt{95,201285^2 - 81,4923^2} = 49,216763 \text{ kVAR}$$

$$P = 81,4923 \text{ kW}$$

$$S_2 = \frac{P}{\cos \theta} = \frac{81,4923}{0,9} = 90,547 \text{ kVA}$$

$$Q_2 = \sqrt{S_2^2 - P^2} = \sqrt{90,547^2 - 81,4923^2} = 39,468522 \text{ kVAR}$$

Kapasitor bank yang dibutuhkan

$$Q = Q_1 - Q_2 = 49,216763 - 39,468522 = 9,7482403 \text{ kVAR}$$

3. Panel SMDP B

$$P = 68,465 \text{ kW}$$

$$S_1 = \frac{P}{\cos \theta} = \frac{68,465}{0,855} = 80,076023 \text{ kVA}$$

$$Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P^2} = \sqrt{80,076023^2 - 68,465^2} = 41,529668 \text{ kVAR}$$

$$P = 68,465 \text{ kW}$$

$$S_2 = \frac{P}{\cos \theta} = \frac{68,465}{0,9} = 76,072222 \text{ kVA}$$

$$Q_2 = \sqrt{S_2^2 - P^2} = \sqrt{76,072222^2 - 68,465^2} = 33,159113 \text{ kVAR}$$

Kapasitor bank yang dibutuhkan

$$Q = Q_1 - Q_2 = 41,529668 - 33,159113 = 8,3705548 \text{ kVAR}$$

4. Panel SMDP C

$$P = 18,7535 \text{ kW}$$

$$S_1 = \frac{P}{\cos \theta} = \frac{18,7535}{0,853} = 21,985346 \text{ kVA}$$

$$Q_1 = \sqrt{S_1^2 - P^2} =$$

$$\sqrt{21,985346^2 - 18,7535^2} = 11,474392 \text{ kVAR}$$

$$P = 18,7537 \text{ kW}$$

$$S_2 = \frac{P}{\cos \theta} = \frac{18,7537}{0,9} = 20,837222 \text{ kVA}$$

$$Q_2 = \sqrt{S_2^2 - P^2} = \sqrt{20,837222^2 - 18,7535^2} = 9,0827346 \text{ kVAR}$$

Kapasitor bank yang dibutuhkan

$$Q = Q_1 - Q_2 = 11,474392 - 9,0827346 = 2,3916573 \text{ kVAR}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan perbaikan faktor daya untuk LVMDP menjadi 0,95 dan SMDP menjadi 0,9 dengan penambahan kapasitor bank untuk panel LVMDP sebesar 50 kVAR, SMDP A sebesar 12,5 kVAR, SMDP B sebesar 9 kVAR, dan SMDP C sebesar 6 kVAR.

3.2.4. Perhitungan Kebutuhan Genset

Genset dibutuhkan untuk mensuplai Gedung Teknik Kimia Universitas Diponegoro ketika terjadi pemadaman. Perhitungan ini untuk mempertimbangkan kebutuhan genset itu sendiri untuk operasional pabrik dan mengetahui besar genset yang diperlukan. Untuk mencari kapasitas genset terlebih dahulu mencari *Demand Factor*, selanjutnya menentukan kapasitas daya dengan perhitungan sebagai berikut.

Total beban terpasang Gedung Teknik Kimia Universitas Diponegoro:

$$P = P_{SMDP A} + P_{SMDP B} + P_{SMDP C} = 81,4923 + 68,465 + 18,7535 = 168,3438 \text{ kW}$$

Total beban maksimum terukur Gedung Teknik Kimia Universitas Diponegoro :

$$P = P_{SMDP A} + P_{SMDP B} + P_{SMDP C} = 52,969995 + 44,50225 + 11,951225 = 109,42347 \text{ kW}$$

$$DF = \frac{109,42347}{168,3438} = 0,65$$

Kapasitas Daya

$$P = DF \times \text{Beban Total Terpasang} \times \text{Faktor Keamanan Trafo}$$

$$P = 0,65 \times 109,42347 \times 125\%$$

$$P = 88,90655938 \text{ kW}$$

Menentukan rating kinerja daya genset

Dalam perancangan ini, penulis menggunakan genset dengan merek genset yang diproduksi oleh perusahaan Caterpillar dengan rating kinerja genset sebagai berikut.

$$S = \frac{88,90655938}{0,85} = 104,595964 \text{ kVA}$$

Sehingga genset yang digunakan sesuai dengan spesifikasi perusahaan Caterpillar C4.4 (50 Hz) adalah genset dengan rating 110 kVA.

3.3 Analisis

3.3.1. Perbandingan Luas Penampang Kabel

Tabel 3. Perbandingan Luas Penghantar Perhitungan dan Simulasi

Sumber	Luas Penampang Penghantar Manual (mm ²)			Luas Penampang Penghantar Simulasi (mm ²)		
	Fasa	Netral	PE	Fasa	Netral	PE
Outgoing trafo ke LVMDP	185	185	95	185	185	95
LVMDP						
Panel SMDP A	50	50	25	50	50	25
Panel SMDP B	50	50	25	50	50	25
Panel SMDP C	35	35	35	35	35	35
Panel SMDP A						
Panel SDP A1	6	6	6	6	6	6
Panel SDP Lab A1	16	16	16	16	16	16
Panel SDP A2	6	6	6	6	6	6
Panel SDP Lab A2	25	25	25	25	25	25
Panel SDP A3	6	6	6	6	6	6
Panel SDP Lab A3	10	10	10	10	10	10
Panel SDP A1						
Penerangan A1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stop Kontak A1.1	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Stop Kontak A1.2	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
AC A1.1	4	4	4	4	4	4
AC A1.2	4	4	4	4	4	4
AC A1.3	4	4	4	4	4	4
Panel SDP Lab A1						
Penerangan Lab A1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stop Kontak Lab A1	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
AC Lab A1	4	4	4	4	4	4
Mesin Pendingin 3 fasa	4	4	4	4	4	4
Motor 1 Fasa 1	4	4	4	4	4	4
Motor 1 Fasa 2	4	4	4	4	4	4
Kompresor 1	4	4	4	4	4	4
Motor 1 fasa 3	4	4	4	4	4	4
Kompresor 2	4	4	4	4	4	4
Motor 1 fasa 4	4	4	4	4	4	4
Oven 1	4	4	4	4	4	4
Oven 2	4	4	4	4	4	4
Oven 3	4	4	4	4	4	4
Oven 4	4	4	4	4	4	4
Oven 5	4	4	4	4	4	4
Oven 6	4	4	4	4	4	4
Blower	4	4	4	4	4	4
Try dryer	4	4	4	4	4	4
Continuous Band Sealer	4	4	4	4	4	4
Motor induksi 3 fasa	4	4	4	4	4	4
Motor induksi 3 fasa	4	4	4	4	4	4
Panel SDP A2						
Penerangan A2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stop Kontak A2	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
AC A2.1	4	4	4	4	4	4
AC A2.2	4	4	4	4	4	4
AC A2.3	4	4	4	4	4	4

Tabel 3. (lanjutan)

Sumber	Luas Penampang Penghantar Manual (mm ²)			Luas Penampang Penghantar Simulasi (mm ²)		
	Fasa	Netral	PE	Fasa	Netral	PE
Panel SDP Lab A2						
Penerangan Lab A2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stop Kontak Lab A2	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Motor 1 fasa 5	4	4	4	4	4	4
Kompresor 3	4	4	4	4	4	4
Pompa	4	4	4	4	4	4
Tungku 1	4	4	4	4	4	4
Oven 7	4	4	4	4	4	4
Power Supply	4	4	4	4	4	4
Tungku 2	4	4	4	4	4	4
Oven 8	4	4	4	4	4	4
Oven 9	4	4	4	4	4	4
Oven 10	4	4	4	4	4	4
Panel SDP A3						
Penerangan A3	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stop Kontak A3	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
AC A3.1	4	4	4	4	4	4
AC A3.2	4	4	4	4	4	4
AC A3.3	4	4	4	4	4	4
Panel SDP Lab A3						
Penerangan Lab A3	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stop Kontak Lab A3	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
AC Lab A3	4	4	4	4	4	4
Oven 11.1	4	4	4	4	4	4
Oven 11.2	4	4	4	4	4	4
Oven 11.3	4	4	4	4	4	4
Panel SMDP B						
Panel SDP B1	6	6	6	6	6	6
Panel SDP B2	6	6	6	6	6	6
Panel SDP B3	35	35	35	35	35	35
Panel SDP B1						
Penerangan B1	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Stop Kontak B1.1	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Stop Kontak B1.2	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
AC B1.1	4	4	4	4	4	4
AC B1.2	4	4	4	4	4	4
Panel SDP B2						
Penerangan B3	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stop Kontak B3	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
AC B3.1	4	4	4	4	4	4
AC B3.2	4	4	4	4	4	4
Panel SDP B3						
Penerangan B3	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stop Kontak B3	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
AC B3.1	4	4	4	4	4	4
AC B3.2	4	4	4	4	4	4
Komputer	16	16	16	16	16	16
Panel SMDP C						
Panel SDP C1	4	4	4	4	4	4
Panel SDP C2	4	4	4	4	4	4
Panel SDP C3	4	4	4	4	4	4
Panel SDP C1						
Penerangan C1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stop Kontak C1	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
AC C1.1	4	4	4	4	4	4
AC C1.2	4	4	4	4	4	4
AC C1.3	4	4	4	4	4	4
Panel SDP C2						
Penerangan C2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stop Kontak C2	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
AC C2.1	4	4	4	4	4	4
AC C2.2	4	4	4	4	4	4
AC C2.3	4	4	4	4	4	4
Panel SDP C3						
Penerangan C3	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Stop Kontak C3	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
AC C3.1	4	4	4	4	4	4
AC C3.2	4	4	4	4	4	4
AC C3.3	4	4	4	4	4	4

Berdasarkan Tabel 3. menunjukkan luas penampang penghantar sudah melalui penyesuaian terhadap jatuh tegangan agar tidak lebih dari 4% pada ujung beban.

Perancangan instalasi yang dibuat menggunakan penghantar dengan ukuran minimal 1,5 mm² dan maksimal ukuran penghantar 185 mm². Hal ini telah memenuhi syarat PUIL 2011.

3.3.2. Perbandingan Jatuh Tegangan

Tabel 4. Perbandingan Jatuh Tegangan Perhitungan dan Simulasi

Sumber	Luas Penampang Penghantar (mm ²)			Voltage Drop (%)	
	Fasa	Netral	PE	Manual	Simulasi
Outgoing trafo ke LVMDP					
LVMDP					
Panel SMDP A	50	50	25	0,53	0,5
Panel SMDP B	50	50	25	0,59	0,4
Panel SMDP C	35	35	35	0,40	0,4
Panel SMDP A					
Panel SDP A1	6	6	6	0,02	0,02
Panel SDP Lab A1	16	16	16	0,19	0,2
Panel SDP A2	6	6	6	0,16	0,2
Panel SDP Lab A2	25	25	25	0,13	0,1
Panel SDP A3	6	6	6	0,30	0,4
Panel SDP Lab A3	10	10	10	0,32	0,4
Panel SDP A1					
Penerangan A1	1,5	1,5	1,5	0,74	1,3
Stop Kontak A1.1	2,5	2,5	2,5	1,41	2,9
Stop Kontak A1.2	2,5	2,5	2,5	1,30	2,7
AC A1.1	4	4	4	0,32	0,5
AC A1.2	4	4	4	0,16	0,3
AC A1.3	4	4	4	0,32	0,5
Panel SDP Lab A1					
Penerangan Lab A1	1,5	1,5	1,5	1,07	0,97
Stop Kontak Lab A1	2,5	2,5	2,5	0,41	0,45
AC Lab A1	4	4	4	0,20	0,17
Mesin Pendingin 3 fasa	4	4	4	0,24	0,14
Motor 1 Fasa 1	4	4	4	0,10	0,09
Motor 1 Fasa 2	4	4	4	0,28	0,24
Kompresor 1	4	4	4	0,21	0,18
Motor 1 fasa 3	4	4	4	0,03	0,03
Kompresor 2	4	4	4	0,05	0,04
Motor 1 fasa 4	4	4	4	0,16	0,13
Oven 1	4	4	4	0,29	0,25
Oven 2	4	4	4	0,36	0,31
Oven 3	4	4	4	0,36	0,33
Oven 4	4	4	4	0,36	0,31
Oven 5	4	4	4	0,35	0,3
Oven 6	4	4	4	0,29	0,25
Blower	4	4	4	0,31	0,26
Try dryer	4	4	4	0,31	0,26
Continuous Band Sealer	4	4	4	0,18	0,15
Motor induksi 3 fasa	4	4	4	0,04	0,03
Motor induksi 3 fasa	4	4	4	0,04	0,03
Panel SDP A2					
Penerangan A2	4	4	4	0,55	1,1
Stop Kontak A2	4	4	4	0,32	0,8
AC A2.1	4	4	4	0,53	1,1
AC A2.2	4	4	4	0,27	0,5
AC A2.3	4	4	4	0,27	0,5
SDP Lab. A2					
Penerangan Lab A2	1,5	1,5	1,5	1,22	1,1
Stop Kontak Lab A2	2,5	2,5	2,5	0,33	0,4
Motor 1 fasa 5	4	4	4	0,21	0,2
Kompresor 3	4	4	4	0,40	0,3
Pompa	4	4	4	0,21	0,2
Tungku 1	4	4	4	0,67	0,6
Oven 7	4	4	4	0,56	0,5
Power Supply	4	4	4	0,49	0,4
Tungku 2	4	4	4	0,67	0,6
Oven 8	4	4	4	0,29	0,2
Oven 9	4	4	4	0,36	0,3
Oven 10	4	4	4	0,36	0,3

Tabel 4. (lanjutan)

Sumber	Luas Penampang Penghantar (mm ²)			Voltage Drop (%)	Voltage Drop (%)
	Fasa	Netral	PE	Manual	Simulasi
Panel SDP A3					
Penerangan A3	1,5	1,5	1,5	0,77	1,3
Stop Kontak A3	2,5	2,5	2,5	0,80	1,4
AC A3.1	4	4	4	0,49	0,8
AC A3.2	4	4	4	0,16	0,3
AC A3.3	4	4	4	0,65	1,1
Panel SDP Lab. A3					
Penerangan Lab A3	1,5	1,5	1,5	0,75	0,9
Stop Kontak Lab A3	2,5	2,5	2,5	1,02	1,5
AC Lab A3	4	4	4	0,74	0,9
Oven 11.1	4	4	4	0,63	0,8
Oven 11.2	4	4	4	0,21	0,2
Oven 11.3	4	4	4	0,21	0,2
Panel SMDP B					
Panel SDP B1	6	6	6	0,02	0,02
Panel SDP B2	6	6	6	0,38	0,5
Panel SDP B3	35	35	35	0,34	0,4
Panel SDP B1					
Penerangan B1	2,5	2,5	2,5	0,47	1
Stop Kontak B1.1	2,5	2,5	2,5	0,93	1,9
Stop Kontak B1.2	2,5	2,5	2,5	1,04	2,2
AC B1.1	4	4	4	0,87	1,5
AC B1.2	4	4	4	0,40	0,7
Panel SDP B2					
Penerangan B2	1,5	1,5	1,5	1,41	1,5
Stop Kontak B2	2,5	2,5	2,5	2,38	3
AC B2.1	4	4	4	1,28	1,9
AC B2.2	4	4	4	1,79	1,9
Panel SDP B3					
Penerangan B3	1,5	1,5	1,5	1,48	1,3
Stop Kontak B3	2,5	2,5	2,5	0,65	1
AC B3.1	4	4	4	1,84	1,6
AC B3.2	4	4	4	1,84	1,6
Komputer	16	16	16	0,84	0,5
Panel SMDP C					
Panel SDP C1	6	6	6	0,01	0,01
Panel SDP C2	6	6	6	0,17	0,17
Panel SDP C3	6	6	6	0,27	0,27
Panel SDP C1					
Penerangan C1	1,5	1,5	1,5	0,33	1
Stop Kontak C1	2,5	2,5	2,5	0,11	0,4
AC C1.1	4	4	4	0,18	0,5
AC C1.2	4	4	4	0,09	0,3
AC C1.3	4	4	4	0,14	0,4
Panel SDP C2					
Penerangan C2	1,5	1,5	1,5	0,43	0,8
Stop Kontak C2	2,5	2,5	2,5	0,21	0,5
AC C2.1	4	4	4	0,30	0,5
AC C2.2	4	4	4	0,44	0,5
AC C2.3	4	4	4	0,30	0,8
Panel SDP C3					
Penerangan C3	1,5	1,5	1,5	0,52	1
Stop Kontak C3	2,5	2,5	2,5	0,25	0,5
AC C3.1	4	4	4	0,62	0,9
AC C3.2	4	4	4	0,35	0,5
AC C3.3	4	4	4	0,35	0,5

Tabel 4. merupakan perbandingan jatuh tegangan pada ETAP 12.6 dibandingkan perhitungan. Berdasarkan perancangan instalasi yang dilakukan, jatuh tegangan terkecil berada pada penghantar panel LP-OA sebesar 0,11 %, dan jatuh tegangan terbesar berada pada penghantar panel SMDP O sebesar 2,78 %. Hal ini sudah memenuhi standar PUIL 2011 yaitu kurang dari 4 % [4].

4. Kesimpulan

Hasil simulasi dan perhitungan kondisi eksisting pada Gedung Teknik Kimia Universitas Diponegoro didapatkan terdapat drop tegangan pada kabel Stop Kontak B2 sebesar 5%. Sedangkan menurut Persyaratan Umum Instalasi

Listrik (PUIL) 2011, drop tegangan yang dibolehkan dalam instalasi listrik tidak melebihi 4%. Sehingga perlu dilakukan redesain sistem instalasi listrik. Berdasarkan perancangan yang dilakukan menunjukkan luas penampang penghantar sudah melalui penyesuaian terhadap jatuh tegangan agar tidak lebih dari 4%. Menggunakan penghantar dengan ukuran minimal 1,5 mm² dan maksimal ukuran penghantar 185 mm². Jatuh tegangan terkecil berada pada kabel penghantar Panel SDP A1 sebesar 0,02 % dengan luas penampang 6 mm², dan jatuh tegangan terbesar berada pada kabel penghantar Stop Kontak B2 sebesar 3 % dengan luas penampang 2,5 mm². Hal ini sudah memenuhi standar PUIL 2011 yaitu kurang dari 4 %. kebutuhan kapasitor bank yang diperlukan adalah 50 kVAR pada LVMDP, 12 kVAR pada SMDP A dan 9 kVAR pada SMDP B dan 6 kVAR pada SMDP C.G enerator set yang dibutuhkan untuk menunjang kinerja listrik pada Gedung Teknik Kimia Universitas Diponegoro sebesar 110 kVA.

Referensi

- [1]. Teknik Kimia UNDIP | Gugus Penjaminan Mutu Teknik Kimia Undip.” [Online]. Available: http://tekim.undip.ac.id/gpm/?page_id=6. [Accessed: 18-Jan-2020].
- [2]. Undang-Undang Republik Indonesia, nomor 30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan.
- [3]. Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2000.
- [4]. Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2011.
- [5]. International Standard: Conductor of insulated cables, IEC Standard 60228, 2004.
- [6]. Laras, Djoko. “Materi instalasi listrik”, 2018.
- [7]. Katalog Kabel Sutrado, Bogor, 2018.
- [8]. CENELEC 2011. Brussels: European Committee for Electrotechnical Standardization.
- [9]. International Standard: Conductor of insulated cables, IEC Standard 60228, 2004.
- [10]. IEC International Standard, “Electrical Insulation Guide”. Shneider Electric, 2016.
- [11]. G. Milton, “Basic Electricity Second Edition”. McGraw-Hill Companies, 2007.
- [12]. D. I. Gedung and H. Glodok, “Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Pakuan Bogor 1,” pp. 1–10.
- [13]. Suswanto, Daman. 2009. Sistem Distribusi Tenaga Listrik. Padang.
- [14]. Buku 1 : Kriteria Disain Enjineriing Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik No. 475.K/DIR/2010. Jakarta. PT. PLN (Persero).
- [15]. Nurfitri, “Studi Perancangan Instalasi Listrik Pada Gedung Bertingkat Onih Bogor”, Universitas Pakuan, 2015.
- [16]. M. Zulkaromi, “Perancangan Instalasi Listrik Pasar Klewer Surakarta Menggunakan Software SIMARIS”, Universitas Diponegoro, 2017.

- [17]. M. H. Basri, "Rancang Bangun Diagram Satu Garis Rencana Sistem Distribusi Tenaga Listrik Di Gedung Bertingkat (Highrises Building) Rencana Sistem Distribusi Tenaga Listrik Di Gedung Bertingkat (Highrises Building)," pp. 33–40, 2008.
- [18]. D. I. Gedung and H. Glodok, "Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Pakuan Bogor 1," pp. 1–10.
- [19]. Hidayah Aprilawati, "Perancangan Unit Instalasi Genset di PT Aichi Tex Indonesia", Politeknik Negeri Bandung, 2007.
- [20]. Andang Purnomo Putro, "Analisis Tegangan Jatuh Sistem Distribusi Listrik Kabupaten Pelalawan dengan Menggunakan ETAP 7.5.0", *Transient, Vol.4, No.1, Maret 2015, ISSN: 2302-9927, 123*.
- [21]. Fani Istiana Handayani, "Analisis Jatuh Tegangan dan Rugi Daya pada Jaringan Tegangan Rendah Menggunakan Software ETAP 12.6.0", *Transient, Vol. 5, No. 1, Maret 2016, ISSN:2302-9927,57*.