

PERANCANGAN INSTALASI LISTRIK GEDUNG RUMAH SAKIT SWASTA KAPASITAS 200 BED

Isna Mustika Robby Sexsio¹, Ir. Agus Jamal M.Eng.², Ir. Slamet Suripto M.Eng.³

¹Mahasiswa Teknik Elektro, ^{2,3}Dosen Teknik Elektro,

Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Email: m.robby2898@gmail.com

ABSTRACT

The research discusses the design of a high rise building instalation power plant in a private hospital building with a capacity of 200 *bed*. The planning involves calculating the loading and calculating the electrical appliance that will be used. Calculation of loading include lamp needs, large AC capacity used, and contact box according to usability. Meanwhile, the calculation of the electrical appliance that will be used include the connected PLN power, transformator capacity, generator-set capacity, capacitor bank capacity, harmonized filter compensator, MCCB specification, feeder cable specification, and the grounding cable used. In the calculation of electrical installation design of this hospital building refers to applicable standards such as PUIL 2000, SPLN and IEC. To be able to do the calculation of electrical appliance, it also performs the calculation of the load schedule to get the total power and also the total electric current of three phases in the hospital building. The results of electrical installation design are implemented in building architecture using AutoCad to facilitate the design reading. This private hospital building with capacity of 200 bed prior to repair power factor had a normal total load of 1.010,1 kVA, after the power factor repair using a capacitor bank with a capacity of 250 kVAR then the normal total load become 882.4 kVA. So the PLN power will be connected in 1.110 KVA, transformer capacity and generator-set of 1250 KVA and harmonic filter specification that has a capacitor value of $4,976 \times 10^{-3}$ F, inductor value of $0,102 \times 10^{-3}$ H, resistance value of 0.64Ω , the value of active filter capacity distortion minimum of 264,16 kvar and harmonic filter performance $< 5\%$. In designing the electrical installation of the hospital building also doing the analysis of drop Voltage (Vdrop) which is still in the standard limit safe with the largest voltage value of 1,86% and also performed A short circuit analysis (ISC) to determine the breaking capacity with the largest short circuit current value of 25,734 A.

I. PENDAHULUAN

Ada beberapa unsur yang di perhatikan dalam melakukan perancangan gedung yaitu arsitektur, struktur dan mekanikal elektrik. Unsur yang mengutamakan sisi fungsi/utilitas biasa disebut dengan MEP yaitu Mekanikal, Elektrikal dan Plumbing. Sistem-sistem yang perlu diperhatikan dalam MEP yaitu *plumbing, fire fighter, fire alarm, elevator*, distribusi listrik, penangkal petir, telepon, CCTV, *sound system*, komputer, MATV, dan tata udara. Dari sistem-sistem yang terdapat pada unsur MEP memiliki fungsinya masing-masing yang saling terintegrasi dan terstruktur karena MEP sendiri harus di rancang sesuai standarisasi yang berlaku untuk setiap sistemnya.

Salah satu sistem pada unsur MEP pada gedung yaitu sistem distribusi listrik, dimana sistem harus memenuhi beberapa standar dan persyaratan yang harus diperhatikan yaitu pada perhitungan pembebanan seperti penerangan, kotak kontak, dan AC; faktor daya; spesifikasi

kabel *feeder* (tenaga) dan kabel *grounding* (pembumian); *rating* MCCB (*Moulded Case Circuit Breaker*); dan kapasitas transformator, generator-set dan *Uninterruptible Power Supply* (UPS).

Selain harus memperhatikan standar dan persyaratan diatas perancangan gedung juga harus memperhatikan sistem proteksi distribusi listrik. Salah satu tujuan dari sistem proteksi yaitu untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi kelistrikan yang terpasang. Hal yang harus diperhatikan yaitu jatuh tegangan yang dapat mengurangi efisiensi sistem distribusi listrik, hubungan singkat yang dapat menyebabkan kegagalan operasi secara keseluruhan dan harmonisa yang dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan beban induksi.

II. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

Berdasarkan judul tugas akhir yang penulis ambil, subbab ini merupakan referensi-referensi yang penulis gunakan sebagai bahan acun yang diambil dari penelitian-

penelitian sebelumnya yang berkaitan, yaitu sebagai berikut:

1. Ezar Kuntoro Khairy, Fakultas Teknik UMY, 2016. Skripsi: *Perancangan Instalasi Listrik Gedung Rumah Sakit Al-Irsyad Surabaya*. Menjelaskan tentang proses perhitungan total daya, kapasitas trafo, kapasitans kapasitor bank, kapasitas trafo dan *Generator-Set*.
2. Rafi'ah Ma'rifatul Muslimah Al-Kamil, Fakultas Teknik UMY, 2016. Skripsi: *Perancangan Sistem Instalasi Listrik Royal Sanur Hospital Bali*. Menjelaskan tentang perancangan sebuah sistem instalasi listrik rumah sakit dengan menghitung beban listrik rumah sakit secara rinci dan akurat sehingga dapat menentukan kapasitas daya tersambung dari PLN, kapasitas *Generator-Set* dan kapasitas trafo.
3. Muhamad Cholil Nurrochman, Fakultas Teknik UMY, 2018. Skripsi: *Perancangan Instalasi Listrik Gedung Central Rumah Sakit Cahaya Panorama Husada Boyolali*. Menjelaskan tentang perencanaan instalasi listrik rumah sakit untuk mengetahui kapasitas total daya aktif dan daya semu, *breaking capacity*, jatuh daya kabel (*drop line power*), *Generator-Set*, trafo dan penyalur petir.
4. Muhammad Ilyasa', Fakultas Teknik UMY, 2018. Skripsi: *Perancangan Sistem dan Instalasi Listrik Rumah Sakit Queen Latifa Yogyakarta*. Menjelaskan tentang perancangan instalasi listrik gedung rumah sakit untuk mengetahui total beban listrik yang terpasang, kapasitas trafo dan *Generator-Set*, daya listrik PLN yang dipasang, besaran jatuh tegangan (*Drop Voltage*), arus hubung singkat (*breaking capacity*) dan penangkal petir yang digunakan.
5. Slamet Supriyo Nugroho, Fakultas Teknik UMY, 2018. Skripsi: *Analisis*

Harmonik Arus dan Tegangan Pada Gedung AR Fakhruddin B Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Menjelaskan tentang audit energi Gedung AR Fakhruddin B UMY dengan memperhatikan pengaruh harmonisa dan melakukan perancangan pemasangan filter harmonisa.

B. Landasan Teori

1. Distribusi Listrik Pada Gedung

Jaringan distribusi pada gedung terdiri dari beberapa peralatan yang harus dipenuhi yaitu:

- a. Sumber dan gardu listrik tegangan menengah PLN 20 kV
- b. MVMDP (*Medium Voltage Main Distribution Panel*)
- c. LVMDP (*Low Voltage Main Distribution Panel*)
- d. *Transformer Step Down*

2. Jenis Beban

- a. Beban Resistif (R)

Beban Resistif (R) adalah beban yang terdiri dari tahanan ohm saja (*Resistans*) / resistansi murni. Contoh dari jenis beban resistif yaitu lampu dan pemanas. Beban ini hanya menyerap daya aktif dan tidak menyerap daya reaktif sama sekali. Sifat dari beban resistif yaitu tegangan dan arus berada pada satu fase / fase yang sama.

Secara matematis dapat dinyatakan:

$$R = \frac{V}{I}$$

Dimana:

R = Hambatan / Resistansi (Ohm)

V = Tegangan (volt)

I = Kuat Arus (ampere)

Persamaan dayanya sebagai berikut:

$$P = I \times V$$

Dimana:

P = Daya Aktif yang diserap beban (Watt)

b. Beban Induktif (L)

Beban Induktif (L) yaitu beban yang terdiri dari kumparan kawat yang dililitkan pada suatu inti besi. Contoh beban induktif yaitu coil, motor-motor listrik, transformator, dan selenoida. Beban jenis ini menyebabkan pergeseran fasa pada arus sehingga bersifat lagging. Hal ini di sebabkan oleh energi yang tersimpan berupa medan magnetis yang akan mengakibatkan arus bergeser dan menjadi tertinggal terhadap tegangan. Beban jenis ini menggunakan daya aktif dan daya reaktif.

Persamaan daya aktif untuk beban induktif adalah sebagai berikut:

$$P = V \times I \times \cos\phi$$

Dimana :

P = Daya Aktif yang diserap beban (watt)

V = Tegangan (volt)

I = Arus (ampere)

Cos ϕ = Sudut antara arus dan tegangan.

Untuk menghitung besarnya reaktansi induktif (X_L), secara matematis dinyatakan:

$$X_L = 2 \times \pi \times f \times L$$

Dimana:

X_L = Reaktansi Induktif (Ohm)

f = Frekuensi (Hz)

L = Induktansi (H)

c. Beban Kapasitif (C)

Beban Kapasitif (C) adalah beban yang memiliki kemampuan untuk menyimpan energi yang berasal dari pengisian dielektrik pada suatu sirkuit. Komponen ini dapat menyebabkan arus mendahului tegangan. Beban jenis ini menyerap daya aktif dan mengeluarkan daya reaktif.

Persamaan daya aktif untuk beban kapasitif adalah sebagai berikut:

$$P = V \times I \times \cos\phi$$

Dimana :

P = Daya Aktif yang diserap oleh beban (watt)

V = Tegangan (volt)

I = Arus (ampere)

Cos ϕ = Sudut antara arus dan tegangan

Untuk menghitung besarnya reaktansi kapasitif (X_C), secara matematis dinyatakan:

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

Dimana:

X_C = Reaktansi Kapasitif (Ohm)

f = Frekuensi (F)

C = Kapasitas Kapasitor (farad)

3. Pencahayaan

Pencahayaan buatan adalah pencahayaan yang dihasilkan oleh sumber cahaya buatan manusia (selain dari cahaya alami). Pencahayaan buatan sangat diperlukan apabila posisi ruangan sulit dicapai oleh pencahayaan alami atau saat kebutuhan pencahayaan alami tidak mencukupi untuk menerangi sebuah ruangan (Konservasi Energi Pada Sistem Pencahayaan, 2011).

Untuk memenuhi iluminasi pada suatu ruangan maka dapat dilakukannya perhitungan jumlah titik lampu yang dibutuhkan. Tujuan dengan adanya pembagian menjadi beberapa jumlah titik lampu yaitu terciptanya iluminasi ruangan yang rata. Jumlah titik lampu dapat dihitung dengan rumus:

$$N = \frac{E \times L \times W}{\phi \times LLF \times CU \times n}$$

Dimana:

N = jumlah titik lampu

E = Kuat Penerangan / target kuat penerangan yang akan dicapai (Lux)

L = Panjang Ruangan (meter)

W = Lebar Ruangan (meter)

ϕ = Total Lumen Lampu (Lamp Luminous Flux)

LLF = Light Loss Factor / Faktor Cahaya Rugi (0,7-0,8)

CU = Coeffisien of Utilization / Faktor Pemanfaatan (50% - 70%)

n = Jumlah Lampu dalam 1 titik Lampu

4. Instalasi Listrik

Peralatan instalasi listrik pada gedung yang harus diperhatikan yaitu:

- Saklar
- Kotak kontak
- Penerangan (Lampu)
- Tata udara/*air condition* (AC)
- Sarana Pemutus (*Circuit Breaker*)
- Kabel Penghantar/Tenaga (*Feeder*)
- Kabel Pembumian (*Grounding*)

5. Capacitor Bank

Capasitor Bank adalah alat kelistrikan yang memiliki sifat kapasitif dan berfungsi sebagai penyeimbang beban induktif pada rangkaian sistem tenaga listrik. Beban kapasitif dan beban induktif memiliki reaktansi (X) yang saling berlawanan.

Beban pada suatu instalasi listrik memiliki nilai impedansi (Z) atau sering di sebut sebagai hambatan dalam. Impedansi terdiri dari hambatan beban (R) dan hambatan imajiner (jX), dimana nilai X pada hambatan imajiner merupakan selisih antara nilai reaktansi beban induktif dengan reaktansi beban kapasitif. Jika beban induktif besar maka nilai reaktansi induktif juga akan besar sehingga mengakibatkan nilai faktor daya menjadi besar begitu juga pada daya semu yang nilainya akan besar dengan nilai daya aktif tetap. Oleh karena itu untuk memperbaiki keadaan tersebut maka dibutuhkannya kapasitor bank, dimana kapasitor bank ini memiliki sifat kapasitif sehingga nilai reaktansi kapasitif dapat menekan nilai impedansi karena nilai X pada impedansi akan mendekati nol.

Langkah-langkah yang harus dilakukan untuk menghitung menentukan kapasitas kapasitor bank: (Mischler, 2016)

- Langkah pertama untuk melakukan perbaikan daya dengan menggunakan kapasitor bank yaitu menghitung daya reaktif (Q) sebelum perbaikan daya.

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

- Langkah kedua yaitu menghitung $\text{Cos } \Phi$ sebelum perbaikan.

$$\text{Cos } \Phi = \frac{P}{S}$$

- Langkah ketiga yaitu menghitung daya semu (S) dengan $\text{Cos } \Phi$ yang diinginkan.

$$S' = \frac{P}{\text{Cos } \Phi}$$

- Langkah keempat yaitu menghitung daya reaktif perbaikan (Q') dengan menggunakan daya semu perbaikan (S').

$$Q' = \sqrt{(S')^2 - (P)^2}$$

- Langkah kelima yaitu menghitung kapasitas kapasitor bank (C) yang dibutuhkan untuk mencapai $\text{Cos } \Phi$ sebesar 0,90.

$$C = Q - Q'$$

6. Filter Harmonisa

Harmonisa terjadi dalam sistem kelistrikan disebabkan karena terdapat arus dan tegangan yang terdistorsi dan menyimpang dari bentuk gelombang sinusoidal. Arus harmonisa disebabkan oleh beban non-linear yang terhubung ke sistem distribusi listrik. Suatu beban dikatakan non-linear ketika arus yang mengalir tidak memiliki bentuk gelombang yang sama dengan tegangan suplai. Arus harmonisa mengalir mengalir melalui impedansi sistem sehingga akan menciptakan harmonisa tegangan yang dapat mendistorsi tegangan suplai (Mischler, 2016).

Langkah perhitungan untuk menentukan spesifikasi filter harmonisa yang akan digunakan:

- Menentukan Rasio Arus Distorsi

Perhitungan rasio arus distorsi ($\frac{I_{sc}}{I_L}$) berfungsi untuk menentukan batas nilai prosentase distorsi harmonik arus (THDi) yang dianjurkan pada instalasi listrik rumah sakit swasta ini menurut IEEE 519-2014. Berikut adalah rumusnya:

$$\text{Rasio Arus Distorsi} = \frac{I_{SC}}{I_L}$$

$$\text{Rasio Arus Distorsi} = \frac{I_{SC}}{\left(\frac{S}{\sqrt{3} \times VLL}\right)}$$

Tabel 1. Standar IEEE 514-2014

Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
I_{gh}/I_L	Individual harmonic order (odd harmonics) ^{a,b}					TDD
	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	
<20°	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 < 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 < 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

^aEven harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above.
^bCurrent distortions that result in a dc offset, e.g., half-wave converters, are not allowed.
^cAll power generation equipment is limited to these values of current distortion, regardless of actual I_{gh}/I_L , where
 I_L = maximum short-circuit current at PCC
 I_L = maximum demand load current (fundamental frequency component) at the PCC under normal load operating conditions

b. Menentukan Frekuensi Penyetelan

Menurut IEEE 1531-2003 untuk filter harmonisa frekuensi tunggal, pemilihan frekuensi ditentukan 3%-15% dibawah frekuensi yang ditentukan. Penurunan nilai orde dilakukan sebagai toleransi komponen filter untuk mencegah resonansi yang terjadi dalam sistem dan frekuensi yang mengganggu.

c. Perhitungan Kapasitor:

$$X_C = \frac{VLL^2}{Q_C}$$

$$C = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times X_C}$$

d. Perhitungan Induktor:

$$X_L = \frac{X_C}{h^2}$$

$$L = \frac{X_L}{2 \times \pi \times f}$$

e. Perhitungan Q_{filter}

$$Q_{filter} = \frac{VLL^2}{X_C - X_L}$$

f. Perhitungan R

$$Q = \frac{R}{X_L}$$

$$R = Q \times X_L$$

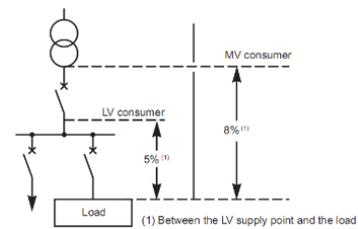
7. Jatuh Tegangan (Drop Voltage)

Jatuh tegangan (Drop Voltage) adalah penurunan tegangan yang terjadi pada saluran instalasi listrik yang menyebabkan terjadinya perbedaan tegangan antara tegangan source (V_S) dengan tegangan receive (V_R). Tegangan source memiliki nilai yang lebih besar dari tegangan receive ($V_S > V_R$).

Jatuh tegangan dapat disebabkan karena kabel dan beban yang digunakan. Kabel memiliki sifat resistif sehingga kabel memiliki nilai impedansi (Z) yang akan berpengaruh pada besar kecilnya tegangan jatuh. Pada suatu rangkaian instalasi listrik kemungkinan besar pasti terjadi dan itu diperbolehkan namun masih dalam batas wajar. Berdasarkan peraturan IEC60364-5-52 memiliki batas maksimal berikut:

Tabel 2. Batas Maksimum Tegangan Jatuh yang Diizinkan

Type of installations	Lighting circuits	Other uses (heating and power)
A low-voltage service connection from a LV public power distribution network	3 %	5 %
Consumers MV/LV substation supplied from a public distribution MV system	6 %	8 %



Gambar 1. Maksimum Voltage Drop (Sumber: Electrical Installation Guide 2016)

Tegangan jatuh dapat di hitung pada keadaan beban stabil. Berikut ini merupakan tabel rumus-rumus yang biasa digunakan untuk menghitung penurunan tegangan pada rangkaian listrik per kilometer panjang kabel (kabel tembaga dengan insulasi XLPE):

Tabel 3. Rumus Jatuh Tegangan

Circuit	Voltage drop (ΔU)	
	in volts	in %
Phase/phase	$\Delta U = 2I_B(R \cos \phi + X \sin \phi) L$	$\frac{100 \Delta U}{U_n}$
Phase/neutral	$\Delta U = 2I_B(R \cos \phi + X \sin \phi) L$	$\frac{100 \Delta U}{V_n}$
Balanced 3-phase: 3 phases (with or without neutral)	$\Delta U = \sqrt{3} I_B(R \cos \phi + X \sin \phi) L$	$\frac{100 \Delta U}{U_n}$

Berdasarkan tabel rumus di atas maka rumus tegangan jatuh dapat diidentifikasi sebagai berikut: (Mischler, 2016)

- I_B merupakan arus pada saat kondisi beban penuh (ampere).
- L merupakan panjang kabel yang digunakan pada instalasi listrik (kilometer).
- R merupakan resistansi yang terdapat pada kabel yang digunakan (Ω/km).

$$R_{\text{tembaga}} = \frac{23,7 \Omega\text{mm}^2/\text{km}}{S (\text{mm}^2)}$$

$$R_{\text{aluminium}} = \frac{37,6 \Omega\text{mm}^2/\text{km}}{S (\text{mm}^2)}$$

- X merupakan reaktansi induktif pada konduktor (Ω/km). X memiliki nilai sebesar $0,08 \Omega/\text{km}$. Nilai X dapat diabaikan jika luas penampang kabel lebih kecil dari 50 mm^2 .
- ϕ merupakan sudut fase antara tegangan dan arus dalam rangkaian yang dipertimbangkan. Secara umum:

Tabel 4. Nilai Sudut Fase

Jenis Beban	$\text{Cos } \phi$
Lampu LED	$> 0,9$
Motor Power (In Normal Service)	$0,8$

- U_n merupakan nilai tegangan pada antar fase (*phase to phase*).
- V_n merupakan nilai tegangan pada fase tunggal (*phase to netral*).

8. Arus Hubung Singkat (*Short Circuit*)

Arus Hubung Singkat (*Short Circuit*) merupakan batas arus maksimal yang dapat mengalir ke seluruh jaringan instalasi listrik. Dengan mengetahui besarnya arus hubung singkat maka dapat menentukan *breaking capacitor* yang akan digunakan. Arus hubung singkat biasa terjadi pada terminal sekunder

transformator distribusi dan pada instalasi distribusi.

- Arus Hubung Singkat (I_{SC}) pada Terminal Sekunder Transformator Distribusi (Mischler, 2016)

Arus hubung singkat pada terminal sekunder transformator distribusi dapat dihitung menggunakan rumus:

$$I_{SC} = \frac{I_n \times 100}{U_{SC}}$$

$$I_n = \frac{S \times 10^3}{U_{20} \sqrt{3}}$$

Dimana:

S = Kapasitas daya transformator (kVA)

U_{20} = Tegangan antar fase sisi sekunder transformator (volt)

I_n = Arus nominal trafo (ampere)

I_{SC} = Arus hubung singkat (ampere)

U_{SC} = Impedansi hubung singkat (%)

Tabel 5. Nilai USC

Transformer rating (kVA)	Usc in %	
	Oil-immersed	Cast-resin dry type
50 to 750	4	6
800 to 3200	6	6

- Arus Hubung Singkat (I_{SC}) 3-phase pada Instalasi Distribusi (Mischler, 2016; Mischler, 2016)

Arus Hubung Singkat (ISC) pada instalasi distribusi dapat dihitung menggunakan rumus:

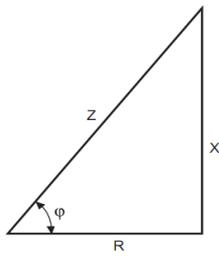
$$I_{SC} = \frac{U_{20}}{\sqrt{3} Z_T}$$

Dimana:

U_{20} = Tegangan antar fase sisi sekunder transformator (volt)

Z_T = total impedansi per fasa (Ω)

Komponen pada instalasi listrik berkarakteristik memiliki nilai Impedansi (Z) yang terdiri dari resistansi (R), dan reaktansi induktif (X). Namun memiliki kemungkinan bahwa reaktansi kapasitif tidak penting pada perhitungan arus hubung singkat. Nilai R , X , dan Z dinyatakan dalam Ohm dan saling berhubungan pada segitiga siku-siku seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. Diagram Impedansi
(Sumber: Electrical Installation Guide 2016)

Metode ini terdiri dari pembagian jaringan menjadi beberapa bagian untuk menghitung nilai R dan X. Dimana setiap bagian dihubungkan secara seri dalam jaringan, semua nilai resistansi dalam jaringan tersebut dijumlahkan (R_T), demikian juga pada reaktansi (X_T). Kemudian menghitung impedansi total (Z_T) menggunakan rumus:

$$Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2}$$

Berikut ini merupakan ketentuan perhitungan Impedansi pada komponen Instalasi Listrik:

1) Jaringan Awal pada Tegangan Rendah/Tegangan Menengah Transformator

Untuk melakukan perhitungan impedansi pada jaringan awal maka di perlukannya rumus sebagai berikut:

$$Z_s = \frac{U_0^2}{P_{sc}}$$

Dimana:

Z_s = Impedansi jaringan awal pada tegangan menengah ($m\Omega$)

U_0 = tegangan antar fase tanpa beban pada tegangan rendah (volt)

P_{sc} = MV 3-phase short-circuit fault level (kVA)

Tabel 6. Impedansi Jaringan Awal

Psc	U ₀ (V)	R _a (mΩ)	X _a (mΩ)
250 MVA	420	0.07	0.7
500 MVA	420	0.035	0.351

Pada jaringan awal (Tegangan Menengah) nilai resistansi Ra dapat diabaikandibandingkan dengan Xa, yang terakhir kemudian di ambil sebagai nilai

ohmik untuk Za. Jika diperlukan perhitungan yang lebih akurat, Xa dapat dianggap sama dengan 0,995 Za dan Ra dianggap sama dengan 0,1 Xa.

2) Transformator

Nilai Impedansi pada Transformator (Z_{tr}), dapat dilihat pada terminal tegangan rendah (LV terminal), diberikan rumus:

$$\Delta U\% = 100 \frac{\Delta U}{U_n}$$

Dimana:

U_{20} = Tegangan antar fase sisi sekunder transformator (volt)

S_n = Daya Transformator (VA)

U_{sc} = Impedansi hubung singkat (%)

Resistansi lilitan trafo (R_{tr}) dapat dihitung melalui total rugi-rugi daya, dengan menggunakan:

$$P_{cu} = 3 I_n^2 \times R_{tr}$$

$$R_{tr} = \frac{P_{cu} \times 10^3}{3 I_n^2}$$

Dimana:

P_{cu} = Total rugi-rugi daya (watt)

I_n = Arus nominal beban penuh (ampere)

R_{tr} = Resistansi 1-phase pada trafo ($m\Omega$)

Berikut rumus impedansi pada trafo:

$$X_{tr} = \sqrt{Z_{tr}^2 - R_{tr}^2}$$

Untuk perhitunga perkiraan, jika tidak adanya informasi yang lebih tepat tentang karakteristik transformer, maka Cenelec 50480 menyarankan untuk menggunakan pedoman jika U_{20} tidak diketahui maka dapat diasumsikan 1,05 U_n dan jika tidak adanya informasi yang lebih tepat maka dapat menggunakan $R_{tr} = 0,31 Z_{tr}$ dan $X_{tr} = 0,95 Z_{tr}$.

Berikut ini merupakan tabel nilai resistansi, reaktansi, dan impedansi tipe distribusi trafo 400V (tegangan tanpa beban = 420 V) dengan lilitan MV ≤ 30 kV :

Tabel 7. Nilai Resistansi, Reaktansi, dan Impedansi Pada Transformator

Rated Power (kVA)	Oil-immersed				Cast-resin			
	Usc (%)	Rtr (mΩ)	Xtr (mΩ)	Ztr (mΩ)	Usc (%)	Rtr (mΩ)	Xtr (mΩ)	Ztr (mΩ)
100	4	37.9	59.5	70.6	6	37.0	99.1	105.8
160	4	16.2	41.0	44.1	6	18.6	63.5	66.2
200	4	11.9	33.2	35.3	6	14.1	51.0	52.9
250	4	9.2	26.7	28.2	6	10.7	41.0	42.3
315	4	6.2	21.5	22.4	6	8.0	32.6	33.6
400	4	5.1	16.9	17.6	6	6.1	25.8	26.5
500	4	3.8	13.6	14.1	6	4.6	20.7	21.2
630	4	2.9	10.8	11.2	6	3.5	16.4	16.8
800	6	2.9	12.9	13.2	6	2.6	13.0	13.2
1000	6	2.3	10.3	10.6	6	1.9	10.4	10.6
1250	6	1.8	8.3	8.5	6	1.5	8.3	8.5
1600	6	1.4	6.5	6.6	6	1.1	6.5	6.6
2000	6	1.1	5.2	5.3	6	0.9	5.2	5.3

3) Busbar

Resistansi pada busbar umumnya diabaikan, sehingga impedansi semua reaktif memiliki nilai sekitar 0,15 mΩ/meter untuk sistem 50Hz dan 0,18 mΩ/meter untuk 60 Hz. Panjang untuk busbar LV mengandakan jarak antar barr untuk meningkatkan reaktansi sekitar 10% saja. Dalam praktiknya, hampir tidak pernah untuk memperkirakan panajang busbar yang terkait dengan papan hubung short-circuit.

4) Rangkaian Konduktor (Kabel)

Kabel merupakan konduktor yang memiliki resistansi yang dapat dihitung menggunakan rumus:

$$Rc = \rho \frac{L}{S}$$

Dimana:

ρ = Masa Jenis Konduktor Kabel

L = Panjang kabel (m)

S = luas penampang kabel (mm²)

Nilai masa jenis konduktor dapat di pengaruhi oleh suhu sekitar. Berdasarkan standar IEC60909-0 dan Cenelec TR 50480 maasa jenis konduktor yang dipengaruhi oleh sekitar dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 8. Massa Jenis Kabel Pengaruh Suhu dan Jenis Kabel

	20 °C	PR/XLPE 90 °C	PVC 70 °C
Copper	18.51	23.69	22.21
Alu	29.41	37.65	35.29

Nilai reaktansi kabel dapat diperoleh dari produsen. Untuk luas penampang kurang dari 50 mm² reaktansi dapat diabaikan. Jika tidak ada informasi lain maka dapat menggunakan nilai 0,08 mΩ/meter

untuk sistem 50 Hz atau 0,096 mΩ/meter untuk sistem 60 Hz.

5) Motor Induksi

Pada saat terjadi arus hubung singkat, motor yang bekerja akan bertindak sebagai generator untuk peridose yang singkat dan menimbulkan arus balik. Umumnya kontibusi arus gangguan tersebut akan diabaikan. Namun, jika total daya motor yang bekerja secara bersamaan lebih tinggi dari 25% dari total daya transformator, maka pengaruh motor harus diperhitungkan. Kontribusi total arus hubung singkat pada motor dapat diperkirakan dari rumus:

$$Iscm = 3,5 In$$

Dari masing-masing motor yaitu 3,5 mIn untuk m motor yang sama dan juga beroperasi secarabersamaan maka motor yang bersangkutan hanya akan menjadi motor 3 fase, kontibusi fase tunggal motor menjadi tidak signifikan.

Setelah dilakukan penjabaran perhitungan arus hubung singkat maka pada masing masing bagian yang terdapat pada instalasi listrik, dapat dilakukan rekapitulasi yaitu sebagai berikut:

Tabel 9. Rekapitulasi Perhitungan Arus Hubung Singkat

Supply network Figure G34	$Ra = 0.1$ $Xa = 0.995 Za$	$Za = \frac{U_{sc0}^2}{Pac}$
Transformer Figure G35	$Rtr = \frac{Pou \times 10^3}{3In^2}$, where $In = \frac{Sn \times 10^3}{U_{20V0}}$ Rtr is often negligible compared to Xtr for transformers > 100 kVA	$Xtr = \sqrt{Ztr^2 - Rtr^2}$ with $Ztr = \frac{U_{sc0}^2}{Ph} \times \frac{Usc}{100}$
Circuit-breaker	Not considered in practice	
Busbars	Negligible for S > 200 mm ² in the formula: $R = \rho \frac{L}{S}$	
Circuit conductors ⁽¹⁾	$R = \rho \frac{L}{S}$ Cables: $Xc = 0.08 \text{ m}\Omega/\text{m}$	
Motors	See Sub-clause 4.2 Motors (often negligible at LV)	
Three-phase maximum short circuit current in kA	$Isc = \frac{U_{sc0}}{\sqrt{3} \sqrt{Rr^2 + Xr^2}}$	

U_{sc0}: Phase-to-phase no-load secondary voltage of MV/LV transformer (in volts).
Pac: 3-phase short-circuit power at MV terminals of the MV/LV transformers (in kVA).
Pou: 3-phase total losses of the MV/LV transformer (in watts).
Sn: Rating of the MV/LV transformer (in kVA).
Usc: Short-circuit impedance voltage of the MV/LV transformer (in %).
R_r: Total resistance, X_r: Total reactance
(1) ρ = resistivity at 20°C.
(2) If there are several conductors in parallel per phase, then divide the resistance of one conductor by the number of conductors. The reactance remains practically unchanged.

III. ANALISIS DAN HASIL PERANCANGAN

A. Obyek Rancangan

Obyek bangunan untuk perancangan instalasi listrik pada tugas akhir ini yaitu Rumah Sakit Swasta dengan kapasitas 200

bed. Rumah Sakit Swasta ini dibagi menjadi 2 bangunan yaitu gedung *power house* dan medik sentral. Gedung medik sentral terdiri dari 5 lantai yaitu lantai 1, lantai 2, lantai 3, lantai 4, dan lantai atap.

B. Analisa Jumlah Titik Lampu

Berdasarkan Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2000, pencahayaan pada suatu ruangan harus memenuhi kriteria yang berlaku. Hal-hal yang perlu di perhatikan untuk menentukan jumlah titik lampu pada suatu ruangan yaitu luas ruangan, tingkat pencahayaan ruangan yang dibutuhkan, lumen lampu yang digunakan, faktor cahaya rugi, faktor pemanfaatan cahaya, dan jumlah lampu pada satu titik lampu. Berikut ini merupakan rumus perhitungan untuk menentukan jumlah titik lampu pada suatu ruangan:

$$N = \frac{E \times L \times W}{\phi \times LLF \times CU \times n}$$

Dimana:

N = Jumlah titik lampu

E = Kuat Penerangan / target kuat penerangan yang akan dicapai (Lux)

L = Panjang Ruangan (meter)

W = Lebar Ruangan (meter)

ϕ = Total Lumen Lampu (Lamp Luminous Flux)

LLF = Light Loss Factor / Faktor Cahaya Rugi (0,7-0,8)

CU = Coeffesien of Utilization / Faktor Pemanfaatan (50% - 100%)

n = Jumlah Lampu dalam 1 titik Lampu

Pada perancangan beban pencahayaan pada rumah sakit ini, perancang menggunakan 8 jenis lampu utama dan 2 jenis lampu bantu. Berikut merupakan tabel nama lampu yang digunakan:

Tabel 10. Jenis, Daya, dan Lumen Lampu yang Digunakan

No	Jenis Lampu	Daya Lampu	Lumen Lampu
1.	Downlight LED Inbow Cover Putih Susu (Utama)	8 Watt	750 LM
2.	Downlight LED Inbow Cover Putih Susu (Utama)	15 Watt	1250 LM

3.	Downlight LED Inbow Cover Putih Susu (Utama)	15 Watt	1100 LM
4.	Downlight LED Inbow Cover Putih Susu (Utama)	20 Watt	1950 LM
5.	Baret LED Outbow (Utama)	18 Watt	1000 LM
6.	TL LED Weather Proof (Utama)	18 Watt	1600 LM
7.	LED Light Panel (600x600)mm (Utama)	43 Watt	4100 LM
8.	LED Light Panel (1200x300)mm (Utama)	43 Watt	4100 LM
9.	Spot Light LED (Bantu)	5 Watt	350 LM
10.	Lampu Exit 2 Muka LED (Bantu)	10 Watt	800 LM

Berikut contoh perhitungan menentukan jumlah titik lampu pada Ruang UPS di lantai 1. Data-data yang diperoleh yaitu sebagai berikut:

- Luas ruangan (A): 15 m².
- Jenis lampu: TL LED Weather Proof, Daya: 18 Watt.
- Lumen lampu (ϕ): 1600 LM
- Faktor Pemanfaatan (CU): 80% / 0,8 (estimasi)
- Faktor Cahaya Rugi (LLF): 0,7 (estimasi)
- Kuat Penerangan Ruangan (Lux): 200 lux (SNI)
- Jumlah lampu 1 titik: 1 lampu

Perhitungan :

$$N = \frac{E \times A}{\phi \times LLF \times CU \times n}$$

$$N = \frac{200 \times 15}{1600 \times 0,7 \times 0,8 \times 1}$$

$$N = 3,348 \approx 3$$

Jadi, berdasarkan hasil perhitungan, kebutuhan jumlah titik lampu pada Ruang UPS sebanyak 3 titik lampu / 3 buah lampu TL LED Weather Proof 18 Watt.

Tabel 11. Jumlah Titik Lampu Lantai 1

No	Ruangan	Ø (LM)	N
1	Tangga TR	1000	1
2	Koridor M	1000	9
3	Tangga NK	1000	1
4	Ruang UPS	1600	3
5	Toilet	750	1
6	Rusng Linen	1250	1
7	Koridor Rawat Inap	1100	3
8	Toilet	750	1
9	R. Mesin	1600	2
10	R. Mesin	1600	1
11	R. Operator	4100	2
12	Lobby X-Ray	1250	3
13	Toilet	750	1
14	Toilet	750	1
15	R. Staf Rekam Medis	4100	4
16	R. Kep. Rekam Medis	4100	2
17	R. Rekam Medis Pasif	4100	7
18	R. Rekam Medis Pasif	4100	12
19	X-Ray Fluoroscopy	4100	12
20	Toilet	750	1
21	X-Ray	4100	8
22	Operator	4100	0
23	Toilet	750	1
24	Computed Radiography	4100	2
25	Pantry	1250	1
26	USG	4100	4
27	Toilet	750	1
28	Toilet	750	1
29	DP Cephalometry	4100	3
30	Dental X-Ray	4100	2
31	R. Dokter/Baca	4100	1
32	Mammography	4100	2
33	Mobile X-Ray	1250	1
34	Admisi Radiologi	4100	1
35	Koridor Radiologi	1250	13
36	Lobby Lift Medis	1250	3

No	Ruangan	Ø (LM)	N
37	R. Panel	1000	1
38	R. Ponek	4100	3
39	Toilet Pasien	750	1
40	Dirty Utility	1250	2
41	Observasi&Resusitasi	4100	7
42	Dekontaminasi	1250	1
43	MRI	4100	14
44	R. Kepala IGD	4100	2
45	Toilet	750	1
46	Air Lock	1250	1
47	R. Isolasi	4100	3
48	R. Tindakan	4100	3
49	Pantry	1250	1
50	Clean Utility	1250	1
51	Nurse Station	4100	2
52	Koridor IGD	1250	13
53	Farmasi IGD	4100	2
54	Admisi IGD	4100	1
55	K. 24 Jam A	1250	2
56	K. 24 Jam B	4100	1
57	R. Tunggu IGD	1250	3
58	Tangga Nk	1000	1
59	Tangga Nk	1600	9
60	Koridor	1600	18
61	Admisi Rawat Inap A	1250	2
62	Admisi Rawat Inap B	4100	2
63	Toilet	750	1
64	Toilet	750	1
65	Toilet	750	1
66	Toilet Staff	1250	1
67	Toilet Diffabel	1250	1
68	R. Komplain	4100	1
69	Arsip BPJS	4100	2
70	Back Office	4100	9
71	Koridor	1250	1
72	Audit BPJS	4100	1

No	Ruangan	Ø (LM)	N
73	Kantor Keuangan	4100	2
74	Kantor Bank	4100	2
75	Koridor	1250	6
76	Admisi BPJS A	4100	3
77	Admisi BPJS B	1250	11
78	FCC	4100	2
79	Tangga Nk	1000	1
80	Koridor Luar	1000	15
81	Tangga Tr	1000	1
82	R. Operator	4100	2
83	R. UPS	1250	1
84	CT Scan	4100	12
85	R. Deteksi Security	1250	3
86	Apotek	1250	11
87	R. Kepala	4100	1
88	R. Arsip	4100	1
89	R. Admin	4100	1
90	R. Kepala	4100	1
91	Toilet	750	1
92	R. Staff & R. Diskusi	1250	3
93	R. Obat Khusus	4100	1
94	R. Simpan Obat	4100	6
95	Tangga Tr-Nk	1600	7
96	R. Tamu	1250	1
97	R. Kepala	4100	1
98	Toilet	750	1
99	Pantry	1250	1
100	Arsip Asuransi	4100	1
101	Loket A	4100	3
102	Loket B	1250	4
103	Loket Apotik	4100	2
104	Lobby/R. Tunggu	1250	24
105	DropOff Main Lobby	1100	64
106	Void	1950	12

Tabel 12. Jumlah Titik Lampu Lantai 2

No	Ruangan	Ø (LM)	N
1	Tangga Nk-Tr	1000	2
2	SFL	1000	1
3	Janitor	1250	1
4	Toilet	750	1
5	Toilet	750	1
6	Toilet	750	1
7	Dirty Utility	1250	2
8	Koridor Dalam	1250	5
9	Klinik Mata	4100	4
10	K. Diabetik A	1250	3
11	K. Diabetik B	4100	1
12	K. Gigi	4100	4
13	Ruang Tindakan A	1250	3
14	Ruang Tindakan B	4100	1
15	K. THT A	1250	3
16	K. THT B	4100	1
17	K. Jantung A	1250	3
18	K. Jantung B	4100	1
19	R. Rapat	4100	3
20	K. Rehab Medis A	1250	3
21	K. Rehab Medis B	4100	1
22	K. Umum A	1250	3
23	K. Umum B	4100	1

No	Ruangan	Ø (LM)	N
24	Nurse Station	4100	1
25	Koridor Dokter	1250	7
26	Tangga Nk-Tr	1600	21
27	Koridor	1600	4
28	Lounge Staff	1250	3
29	Toilet	750	1
30	Lounge Dokter	1250	3
31	Toilet	750	1
32	Lobby Lift Medis	1250	4
33	Ruang Panel	1000	1
34	Cafeteria	4100	1
35	Ruang Tunggu	1250	48
36	R. Laktasi	1250	2
37	Head Nurse	4100	1
38	Ruang Obat	1250	1
39	K. Syaraf A	1250	3
40	K. Syaraf B	4100	1
41	K. Bedah Umum A	1250	3
42	K. Bedah Umum B	4100	1
43	K. Bedah Anak A	1250	3
44	K. Bedah Anak B	4100	1
45	K. Bedah Plastik A	1250	3
46	K. Bedah Plastik B	4100	1

No	Ruangan	Ø (LM)	N
47	K. Urologi A	1250	3
48	K. Urologi B	4100	1
49	K. Bedah Thorak / Kardio A	1250	3
50	K. Bedah Thorak / Kardio B	4100	1
51	K. Orthopedi A	1250	3
52	K. Orthopedi B	4100	1
53	K. Paru A	1250	3
54	K. Paru B	4100	1
55	Koridor Dokter	1250	7
56	Tangga Tr-Nk	1000	2
57	SFL	1000	1
58	Toilet	750	1
59	Toilet	750	1
60	Toilet	1250	2
61	Toilet	750	2
62	Toilet	1250	2
63	R. Sampling Dahak	750	1
64	R. Tunggu	1250	3
65	Koridor Dalam	1250	4
66	Nurse Station	4100	1
67	R. Tunggu&Koridor	1250	38

Tabel 13. Jumlah Titik Lampu Lantai 3

No	Ruangan	Ø (LM)	N
1	Tangga Nk-Tr	1000	2
2	SFL	1000	1
3	Mikro Biologi	4100	4
4	R. Tanam Kuman TB	1250	1
5	Air Lock	1250	1
6	R. Produksi	4100	2
7	Lab Hematologi	4100	4
8	Imunologi	4100	4
9	R. Dokter	4100	4
10	Koridor	1250	15
11	SH	1250	1
12	Janitor	750	1
13	Toilet	750	1
14	R. Kepala Lab Medik	4100	2
15	R. Reagen	4100	1
16	Lab Kimia-Klinik	4100	2
17	Lab Patologi Anatomi	4100	3
18	Bank Darah	4100	2
19	R. Makan MCU	1250	3
20	Toilet	750	1
21	Toilet	750	1
22	Toilet	750	1
23	R. Sampling	4100	1
24	Toilet	750	1
25	Toilet	750	1
26	R. Petugas Lab	4100	2
27	R. Penyajian Data	4100	2
28	R. Penyimpanan Data	1250	2
29	Admisi	1250	6
30	Koridor Dalam	1250	10

No	Ruangan	Ø (LM)	N
31	R. Cuci	1250	3
32	R. Terima	4100	2
33	R. Ganti Putra	1250	1
34	Toilet	750	1
35	Toilet	750	1
36	R. Ganti Putri	1250	1
37	Pantry	1250	2
38	Gd. Perbekalan	1250	2
39	R. Distribusi	1250	1
40	Koridor	1250	8
41	Janitor	1250	1
42	R. Kepala	4100	1
43	R. Staff	4100	1
44	R. Panel & UPS	1250	2
45	Packing	4100	2
46	R. Sterilisasi	4100	4
47	Gudang Steril	4100	8
48	Air Lock	1250	1
49	Tangga Nk-Tr	1600	21
50	Koridor	1600	4
51	Lobby Lift Medis	1250	4
52	R. Kosong	1000	1
53	Klinik 5 A	1250	3
54	Klinik 5 B	4100	1
55	Klinik 4 A	1250	3
56	Klinik 4 B	4100	1
57	Klinik 3 A	1250	3
58	Klinik 3 B	4100	1
59	Nurse Station	4100	1
60	R. Tunggu	1250	53

No	Ruangan	Ø (LM)	N
61	R. Laktasi	1250	1
62	Lounge Dokter	1250	1
63	Tindakan Obsgyn	4100	3
64	K. Obsgyn A	1250	3
65	K. Obsgyn B	4100	1
66	K. Anak A	1250	3
67	K. Anak B	4100	1
68	K. Gizi A	1250	3
69	Konsul Gizi B	4100	1
70	Koridor Dokter	1250	7
71	R. Staff	4100	1
72	R. Obat	1250	1
73	Klinik 2 A	1250	3
74	Klinik 2 (B)	4100	1
75	Klinik 1 (A)	1250	3
76	Klinik 1 (B)	4100	1
77	K. Kejiwaan A	1250	3
78	K. Kejiwaan B	4100	1
79	K. Kulit&Kelamin A	1250	3
80	K. Kulit&Kelamin B	4100	1
81	Koridor Dalam	1250	4
82	Tangga Tr-Nk	1000	2
83	SFL	1000	1
84	Toilet	750	1
85	Toilet	750	1
86	Toilet	1250	2
87	Toilet	750	2
88	Toilet	1250	2

Tabel 14. Jumlah Titik Lampu Lantai 4

No	Ruangan	Ø (LM)	N
1	Tangga Nk-Tr	1000	2
2	SFL	1000	1
3	Tangga	1250	1
4	Dirty Utility	1250	2
5	Janitor	1250	1
6	Koridor Kotor	1250	8
7	Air Lock	1250	1
8	R. Alat Kotor	4100	1
9	R. Alat Kotor	4100	1
10	Koridor Steril	4100	10
11	R. Kontrol	4100	2
12	RC Arm Mobile	1600	2
13	R. Kepala	4100	1
14	R. Diskusi	1250	6
15	Air Lock	1250	1
16	Tangga Nk-Tr	1600	12
17	Koridor	1600	4
18	Koridor	1250	2
19	Toilet	750	1
20	Toilet	750	1
21	R. Ganti Putra	1250	1
22	R. Ganti Putri	1250	1
23	Admisi Arsip R. OK	4100	1
24	R. Konsul Dokter	4100	1
25	Pantry	1250	1

No	Ruangan	Ø (LM)	N
26	R. Obat Perbekalan	1250	4
27	PreOp/R.Persiapan A	1250	4
28	Pre Op/R PersiapanB	4100	4
29	R. Transfer Brankar	1250	1
30	R. Linen	1250	1
21	Nurse Station	4100	3
32	R. Alat	1250	1
33	Gudang Alat Steril	1250	3
34	Post Op / R. Pemulihan A	1250	6
35	Lobby Lift	1250	6
36	R. Panel	1000	1
37	R. Konsul ICU	4100	1
38	Koridor&Lobby Lift	1250	9
39	Air Lock	1250	1
40	R. Transfer Brankar	1250	3
41	R. Ganti Putra	1250	1
42	R. Makan	1250	1
43	R. Ganti Putri	1250	1
44	Koridor	1250	4
45	Post Op / R. Pemulihan B	4100	6
46	R. Kepala ICU	4100	1
47	R. Dokter	1250	2
48	Toilet	750	1
49	Toilet	750	1
50	R. Perawat	1250	2

No	Ruangan	Ø (LM)	N
51	Koridor Bezoek	1250	5
52	HCU	4100	3
53	HCU	4100	3
54	HCU	4100	3
55	HCU	4100	3
56	HCU	4100	3
57	R. Obat	4100	1
58	Air Lock	1250	1
59	Pantry	1250	1
60	Dirty Utility	1250	2
61	Clean Utility	1250	1
62	Gudang Alat Medis	1250	1
63	R. Tunggu	1250	5
64	Westafle	750	0
65	Toilet	750	1
66	Janitor	1250	1
67	SFL	1000	1
68	Tangga Tr-Nk	1000	2
69	Koridor Bezoek	1250	9
70	ICU	4100	3
71	ICU	4100	3
72	ICU	4100	3
73	ICU	4100	3
74	Nurse Station	4100	2
75	Lobby ICU/HCU	1250	13

Tabel 15. Jumlah Titik Lampu Lantai Atap

No	Ruangan	Ø (LM)	N	No	Ruangan	Ø (LM)	N	No	Ruangan	Ø (LM)	N
1	Tangga Nk-Tr	1000	1	4	Machine Room	1600	5	7	AHU ICU	1250	13
2	AHU OK	1600	21	5	R. Panel	1000	1	8	R. Blower	4100	19
3	R. UPS OK	1600	4	6	R. Mesin RO	1250	5	9	R. UPS ICU	4100	2

C. Tata Udara

Perancangan tata udara dalam rumah sakit, besar kecilnya kebutuhan kapasitas AC dalam ruangan dipengaruhi oleh volume ruangan. Adapun ketentuan yang digunakan dalam perhitungan yaitu menggunakan asumsi besaran tetapan pendingin ruangan sebesar 200 BTUH/m³h, asumsi nilai kapasitas 1 PK sebesar 9000 BTUH, dan tinggi setiap ruangan setinggi 3,5 m. Berikut ini merupakan rumus perhitungan untuk menentukan kebutuhan besar kapasitas AC pada suatu ruangan:

$$\text{Kapasitas AC} = \frac{A \times h \times 200}{9000}$$

Keterangan:

A= Luas Ruangan (m²)
h= Tinggi Ruangan (m)

Pada perancangan beban tata udara / AC Indoor pada rumah sakit ini, perancang menggunakan 2 tipe AC. Berikut merupakan tabel tipe AC yang digunakan:

Tabel 16. Tipe, Kapasitas, dan Daya AC

No	Tipe AC	Kapasitas AC	Daya AC (watt)	Jumlah Fasa
1	Wall Mounted	0,5 PK	340	1 Fasa
		0,75 PK	540	1 Fasa

2	Ceiling Cassette	1 PK	690	1 Fasa
		1,5 PK	1090	1 Fasa
		2 PK	1832	1 Fasa
		2,5 PK	2100	1 Fasa
		2 PK	2070	1 Fasa
		3 PK	2530	3 Fasa
		3,5 PK	2730	3 Fasa
		4 PK	3310	3 Fasa
		5 PK	4150	3 Fasa
		6 PK	5040	3 Fasa

Berikut contoh perhitungan menentukan besar kapasitas AC yang digunakan pada Ruang UPS di lantai 1. Data-data yang diperoleh yaitu sebagai berikut:

- Luas ruangan (A): 16 m².
- Tinggi ruangan (h): 3,5 m.
- Besar tetapan pendingin ruangan: 200 BTUH/m³h
- Nilai kapasitas 1 PK: 9000 BTUH

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas AC} &= \frac{A \times h \times 200}{9000} \\ &= \frac{16 \times 3,5 \times 200}{9000} = 1,244 \approx 1,5 \end{aligned}$$

Jadi, berdasarkan hasil perhitungan, kebutuhan kapasitas AC pada Ruang UPS sebesar 1,5 PK / 1 buah AC *Wall Mounted Type* kapasitas 1,5 PK.

Tabel 17. Kapasitas AC Lantai 1

No	Nama Ruangan	Total Nilai PK AC	No	Nama Ruangan	Total Nilai PK AC	No	Nama Ruangan	Total Nilai PK AC
1	R. UPS	1,5	18	R. Komplain	0,75	35	R. Deteksi Security	0,75
2	MRI	4	19	Back Office	2,5	36	R. Tunggu IGD	1
3	Rekam Medik	0,75	20	Audit BPJS	0,5	37	Farmasi Igd	0,75
4	R. Mesin	0,5	21	Kantor Keuangan	1	38	Admisi Igd	0,5
5	Operator	0,75	22	Ruang Tamu	0,5	39	Klinik 24 Jam	0,75
6	X-Ray Fluroscopy	2,5	23	R. Kepala	0,5	40	R. Tindakan	1
7	X-Ray	1,5	24	FCC	0,5	41	R. Isolasi	1
8	Operator	0,5	25	CT Scan	2,5	42	R. Kepala Gigi	0,5
9	Computed Radiography	0,75	26	R. Operator	0,5	43	R. Ponok	1,5
10	USG	1	27	R. Simpan Obat Khusus	0,5	44	R. Staff Rekam Medis	2
11	DP Cephalometry	1	28	R. Simpan Obat	2,5	45	R. Kepala Rekam Medis	0,75
12	Dental X-Ray	0,5	29	R. Staff/R. Diskusi	1	46	Rekam Medik	8
13	R. Dokter/R. Baca	0,5	30	R. Kepala	0,5	47	Main Lobby	16

14	Lobby Lift Medis	1,5
15	Mammography	0,75
16	Admisi Radiologi	2,5
17	Admisi Rawat Inap	1,5

21	R. Admin	0,5
32	Dispensing & Racik	2,5
33	Kantor Bank	0,75
34	R. Kepala	0,5

48	Admisi BPJS	4
49	IGD	8

Tabel 18. Kapasitas AC Lantai 2

No	Nama Ruangan	Total Nilai PK AC
1	Klinik Mata	1,5
2	Klinik Gigi	1,5
3	Klinik Tht	1,5
4	R. Rapat	1,5
5	Klinik Umum	1,5
6	Klinik Diabetik	1,5
7	R. Tindakan	1,5
8	Klinik Jantung	1,5
9	Klinik Rehab Medis	1,5

No	Nama Ruangan	Total Nilai PK AC
10	Koridor Dokter	1,5
11	Lounge Staff	0,75
12	Lounge Dokter	0,75
13	Lobby Lift Medis	1
14	R. Laktasi	0,75
15	Klinik Syaraf	1
16	Klinik Bedah Anak	1
17	Klinik Urologi	1
18	Klinik Orthopedi	1

No	Nama Ruangan	Total Nilai PK AC
19	Klinik Paru	1
20	Lobby Sampling Dahak	1
21	Klinik Bedah Thorak/Kardio	1
22	Klinik Bedah Plastik	1
23	Klinik Bedah Umum	1
24	Head Nurse	0,5
25	R. Obat	0,5
26	Koridor Dokter	1,5
27	Lobby Dan R.Tunggu	40

Tabel 19. Kapasitas AC Lantai 3

No	Nama Ruangan	Total Nilai PK AC
1	R. Produksi	0,75
2	Lab. Hematologi	1,5
3	Lab. Imunologi	1,5
4	R. Dokter	1
5	R. Diskusi / Istirahat	1
6	R. Penyajian Data	1
7	Admisi	2
8	Lobby Lift Medis	1,5
9	R. Sampling	0,5
10	R. Makan Mcu	0,75
11	Bank Darah	1
12	Lab Patologi Anatomi	1,5
13	Lab Kimia Klinik	0,75

No	Nama Ruangan	Total Nilai PK AC
14	R. Reagen	0,5
15	R. Kepala Lab Medik	0,5
16	R. Terima	1
17	R. Kepala	1
18	R. Staf	1
19	R. Panel Ups	0,75
20	Packing	1
21	R. Sterilisasi	1
22	R. Distribusi	0,5
23	Klinik 5	1
24	Klinik 4	1
25	Klinik 3	1
26	R. Obat	1

No	Nama Ruangan	Total Nilai PK AC
27	R. Staff	0,5
28	Klinik 2	1
29	Klinik 1	1,5
30	Klinik Kejiwaan Psikiater	1,5
21	Klinik Kulit&Kelamin	1,5
32	Konsul Gizi	1,5
33	Klinik Anak	1,5
34	Klinik Obsygn	1,5
35	Tindakan Obsygn	1,5
36	Lounge Dokter	0,5
37	R. Laktasi	0,5
38	Gudang Perbekalan	1
39	Lobby Dan R.Tunggu	21

Tabel 20. Kapasitas AC Lantai 4

No	Nama Ruangan	Total Nilai PK AC
1	R. Kontrol	0,5
2	R. Kepala	0,5
3	RC Arm Mobile	0,5
4	R. Dokter & R. Diskusi	2
5	R. Obat Perbekalan	1

No	Nama Ruangan	Total Nilai PK AC
6	Admisi	0,5
7	R. Konsul Dokter	0,5
8	R. Konsul ICU	0,5
9	R. Obat	0,5
10	R. Perawat	1

No	Nama Ruangan	Total Nilai PK AC
11	R. Dokter	1
12	R. Kepala ICU	0,5
13	R. Tunggu ICU	2
14	Lobby Lift / R. Tunggu OK	2
15	Lobby Lift Medis	4

Tabel 21. Kapasitas AC Lantai Atap

No	Nama Ruangan	Total Nilai PK AC
1	R. UPS OK	2

No	Nama Ruangan	Total Nilai PK AC
2	Machine Room	3

No	Nama Ruangan	Total Nilai PK AC
3	R. UPS ICU	1

D. Skedul Beban

1. Kabel Instalasi

Berdasarkan standar PUIL 2011, spesifikasi kabel yang akan digunakan pada instalasi penerangan dan kotak kontak pada gedung rumah sakit swasta ini yaitu:

- Pada instalasi penerangan akan menggunakan kabel NYM 3 inti untuk fasa, netral, dan ground dengan luas penampang kabel 1,5 mm² (NYM 3 x 1,5 mm²).
- Pada instalasi kotak kontak akan menggunakan kabel NYM 3 inti untuk fasa, netral, dan ground dengan

luas penampang kabel 2,5 mm² (NYM 3 x 2,5 mm²).

- c. Pada instalasi AC akan menggunakan kabel NYM 3 inti untuk fasa, netral, dan ground dengan luas penampang kabel 2,5 mm² (NYM 3 x 2,5 mm²) untuk AC 1 fasa dan kabel NYM 4 inti untuk R, S, T, dan netral dengan luas penampang kabel 4 mm² (NYM 4 x 4 mm²) untuk AC 3 fasa

2. Perhitungan dan Perancangan Skedul Beban

Berikut contoh perhitungan dan perancangan skedul beban pada PP Power House:

- a. MCB Group 1 (Penerangan)

- 1) Beban terpasang:
 - Baret LED Outbow 18 W x 13 buah = 156 W
 - TL LED Weather Proof 18W x 18 buah = 324 W
- 2) Total daya beban (P) = 480 W
- 3) Tegangan (V) / Frekuensi (F) / Fasa = 220 V / 50 Hz / 1 Fasa
- 4) Asumsi Cos ϕ = 0,85
- 5) Arus beban terpasang:

$$I = \frac{P}{V \times \cos \phi}$$
$$I = \frac{480}{220 \times 0,85} = 2,297 \text{ A}$$

- b. MCB Group 2 (Kotak Kontak)

- 1) Beban terpasang:
 - Kotak kontak dinding 100 W x 6 buah = 600 W
- 2) Total daya beban (P) = 600 W
- 3) Tegangan (V) / Frekuensi (F) / Fasa = 220 V / 50 Hz / 1 Fasa
- 4) Asumsi Cos ϕ = 0,85
- 5) Arus beban terpasang:

$$I = \frac{P}{V \times \cos \phi}$$
$$I = \frac{600}{220 \times 0,8} = 3,409 \text{ A}$$

- c. MCB Group 3 (Wall Exhaust Fan)

- 1) Beban terpasang:
 - Industrial Wall Exhaust Fan 1000 CFM 550 W x 5 buah = 2750 W
- 2) Total daya beban (P) = 2750 W
- 3) Tegangan (V) / Frekuensi (F) / Fasa = 380 V / 50 Hz / 3 Fasa
- 4) Asumsi Cos ϕ = 0,7
- 5) Arus beban terpasang:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times VLL \times \cos \phi}$$
$$I = \frac{2750}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,7}$$

$$I = 9,021 \text{ A}$$

- d. MCB Group 4 (Wall Exhaust Fan)

- 1) Beban terpasang:
 - Industrial Wall Exhaust Fan 1600 CFM 650 W x 4 buah = 2600 W
- 2) Total daya beban (P) = 2600 W
- 3) Tegangan (V) / Frekuensi (F) / Fasa = 380 V / 50 Hz / 3 Fasa
- 4) Asumsi Cos ϕ = 0,7
- 5) Arus beban terpasang:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times V \times \cos \phi}$$
$$I = \frac{2600}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,8} = 8,529 \text{ A}$$

- e. Pembagian Arus Beban ke Fasa R, S, dan T

Total arus beban dari seluruh group dibagi ke dalam fasa R, S, dan T. Pembagian arus beban ini bertujuan untuk mensterilkan atau mendekati setara untuk pembebanan yang terpasang pada ketiga fasa tersebut. Pembagian arus beban dapat dilihat pada bab lampiran. Pembagian arus beban yang terpasang pada panel ini, yaitu:

- 1) Fasa R (I_R) = 17,6 A
- 2) Fasa S (I_S) = 21,0 A
- 3) Fasa T (I_T) = 19,8 A

- f. *Circuit Breaker* Utama (PUIL 2011)

- 1) Arus beban terpasang (I_{Beban}) = 21,0 A (diambil arus yang paling

besar dari hasil pembagian arus beban R, S, dan T)

- 2) Jenis CB yang dipilih = MCCB 3 fasa (*moulded case circuit breaker*) tipe fix, karena memiliki daya tahan terhadap panas yang cukup tinggi.
- 3) Rating MCCB batas minimal yaitu 115% dari arus beban penuh terpasang. Batas rating MCCB yang dipilih yaitu 150%. Pemilihan rating MCCB berdasarkan nilai rating batas minimal arus beban ditambah dengan asumsi besar beban cadangan (*spare*) bertujuan untuk kemungkinan penambahan beban pada masa yang akan datang.

$$\text{Rating MCCB} = 150\% \times I_{\text{beban}}$$

$$\text{Rating MCCB} = 150\% \times 21,0$$

$$\text{Rating MCCB} = 31,5 \approx 40 \text{ A}$$

g. Kabel *Feeder* (Tenaga) (PUIL 2011)

- 1) Kapasitas Hantar Arus (KHA) minimal untuk kabel (I_{KHA}):

$$I_{KHA} = \text{Rating}_{MCCB} \times 125\%$$

$$I_{KHA} = 40 \times 125\% = 50 \text{ A}$$
- 2) Jenis kabel *feeder* yang dipilih yaitu NYY (Cu/PVC/PVC) 4 inti untuk R, S, T, dan N
- 3) Luas penampang kabel feeder (A_{feeder}) yang dipilih yaitu 10 mm² (KHA = 68 A)

h. Kabel *Grounding* (Pembumian) (PUIL 2011)

- 1) Jenis kabel *grounding* yang dipilih yaitu BCC (*Bare Copper Conductor*) 1 inti.
- 2) Luas penampang kabel *grounding* ($A_{\text{grounding}}$) sama dengan luas penampang kabel *feeder* (A_{feeder}), jika $A_{\text{feeder}} \leq 16\text{mm}^2$. Jadi, $A_{\text{grounding}}$ yang digunakan sebesar 10 mm².

i. Komponen Lainnya

- 1) Kotak panel, berfungsi sebagai tempat dan pelindung peralatan panel listrik.
- 2) Busbar untuk fasa R, fasa S, fasa T, netral, dan ground, berfungsi sebagai terminal.
- 3) MCB cadangan 3 buah, berfungsi sebagai cadangan (*spare*) atau untuk pemenuhan kebutuhan yang akan datang.
- 4) *Pilot Lamp* lengkap dengan sekring, berfungsi sebagai lampu indikator tiap fasa.

Berikut adalah hasil perhitungan dan perancangan beban dan arus pada skedul beban panel yang lain:

Tabel 22. Pembagian Arus Beban Normal Pada LVMDP

No	Panel / Fungsi	Beban Normal				
		(KVA)	(KW)	R	S	T
1	SDP Gedung	915,61	736,2	1386	1387	1396
2	PP Hydrant	18,75	15,00	28,41	28,41	28,41
3	PP Power House	10,27	5,14	14,04	16,77	15,88

No	Panel / Fungsi	Beban Normal				
		(KVA)	(KW)	R	S	T
4	PP Gas Medis	25,00	20,00	37,88	37,88	37,88
5	SDP Pompa	18,85	15,08	28,56	28,56	28,56

Tabel 23. Pembagian Arus Beban Normal Pada SDP Gedung Medik Sentral

No	Panel / Fungsi	Beban Normal				
		(KVA)	(KW)	R	S	T
1	SDP Lift & Press Fan	37,50	30,00	56,98	56,98	56,98
2	PP Elektronik	11,94	10,15	18,72	14,97	20,59
3	PK PSA Hujan 1	1,88	1,50	2,84	2,84	2,84
4	PK PSA Hujan 2	1,88	1,50	2,84	2,84	2,84
5	PK PSA Limbah 1	1,88	1,50	2,84	2,84	2,84
6	PK PSA Limbah 2	1,88	1,50	2,84	2,84	2,84
7	PK PSA Limbah 3	1,88	1,50	2,84	2,84	2,84
8	PP 1	31,01	25,84	46,50	47,16	47,31
9	PPAC 1	51,61	41,24	77,79	78,04	78,75

No	Panel / Fungsi	Beban Normal				
		(KVA)	(KW)	R	S	T
13	PPAC 2	40,79	32,57	61,48	61,96	61,96
14	PK Dumb Waiter	2,67	2,00	4,04	4,04	4,04
15	PP 3	16,55	13,81	24,59	25,33	25,32
16	PPAC 3	33,55	26,82	50,92	50,81	50,78
17	PP CSSD	39,87	31,90	59,16	59,50	62,57
18	PP LAB	10,52	8,40	15,37	16,23	16,23
19	PK AC CSSD (6 PK)	16,19	12,95	24,60	24,60	24,60
20	PK AC MIKRO (6 PK)	16,19	12,95	24,60	24,60	24,60
21	PP 4	13,45	11,23	20,34	20,10	20,69

10	PP Radiologi	287,50	230,0	436,8	436,8	436,8
11	PP IGD	3,90	3,12	6,14	5,45	6,14
12	PP 2	11,51	9,65	16,78	17,98	17,57

22	PPAC 4	9,94	7,95	14,69	14,69	15,81
23	SDP Clean Room	258,15	207,3	391,9	394,1	390,4
24	SDP Atap	13,39	10,82	20,62	19,47	20,79

Berdasarkan data **Tabel 22** dan **Tabel 23**, melalui perhitungan yang sama maka dapat diperoleh arus beban terbesar dari RST (I_B), rating MCCB yang di gunakan, spesifikasi

kabel tenaga/*feeder* (luas penampang dan KHA kabel), dan spesifikasi kabel pembumian/*grounding* (luas penampang). Berikut adalah tabel rekapitulasinya:

Tabel 24. Rerkapitulasi Spesifikasi MCCB, Kabel Tenaga, dan Kabel Pembumian Beban LVMDP

No	Panel	I_B (A)	MC CB (A)	Feeder		A_G (mm ²)
				A (mm ²)	KHA (A)	
1	SDP Gedung	1396,1	1700	4x300	4x577	4x150
2	PP Hydrant	206,5	310	185	405	93
3	PP Power House	21	40	10	68	10

No	Panel	I_B (A)	MC CB (A)	Feeder		A_G (mm ²)
				A (mm ²)	KHA (A)	
4	PP Gas Medis	37,9	60	16	90	16
5	SDP Pompa	38,6	50	10	68	10

Tabel 25. Rerkapitulasi Spesifikasi MCCB, Kabel Tenaga, dan Kabel Pembumian Beban SDP Gedung Medik Sentral

No	Panel	I_B (A)	MC CB (A)	Feeder		A_G (mm ²)
				A (mm ²)	KHA (A)	
1	SDP Lift & Press Fan	114	175	95	266	50
2	PP Elektronik	29,4	45	10	68	10
3	PK PSA Hujan 1	2,84	12	1,5	22	1,5
4	PK PSA Hujan 2	2,84	12	1,5	22	1,5
5	PK PSA Limbah 1	2,84	12	1,5	22	1,5
6	PK PSA Limbah 2	2,84	12	1,5	22	1,5
7	PK PSA Limbah 3	2,84	12	1,5	22	1,5
8	PP 1	78,8	120	50	173	25
9	PPAC 1	131,2	200	95	266	48
10	PP Radiologi	436,8	505	400	643	200
11	PP IGD	10,2	20	2,5	29	2,5
12	PP 2	30	50	10	68	10

No	Panel	I_B (A)	MC CB (A)	Feeder		A_G (mm ²)
				A (mm ²)	KHA (A)	
13	PPAC 2	103,3	155	70	215	35
14	PK Dumb Waiter	2,84	12	1,5	22	1,5
15	PP 3	42,2	65	16	90	16
16	PPAC 3	84,9	130	50	173	25
17	PP CSSD	104,3	160	70	215	35
18	PP LAB	27	45	10	68	10
19	PK AC CSSD (6 PK)	49,2	75	25	121	16
20	PK AC MIKRO (6 PK)	49,2	75	25	121	16
21	PP 4	34,5	55	10	68	10
22	PPAC 4	26,4	40	10	68	10
23	SDP Clean Room	394,1	500	400	643	200
24	SDP Atap	20,8	35	6	50	6

Setelah melakukan perhitungan beban pada gedung rumah sakit maka diperoleh data-data total kebutuhan daya dan arus yang digunakan pada gedung rumah sakit. Data-data pembebanan yang diperoleh terbagi menjadi 3 bagian yaitu beban tersambung, beban normal (beban tersambung yang dipengaruhi oleh faktor keserempakan), dan beban emergency (beban yang selalu dalam keadaan standby/aktif dalam keadaan apapun). Berikut merupakan data-data hasil total daya dan arus di masing masing bagian:

a. Beban Tersambung

- Daya Semu = 1.866,2 kVA
- Daya Aktif = 1.491,8 kW
- Arus Fasa R = 2.824,0 A
- Arus Fasa S = 2.829,3 A
- Arus Fasa T = 2.842,6 A

b. Beban Normal

- Daya Semu = 1.010,1 kVA
- Daya Aktif = 806,5 kW
- Arus Fasa R = 1.527,9 A
- Arus Fasa S = 1.531,4 A
- Arus Fasa T = 1.539,6 A

c. Beban Emergency

- Daya Semu = 204,5 kVA
- Daya Aktif = 164,2 kW
- Arus Fasa R = 310,7 A
- Arus Fasa S = 307,0 A
- Arus Fasa T = 312,6 A

Berdasarkan data diatas maka dapat dilakukannya perhitungan rating MCCB Utama pada LVMDP yaitu sebagai berikut:

- a. Arus beban terpasang (I_{Beban}) = 1.539,6 A (diambil arus yang paling besar dari hasil pembagian arus beban R, S, dan T pada beban normal)

- b. Jenis CB yang dipilih = MCCB 3 fasa (*moulded case circuit breaker*) tipe fix, karena memiliki daya tahan terhadap panas yang cukup tinggi.
- c. Rating MCCB batas minimal yaitu 115% dari arus beban penuh terpasang. Batas rating MCCB yang dipilih yaitu 120%. Pemilihan rating MCCB berdasarkan nilai rating batas minimal arus beban ditambah dengan asumsi besar beban cadangan (*spare*) bertujuan untuk kemungkinan penambahan beban pada masa yang akan datang.

$$\begin{aligned} \text{Rating MCCB} &= 120\% \times I_{\text{beban}} \\ \text{Rating MCCB} &= 120\% \times 1.539,6 \\ \text{Rating MCCB} &= 1.847,5 \approx 2.000 \text{ A} \end{aligned}$$

E. Perbaikan Faktor Daya (Kapasitor Bank)

Langkah pertama untuk melakukan perbaikan daya dengan menggunakan kapasitor bank yaitu menghitung daya reaktif (Q) sebelum perbaikan daya.

$$\begin{aligned} Q &= \sqrt{S^2 - P^2} \\ Q &= \sqrt{(1.010,1 \text{ kVA})^2 - (806,5 \text{ kW})^2} \\ Q &= 608,1 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

Langkah kedua yaitu menghitung Cos Φ sebelum perbaikan.

$$\begin{aligned} \text{Cos } \Phi &= \frac{P}{S} \\ \text{Cos } \Phi &= \frac{806,5 \text{ kW}}{1.010,1 \text{ kVA}} \\ \text{Cos } \Phi &= 0,8 \end{aligned}$$

Langkah ketiga yaitu menghitung daya semu (S) dengan Cos Φ yang diinginkan (Cos $\Phi = 0,90$).

$$\begin{aligned} S' &= \frac{P}{\text{Cos } \Phi} \\ S' &= \frac{806,5 \text{ kW}}{0,90} \\ S' &= 896,1 \text{ kVA} \end{aligned}$$

Langkah keempat yaitu menghitung daya reaktif perbaikan (Q') dengan menggunakan daya semu perbaikan (S').

$$Q' = \sqrt{(S')^2 - (P)^2}$$

$$\begin{aligned} Q' &= \sqrt{(896,1 \text{ kVA})^2 - (806,5 \text{ kW})^2} \\ Q' &= 390,6 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

Langkah kelima yaitu menghitung kapasitas kapasitor bank (C) yang dibutuhkan untuk mencapai Cos Φ sebesar 0,90.

$$\begin{aligned} C &= Q - Q' \\ C &= 608,1 \text{ kVAR} - 390,6 \text{ kVAR} \\ C &= 217,5 \text{ kVAR} \end{aligned}$$

Jadi, kapasitas kapasitor bank yang digunakan/dipasang yaitu kombinasi 5 x 50 kVAR (250 kVAR).

F. Kebutuhan Kapasitas Generator Set dan Transformator

Diketahui bahwa kapasitas generator dan transformator tidak dapat memenuhi kebutuhan secara sepenuhnya untuk pembebanan normal maksimal. Berdasarkan asumsi yang ada, dari kapasitas generator dan transformator hanya akan memenuhi kebutuhan beban tidak lebih dari 80% dari total daya beban normal maksimal. Besarnya prosentase asumsi kapasitas dilatarbelakangi karena adanya beberapa pertimbangan yaitu adanya faktor ideal keamanan operasi, menjaga umur pemakaian, danantisipasi penggunaan cadangan. Dari hasil perbaikan faktor daya, diketahui bahwa besar daya semu beban normal maksimal sebesar 882,4 kVA, maka kapasitas generator dan transformator yang digunakan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{a. Kapasitas Transformator} \\ \frac{\text{Kapasitas Transformator}}{\text{Daya Total Beban (kVA)}} &= \frac{882,4 \text{ kVA}}{80\%} \\ &= \frac{882,4 \text{ kVA}}{80\%} = 1.103 \text{ kVA} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. Kapasitas Generator} \\ \frac{\text{Kapasitas Generator}}{\text{Daya Total Beban (kVA)}} &= \frac{882,4 \text{ kVA}}{80\%} \\ &= \frac{882,4 \text{ kVA}}{80\%} = 1.103 \text{ kVA} \end{aligned}$$

Berdasarkan brosur generator dan transformator yang ada, maka generator dan

transformator yang akan digunakan memiliki kapasitas 1250 kVA.

G. Kebutuhan Daya PLN

Untuk menentukan kapasitas kebutuhan daya PLN yang akan tersambung untuk menyuplai seluruh beban rumah sakit mengacu pada total daya beban normal maksimal dan kapasitas daya PLN yang tersedia untuk pelanggan tegangan menengah. Berdasarkan hasil perhitungan diketahui daya beban normal maksimal setelah perbaikan faktor daya sebesar 882,4 kVA, sehingga berdasarkan kapasitas daya listrik PLN tegangan menengah yang tersedia maka rumah sakit swasta ini akan mendapatkan suplai daya listrik PLN sebesar 1.110 kVA.

H. Perhitungan Tegangan Jatuh

Tegangan jatuh merupakan penyusutan yang terjadi pada tegangan jaringan distribusi, dimana drop tegangan ini menyebabkan terjadinya perbedaan tegangan penerima yang lebih kecil dari tegangan sumber. Jatuh tegangan dipengaruhi oleh kabel yang memiliki nilai impedansi / hambatan dalam. Jatuh tegangan memiliki hubungan yang saling berbanding lurus dengan panjang kabel, dimana semakin panjang kabel maka jatuh tegangan akan semakin besar begitu juga sebaliknya. Namun tegangan jatuh memiliki hubungan yang berbanding terbalik dengan luas penampang kabel, dimana semakin luas penampang kabel maka tegangan jatuh akan semakin kecil begitu juga sebaliknya. Berdasarkan dasar teori dan langkah perhitungan yang ada, berikut ini salah satu perhitungan tegangan jatuh pada instalasi listrik rumah sakit dari transformator ke LVMDP:

- Jenis kabel: NYY 5 x (4x1x300mm²) (Tembaga)
- Arus beban penuh (I_B): (arus output tarafa)

$$I = \frac{\text{Kapasitas Trafo}}{\sqrt{3} \times VLL}$$

$$I = \frac{1.250 \times 10^3 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 400}$$

$$I = 1.804,22 \text{ A}$$

- c. Panjang kabel: 20 meter = 0,02 km

- d. Resistansi kabel (R):

$$R_{Cu} = \frac{23,7 \Omega \text{mm}^2}{A \text{mm}^2}$$

$$R_{Cu} = \frac{23,7 \Omega \text{mm}^2}{4 \times 300 \text{mm}^2}$$

$$R_{Cu} = 0,01975 \Omega$$

- e. Reaktansi (X): 0,08 Ω/km (A ≥ 50 mm², 300 mm² ≥ 50 mm²)

- f. Cos Φ dan Sin Φ

$$\text{Cos } \Phi = 0,91$$

$$\Phi = \text{Cos}^{-1} 0,91$$

$$\Phi = 24,49^\circ$$

$$\text{Sin } \Phi = \text{Sin } 24,49^\circ$$

$$\text{Sin } \Phi = 0,41$$

- g. Perhitungan Vdrop (ΔV)

- Dalam Voltase (V)

$$\Delta V = \sqrt{3} \times I_B \times (R \text{ Cos } \Phi + X \text{ Sin } \Phi) \times L$$

$$\Delta V = \sqrt{3} \times 1.804,22 \times \left(\frac{(0,01975 \times 0,91)}{(0,08 \times 0,41)} \right) \times 0,02$$

$$\Delta V = 3.125 \times (0,0179725 + 0,033) \times 0,02$$

$$\Delta V = 3.125 \times 0,051 \times 0,02$$

$$\Delta V = 3,1875 \text{ V}$$

- Dalam Prosentase (%)

$$\% \Delta V = \frac{100 \times \Delta V}{U_n}$$

$$\% \Delta V = \frac{100 \times 3,1875}{400} = 0,797 \%$$

Jadi, pada kabel yang menghubungkan transformator dengan LVMDP terjadi tegangan jatuh sebesar 3,1875 V atau 0,797 % dari tegangan 3 fasa.

Berdasarkan perhitungan tegangan jatuh pada jaringan distribusi LVMDP ke panel beban LVMDP dan SDP Gedung Medik Sentral ke panel beban SDP Gedung Medik Sentral, diketahui tegangan jatuh yang paling besar yaitu sebesar 1,86% pada jaringan SDP Gedung Medik Sentral ke PP Atap.

I. Perhitungan Arus Hubung Singkat

Arus hubung singkat bisa terjadi pada transformator dan instalasi distribusi. Nilai arus hubung singkat dipengaruhi oleh jauh dekatnya jarak antara pembebanan dengan sumber tenaga listrik. Nilai arus hubung singkat memiliki nilai berbanding terbalik dengan jarak beban dengan sumber. Semakin jauh jarak pembebanan dengan sumber tenaga listrik maka nilai arus hubung singkat akan semakin kecil.

Adapun besar kecilnya nilai arus hubung singkat juga dipengaruhi oleh impedansi kabel (Z). Nilai arus hubung singkat berbanding terbalik dengan nilai impedansi kabel. Semakin besar nilai impedansi kabel maka nilai arus hubung singkat akan semakin kecil. Berikut merupakan perhitungan resistansi (R) dan reaktansi (X) pada jaringan distribusi rumah sakit:

a. Jaringan Tegangan Menengah

- $P_{SC} = 1.110 \text{ kVA} = 1.110.000 \text{ VA}$

- $U_n = 400 \text{ V}$

- $U_{20} = U_n \times 1,05 = 400 \text{ V} \times 1,05 = 420 \text{ V}$

- Perhitungan Z_a :

$$Z_a = \frac{U_{20}^2}{P_{SC}}$$

$$Z_a = \frac{(420)^2}{1.110.000}$$

$$Z_a = 0,159$$

- Perhitungan X_a :

$$X_a = 0,995 \times Z_a$$

$$X_a = 0,995 \times 0,159$$

$$X_a = 0,158 \text{ m}\Omega$$

- Perhitungan R_a :

$$\frac{R_a}{X_a} = 0,1$$

$$\frac{R_a}{0,159} = 0,1$$

$$R_a = 0,0159 \text{ m}\Omega$$

b. Trafo Distribusi (Standar Cenelec 50480)

- Tegangan: 20 kV / 400 V

- $U_n = 400 \text{ V}$

- $S_n = 1.250 \text{ kVA} = 1.250.000 \text{ VA}$

- $U_{SC} = 6 \%$ (lihat **Tabel 5.**)

- Perhitungan U_{20} :

$$U_{20} = U_n \times 1,05$$

$$U_{20} = 400 \times 1,05 = 420 \text{ V}$$

- Perhitungan Z_{tr} :

$$Z_{tr} = \frac{U_{20}^2}{S_n} \times U_{sc}$$

$$Z_{tr} = \frac{420^2}{1.250.000} \times 0,06$$

$$Z_{tr} = 0,0085 \Omega = 8,5 \text{ m}\Omega$$

- Perhitungan R_{tr} :

$$R_{tr} = 0,31 \times Z_{tr}$$

$$R_{tr} = 0,31 \times 8,5$$

$$R_{tr} = 2,635 \text{ m}\Omega$$

- Perhitungan X_{tr} :

$$X_{tr} = 0,95 \times Z_{tr}$$

$$X_{tr} = 0,95 \times 8,5$$

$$X_{tr} = 8,075 \text{ m}\Omega$$

c. Distribusi Transformator-LVMDP

- Panjang kabel (L) = 20 meter

- Jenis kabel = Tembaga (Cu)

- Hambatan jenis kabel (ρ) = $18,51 \text{ m}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

- Luas penampang kabel (A) = $\text{NYY } 5 \times (4 \times 1 \times 300 \text{ mm}^2)$

- Reaktansi kabel (X_c) = $0,08 \text{ m}\Omega/\text{m}$

- Perhitungan R_c :

$$R_c = \frac{\rho}{\sum \text{Inti Kabel}} \times \frac{L}{A}$$

$$R_c = \frac{18,51}{5} \times \frac{20}{1200}$$

$$R_c = 0,0617 \text{ m}\Omega$$

- Perhitungan X_c :

$$X_c = 0,08 \times L$$

$$X_c = 0,08 \times 20$$

$$X_c = 1,6 \text{ m}\Omega$$

Setelah melakukan perhitungan data resistansi (R) dan reaktansi (X) pada masing masing distribusi melalui panel utama hingga ke sub-panel, selanjutnya melakukan perhitungan arus hubung singkat dengan menggunakan data data resistansi (R) dan reaktansi (X) untuk menentukan *breaking capacity*. Berikut adalah salah satu contoh perhitungan arus

hubung singkat pada instalasi distribusi transformator ke LVMDP:

a. Diketahui data:

Instalasi	Resistansi (R)	Reaktansi (X)
Jaringan Tegangan Menengah (MV)	0,016 mΩ	0,16 mΩ
Transformator Distribusi	2,635 mΩ	8,08 mΩ
Distribusi Transformator – LVMDP	0,031 mΩ	0,8 mΩ
Total	2,682 mΩ	9,033 mΩ

b. Perhitungan Z total

$$Z_t = \sqrt{R_t^2 + X_t^2}$$

$$Z_t = \sqrt{(2,682)^2 + (9,033)^2}$$

$$Z_t = \sqrt{88,788}$$

$$Z_t = 9,423 \text{ m}\Omega$$

Tabel 26. Perhitungan Impedansi (Z) dan Arus Hubung Singkat (Isc)

No	Instalasi	Isc (kA)	
1	Distribusi Trafo - LVMDP	25,7	
2	LVMDP ke Panel Beban LVMDP	SDP GMS	20,6
		PP HYDRANT	20,3
		PP POWER HOUSE	12,1
		PP GAS MEDIS	15,1
		SDP POMPA	12,1
		PK IPAL	15,1
		PK PSA HUJAN 1	2,52
		PK PSA HUJAN 2	2,53
		PK PSA LIMBAH 1	2,53
		PK PSA LIMBAH 2	2,53
	PK PSA LIMBAH 3	2,53	

c. Perhitungan Isc

$$I_{sc} = \frac{U_{20}}{\sqrt{3} \times Z_t}$$

$$I_{sc} = \frac{420}{\sqrt{3} \times 9,423}$$

$$I_{sc} = 25,734 \text{ kA}$$

Jadi, nilai *breaking capacity* yang terjadi pada distribusi transformator ke LVMDP sebesar 25,734 kA, sehingga *incoming LVMDP* menggunakan MCCB yang memiliki *breaking capacity* sebesar 36 kA.

Berikut ini adalah hasil perhitungan arus hubung singkat untuk menentukan *breaking capacity* pada jalur distribusi lainnya:

No	Instalasi	Isc (kA)	
3	SDP GMS ke Panel Beban GMS	PP 1	14,8
		PPAC 1	15,4
		PP RADIOLOGI	15,9
		PP IGD	2,86
		PP ELEKTRONIK	8,83
		PP 2	8,37
		PPAC 2	14,8
		PK DUMB WAITER	2,51
		PP 3	10,4
		PPAC 3	14,1
		PP CSSD	14,5
		PP LAB	7,95
		PK AC CSSD (6 PK)	12,3
		PK AC MIKRO (6 PK)	12,3
		PP 4	7,57
		PPAC 4	7,57
		SDP CLEAN ROOM	15,0
		SDP ATAP	4,86
		PP HYDRANT	14,3

J. Perhitungan Kebutuhan Filter Harmonisa

Filter harmonisa berfungsi untuk memperbaiki arus yang terdistorsi. Potensi terjadinya arus harmonic di pengaruhi oleh arus pembebanan dan arus harmonisa yang terdistorsi atau THDi (Total Harmonic Distortion Current). Selain itu potensi terjadinya arus harmonisa juga dipengaruhi

oleh faktor keserampakan beban. Berikut ini adalah perhitungan spesifikasi filter aktif yang akan digunakan:

a. Data:

- Tegangan sisi sekunder Transformator (VLL): 400 V = 0,4 kV
- Daya reaktif Kapasitor Bank (Qc): 250 kVAR

- Orde harmonic (n): 5
 - Frekuensi (f): 50 Hz
- b. Menentukan Rasio Arus Distorsi

Perhitungan rasio arus distorsi ($\frac{I_{SC}}{I_L}$) berfungsi untuk menentukan batas nilai prosentase distorsi harmonik arus (THDi) yang dianjurkan pada instalasi listrik rumah sakit swasta ini menurut IEEE 519-2014.

Tabel 27. Standar IEEE 514-2014

Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic order (odd harmonics) ^{a,b}						
I_{SC}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
< 20 ^c	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 < 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 < 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

^aEven harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above.

^bCurrent distortions that result in a dc offset, e.g., half-wave converters, are not allowed.

^cAll power generation equipment is limited to these values of current distortion, regardless of actual I_{SC}/I_L .

where

I_{SC} = maximum short-circuit current at PCC

I_L = maximum demand load current (fundamental frequency component) at the PCC under normal load operating conditions

Rasio arus distorsi di peroleh dari hasil perbandingan antara arus maksimal hubung singkat (I_{SC}) dengan arus beban penuh (I_L). Berikut adalah perhitungan rasio distorsi:

Diketahui:

- Arus hubung singkat transformator-LVMDP (I_{SC}): 25,734 kA
- Kapasitas transformator (S): 1.250 kVA
- Tegangan sisi sekunder transformator (VLL): 400 V = 0,4 kV

Perhitungan:

$$\text{Rasio Arus Distorsi} = \frac{I_{SC}}{I_L}$$

$$\text{Rasio Arus Distorsi} = \frac{I_{SC}}{\frac{S}{(\sqrt{3} \times VLL)}} = \frac{25,734 \text{ kA}}{25,734 \text{ kA}}$$

$$\text{Rasio Arus Distorsi} = \frac{1.250 \text{ kVA}}{(\sqrt{3} \times 0,4 \text{ kV}) \times 25,734 \text{ A}}$$

$$\text{Rasio Arus Distorsi} = \frac{1.250 \text{ kVA}}{1.804,22 \text{ A}}$$

$$\text{Rasio Arus Distorsi} = 14,26$$

Jadi, berdasarkan perbandingan hasil perhitungan dengan IEEE 514-2014, standar THDi yang diberikan yaitu 5%, karena rasio arus distorsi lebih kecil dari 20 ($\frac{I_{SC}}{I_L} < 20$).

c. Menentukan Frekuensi Penyetelan

Menurut IEEE 1531-2003 untuk filter harmonisa frekuensi tunggal, pemilihan frekuensi ditentukan 3%-15% dibawah frekuensi yang ditentukan. Penurunan nilai orde dilakukan sebagai toleransi komponen filter untuk mencegah resonansi yang terjadi dalam sistem dan frekuensi yang mengganggu.

Jadi frekuensi penyetelan filter yang dipilih 10% dari frekuensi harmonisa orde ke-5 sebesar 250 Hz sehingga frekuensi penyetelan filter sebesar 225 Hz dengan nilai penalaannya (h) sebesar 5-(10% x 5) = 4,5.

d. Perhitungan Kapasitor:

$$X_C = \frac{VLL^2}{Q_C}$$

$$X_C = \frac{0,4^2 \text{ kV}}{250 \text{ kVAR}}$$

$$X_C = 0,00064 \text{ k}\Omega = 0,64 \Omega$$

$$C = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times X_C}$$

$$C = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 50 \times 0,64}$$

$$C = 4,976 \times 10^{-3} \text{ F}$$

e. Perhitungan Induktor:

$$X_L = \frac{X_C}{h^2}$$

$$X_L = \frac{0,64}{4,5^2}$$

$$X_L = 0,032 \Omega$$

$$L = \frac{X_L}{2 \times \pi \times f}$$

$$L = \frac{0,032}{2 \times 3,14 \times 50}$$

$$L = 0,102 \times 10^{-3} \text{ H}$$

f. Perhitungan Q_{filter}

$$Q_{\text{filter}} = \frac{VLL^2}{X_C - X_L}$$

$$Q_{filter} = \frac{400^2}{0,64 - 0,032}$$

$$Q_{filter} = 263.157,9 \text{ VAR}$$

$$Q_{filter} = 263,16 \text{ kVAR}$$

g. Perhitungan R

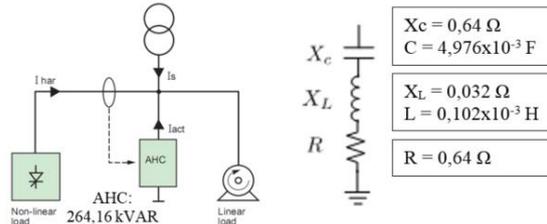
$$Q = \frac{R}{X_L}$$

$$R = Q \times X_L = 20 \times 0,032 = 0,64 \Omega$$

Nb: Q merupakan faktor kualitas filter. Nilai Q yang di pilih sebesar 20, karena distorsi harmonisa yang besar terdapat pada orde 20 ke bawah.

Jadi berdasarkan hasil perhitungan, spesifikasi filter aktif harmonisa yang akan digunakan yaitu:

- Nilai Kapasitor sebesar $4,976 \times 10^{-3}$ F
- Nilai Induktor sebesar $0,102 \times 10^{-3}$ H
- Nilai Resistansi sebesar $0,64 \Omega$
- Nilai Kapasitas Filter Aktif Harmonisa minimal sebesar 264,16 kVAR.
- Performa filter harmonisa THDi < 5%



Gambar 3. Rangkaian Filter Aktif Harmonisa

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis dalam perencanaan rumah sakit swasta kapasitas 200 bed maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Gedung rumah sakit swasta kapasitas 200 bed memiliki kapasitas beban normal daya aktif sebesar 806,5 kW dengan daya semu sebesar 1.010,1 kVA dan arus total pada masing masing fasa yaitu pada fasa R sebesar 1.527,9 A, fasa S sebesar 1.531,4 A dan fasa T sebesar 1.539,6 A.
- Faktor daya yang terhitung sebelum perbaikan menggunakan kapasitor bank yaitu sebesar 0,8.

- Besar kapasitas kapasitor bank yang digunakan yaitu sebesar 5x50 kVAR (250 kVAR) sehingga merubah faktor daya menjadi 0,91 yang menyebabkan penurunan daya semu menjadi 882,4 kVA.
- Kapasitas generator set dan transaformator distribusi yang digunakan yaitu sebesar 1.250 kVA untuk memenuhi kebutuhan total beban.
- Besar daya PLN yang tersambung untuk rumah sakit swasta ini yaitu sebesar 1.110 kVA dengan tegangan sebesar 20kV.
- Tegangan jatuh yang terjadi pada instalasi distribusi listrik rumah sakit masih tergolong aman atau masih dalam batas toleransi standar IEC 60364-5-52, nilai tegang jatuh yang terbesar yaitu sebesar 1,86% ada pada jaringan SDP Gedung Medik Sentral ke SDP ATAP.
- Perhitungan arus hubung singkat untuk menentukan breaking capacity menunjukan nilai yang sesuai dengan teori dimana semakin jauh jarak beban dari sumber maka nilai breaking capacity akan semakin kecil. Nilai arus hubung singkat yang terbesar yaitu sebesar 25,734 A ada pada jaringan Transformator ke LVMDP. Jadi *breaking capacity* yang digunakan pada jaringan tersebut yaitu 36 kA.
- Spesifikasi filter harmonisa untuk perbaikan gelombang harmonik arus yaitu memiliki nilai Kapasitor sebesar $4,976 \times 10^{-3}$ F, nilai Induktor sebesar $0,102 \times 10^{-3}$ H, nilai Resistansi sebesar $0,64 \Omega$, nilai kapasitas filter aktif harmonisa minimal sebesar 263,16 kVAR dan performa filter harmonisa THDi < 5%.

DAFTAR PUSTAKA

- Arnas, Y. (2013). Analisis Kebutuhan Daya Listrik di Bandara Udara Cakrabhuawana Cirebon. *Aviasi Langit Biru*.

- Belo, T. D., Notosudjono, D., & Suhendi, D. (2016). *Analisa Kebutuhan Daya Listrik di Gedung Perkuliahan 10 Lantai Universitas Pakuan Bogor*.
- IEC 62040-1: Uninterruptible Power Systems (UPS)*. (2017). Geneva, Switzerland: IEC.
- IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power System*. (2014). New York, USA: IEEE Standards Association.
- Konservasi Energi Pada Sistem Pencahayan*. (2011). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Mischler, L. (2016). *Electrical Instalation Guide According To IEC International Standards*. Schneider Electric.
- PERMENKES NO.2 TAHUN 2019*. (2019). JAKARTA: KEMENTERIAN KESEHATAN REPUBLIK INDONESIA.
- Persyaratan Umum Instalasi Listrik*. (2011). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Pratama, I. N., Rinas, I. W., & Weking, A. I. (2017). *Simulasi Peredaman Distorsi Harmonisa Menggunakan Filter Aktif dan Analisis Rugi-Rugi Daya Pada Sistem Kelistirikan di Hotel The Bene Kuta*. *SPEKTRUM*.
- Rochibi, M., Supratno, S., & Sikki, M. I. (2018). *Analisa Perancangan Filter Pasif Untuk Meredam Harmonisa dan Perbaikan Faktor Daya Pada Beban Area Welding*.
- Ruben, J. H., Wibowo, R. S., & Penangsang, O. (2012). *Analisis Unuj Kerja Filter Pasif dan Filter Aktif pada Sisi Tegangan Rendah di Perusahaan Semen Tuban, Jawa Timur*. *TEKNIK POMITS*.
- Sampeallo, A. S. (2012). *Penentuan Transformator Daya Pada Perencanaan Gardu Induk (GI) Sistem 70 kV (Studi Kasus Pembangunan Gardu Induk Ende-Ropa-Maumere)*. *SAINSTEK*.
- Sopyan, E. (2009). *Perancangan Single Tuned Filter Untuk Mereduksi Harmonik Arus Dengan Simulasi Program Etap Power Station 5.0.3*. Depok: Universitas Indonesia.
- UU RI NO. 28 TAHUN 2002*. (2002). JAKARTA: KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM.
- Warman, E. (2004). *Penentuan Rating Transformator*. *USU*, 15-20.