

RANCANGAN GUGUS KAPASITOR SISTEM KELISTRIKAN

Firman Silitonga
Pusat Rekayasa dan Perangkat Nuklir-BATAN

ABSTRAK

RANCANGAN GUGUS KAPASITOR SISTEM KELISTRIKAN. Gugus kapasitor suatu peralatan listrik yang dapat berfungsi untuk mengkompensasi daya reaktif jaringan sehingga daya reaktif tersebut berkurang dan sudut antara tegangan dan arus semakin kecil Prinsip kerja gugus kapasitor ini dapat mengkompensasi daya reaktif sehingga mereduksi daya reaktif dan faktor daya dapat diperbaiki Dengan menggunakan gugus kapasitor ini dapat memperbaiki faktor daya listrik sistem kelistrikan gedung 70 dan 71.

Pada rancangan ini, besar daya semu 1400 KVA membutuhkan 2 gugus kapasitor masing-masing 150 KVAR dipasang pada perlengkapan hubung bagi tegangan rendah A, LVSWR A dan perlengkapan hubung bagi tegangan rendah LVSWR B yang dapat memperbaiki faktor daya listrik dari 0.82 menjadi 0.87. Dengan perbaikan faktor daya listrik tersebut dapat menaikkan tegangan dari 360 volt hingga 380 volt. Kedua gugus kapasitor ini dipasang paralel dengan beban yang terpasang pada panel hubung bagi tegangan rendah A dan B seperti pada Gambar 4

Kata kunci: rancangan, gugus kapasitor, faktor daya listrik.

ABSTRACT

DESIGN OF ELECTRIC CAPACITOR BANK OF ELECTRICAL SYSTEM. Capacitor bank is a electrical equipment which can the function to compensating the line reactive power in that reactive power such reduced and angle between voltage and current is small. Principle of this capacitor bank can compensating the reactive power in which that reduction reactive power and the electric power factor can be improved With of use the this capacitor bank can improvement the electric power factor of electrical system in building 70 and 71.

In this design, amount of the apparent power 1400 KVAR required two the capacitor capacity 150 KVAR which installed low voltage switchgear A and low voltage switchgear B as figure 4 can to improve the electric power factor of electric system of 0.82 up to 0.87. With this improve of electric power can increased voltage of 360 volt up to 380 volt. In both capacitor bank such to installed parallel with load which installed on low voltage switchgear A and B.

Key word: design, capacitor bank, electric power factor.

PENDAHULUAN

Sistem kelistrikan gedung 70 dan gedung 71 disuplai melalui perlengkapan hubung bagi tegangan menengah PLN, PLN Medium voltage Swithgear (PLN MV SWGR) dan perlengkapan hubung bagi tegangan menengah BATAN, BATAN Medium Voltage switchgear (BATAN MV SWGR) dengan tegangan 20 kV. Tegangan 20 kV BATAN MV SWGR diturunkan menjadi 380/220 volt dengan transformator distribusi TR₁, TR₂ dan TR₃ mendistribusikan ke Low Voltage

Switchgear (LV SWGR) seperti pada gambar 4. Masing-masing kapasitas transformator distribusi TR₁ 1600 KVA dan TR₂ 1600 KVA. dan Transformator TR₁ digunakan sebagai suplai daya gedung 71 dan transformator TR₂ sebagai suplai daya gedung 70 dan TR₃ hanya sebagai suplai mesin flash welder. Genset 200 KVA digunakan sebagai catu daya darurat untuk penerangan dan lampu penunjuk jalan bila terjadi pemadaman listrik sewaktu waktu.

Beban-beban yang terpasang pada sistem kelistrikan yang bersifat induktif seperti motor-motor listrik, trafo dan lampu TL (lampu pendar).

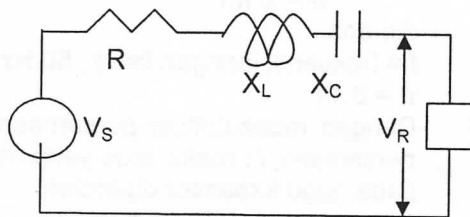
Beban-beban induktif dan sifat jaringan yang bersifat induktif dapat menimbulkan faktor daya listrik menjadi semakin kecil. Faktor daya listrik yang semakin kecil ini akan menimbulkan arus semakin terlambat terhadap tegangan pada sisi beban semakin menurun dan juga tegangan pada sisi beban akan turun.

Untuk mengatasi kondisi ini perlu dirancang gugus kapasitor pada sistem kelistrikan tersebut untuk memperbaiki faktor daya dan menaikkan tegangan pada sisi beban.

Gugus kapasitor ini dipasang paralel dengan beban yang terpasang pada perlengkapan hubung bagi tegangan rendah (LV SWGR).

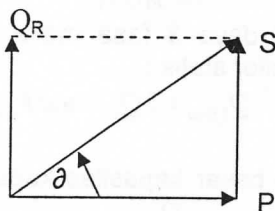
DASAR TEORI

Pada sistem jaringan suplai listrik seperti pada Gambar 1.



Gambar 1.
RLC penghantar jaringan listrik dan tegangan beban V_R

Hubungan antara daya aktif (P), daya reaktif (Q_R) dan daya semu (S) dari Gambar 1 seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram segi tiga daya

Dari diagram segi tiga daya dapat ditentukan sebagai berikut :

$$P = S \cos \theta \dots \dots \dots (1)$$

$$Q_R = S \sin \theta$$

Besarnya impedansi jaringan dari Gambar 1.

$$Z = R + j (X_L - X_C) \dots \dots \dots (2)$$

Besarnya tegangan beban, V_R sebagai berikut:

$$V = V_s - I(R + j(X_L - X_C)) \dots \dots \dots (3)$$

$$V = V_s - I.Z \dots \dots \dots (4)$$

dimana :

R = Resistansi dalam Ω

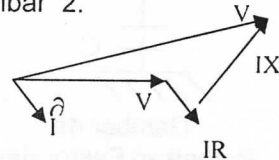
X_L = Reaktansi induktif jaringan, Ω

X_C = Reaktansi kapasitif jaringan, Ω

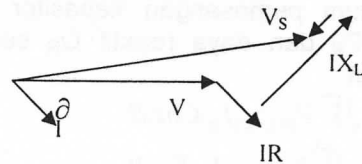
V_s = Tegangan sumber dalam volt

V = Tegangan pada sisi beban dalam volt

Vektor diagram dari jaringan gambar 1 tanpa gugus kapasitor seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Vektor diagram
Sedangkan vektor diagram dari gambar 1 setelah gugus kapasitor terpasang seperti pada Gambar 3.



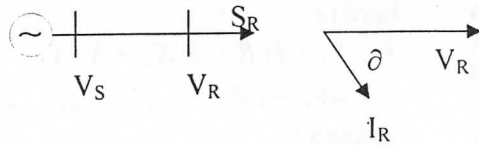
Gambar 3.
Vektor diagram tegangan setelah gugus kapasitor terpasang

Pada umumnya induktansi jaringan X_L lebih besar dari X_C sehingga bersifat induktif sehingga arus terlambat terhadap tegangan atau tegangan terdahulu terhadap arus disebut faktor daya terlambat (*lagging power factor*).

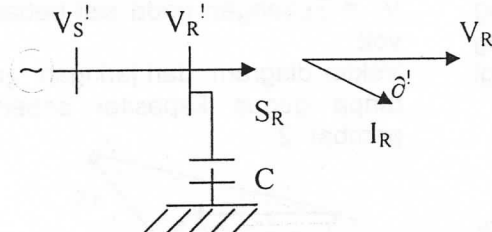
Untuk memperbaiki faktor daya listrik pada beban-beban perlu dipasang kapasitor statis yang terhubung paralel dengan beban listrik. Dengan pemasangan kapasitor statis dapat

memperbaiki daya faktor daya listrik dan memperbaiki pengaturan tegangan.

Sistem jaringan listrik seperti Gambar 1, dengan beban S_R dan sudut faktor daya terlambat (*lagging power factor*) tanpa gugus kapasitor dan dengan gugus kapasitor masing-masing seperti Gambar 4a dan Gambar 4 b.



Gambar 4a.
Sebelum dipasang



Gambar 4b.
Perbaikan Faktor daya dengan kapasitor

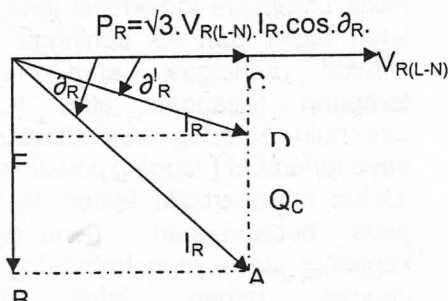
Gambar 4. Faktor daya tanpa dan dengan kapasitor

Sebelum pemasangan kapasitor daya aktif P_R dan daya reaktif Q_R sebagai berikut :

$$P_R = \sqrt{3} \cdot V_{R(L-L)} \cdot I_R \cdot \cos \vartheta$$

$$Q_R = \sqrt{3} \cdot V_{R(L-L)} \cdot I_R \cdot \sin \vartheta$$

Setelah pemasangan kapasitor statis sudut faktor daya pada terminal beban berubah ϑ' seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Perbaikan faktor daya dengan kapasitor statis

Dari Gambar 5 dapat diperoleh:

$$\tan \delta_R = \frac{CA}{P_R}$$

$CA = P_R \cdot \tan \delta_R$ per fasa

Juga dari Gambar 5 diperoleh :

$$\tan \delta_R' = \frac{CD}{P_R}$$

$CD = P_R \cdot \tan \delta_R'$ per fasa

$AD = Q_C = P_R(\tan \delta_R - \tan \delta_R')$

$$Q_C = P_R(\tan \delta_R - \tan \delta_R') \dots \dots \dots (5)$$

dimana :

Q_C = daya kapasitif kapasitor statis

P_R = Daya aktif

δ_R = Faktor daya sebelum diperbaiki

δ_R' = Faktor daya sesudah diperbaiki

$V_{R(L-N)}$ = Tegangan jala-jala ke netral

I_R = Arus pada sisi beban

Untuk menentukan arus pada kapasitor statis sbb:

$$I_C = \frac{V_{R(L-N)}}{X_C} \dots \dots \dots (6)$$

Reaktansi kapasitif :

$$X_C = \frac{1}{w \cdot c} \dots \dots \dots (7)$$

$$w = 2 \pi \cdot f$$

dimana :

f = frekuensi jaringan listrik, 50 Hz

$\pi = 3,14$

Dengan mensubstitusikan persamaan 6) ke persamaan 7) maka arus yang mengalir pada gugus kapasitor diperoleh:

$$I_C = w \cdot c \cdot V_{R(L-N)} \dots \dots \dots (8)$$

Maka daya reaktif kapasitor :

$$Q_C = V_{R(L-N)} \cdot I_C = w \cdot c \cdot V_{R(L-N)}^2 \dots \dots \dots (9)$$

Besar kapasitansi kapasitor statis per fasa :

$$C = \frac{P_{R(1\text{ fasa})} \cdot (\tan \delta_R - \tan \delta_R')}{w \cdot V_{R(L-N)}^2} \dots \dots \dots (10)$$

Untuk daya 3 fasa maka daya reaktif kapasitor statis :

$$Q_{3\text{ fasa}} = 3 Q_C = w \cdot c \cdot V_{R(L-L)}^2$$

Maka besar kapasitas kapasitor statis :

$$C = \frac{Q_{3\text{ fasa}}}{w \cdot V_{R(L-L)}^2} \dots \dots \dots (11)$$

Untuk menentukan pengaturan tegangan atau Voltage Regulation (VR)

dari jaringan listrik sebagai berikut

$$:VR = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100\% \dots\dots\dots(12)$$

dimana

VR = Voltage regulation atau pengaturan tegangan dalam %

V_{NL} = Tegangan tanpa beban dalam volt

V_{FL} = Tegangan berbeban dalam volt

PERANCANGAN

Untuk merancang gugus kapasitor sistem kelistrikan gedung 70 dan 71 perlu mendata beban yang disuplai transformator distribusi TR_1 , dan TR_2 . Data-data beban dari masing-masing suplai sebagai berikut :

1. Data beban yang disuplai dari transformator distribusi, TR_1 seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Data beban yang disuplai dari transformator TR_1

No.	Panel utama	Total KVA
1.	DP ₁ -A ₁ -1	350
2.	DP ₁ -A ₁ -2	333
3.	DP ₁ -A ₁ -3	262
4.	DP ₁ -A ₁ -4	314
5.	DP ₁ -A ₂ -1	352
6.	DP ₁ -A ₂ -2	320
7.	DP ₁ -A ₃ -1	102
8.	DP ₁ -A ₃ -2	328
9.	CP-ARF-Chiller 1	300
10.	CP-ARF-Chiller 1	spare
11.	CP-ARF-Chiller 1	spare
12.	DP- MES -1	47
13.	DP- MES -1	95
	Total	2570

2. Beban yang disuplai dari transformator distribusi TR_2 seperti dalam Tabel 2.

Tabel 2. Beban yang disuplai dari traformator TR_2 .

No.	Panel utama	Total KVA
1.	B.2.1 -1	350
2.	DP-B ₁ -1	380
3.	DP-B ₁ -2	361
4.	DP-B ₁ -3	191

5.	DP-B ₁ -4	364
6.	MCC -B ₁	163
7.	DP-MES-2	38
8.	PUMP HOUSE	154
9.	DP-B ₁ -5	193
10.	PUMP HOUSE	spare
	Total	2194

3. Pemilihan besarnya daya pada sistem kelistrikan

Dari data daya dalam tabel 1 dan tabel 2 beban lampu pijar tidak diperhitungkan karena beban ini bersifat resistif dan beban untuk stop kontak dan spare /cadangan tidak diperhitungkan sepenuhnya. Daya terpasang pada sistem kelistrikan ini masing-masing 1600 KVA. Untuk menentukan kapasitas gugus kapasitor, ditentukan dengan daya 1400 KVA.

4. Menentukan faktor daya listrik

Untuk menentukan faktor daya jaringan listrik ini dengan membuka hubungan dengan kapasitor, sehingga faktor daya 0,82 dan dengan kapasitor 0,87 sehingga faktor daya diperbaiki dari 0,82 menjadi 0,87.

5. Menentukan daya aktif dengan rumus(1)

$$P_R = S \cos\theta = 1400 \cdot 0,82 = 1148 \text{ KW}$$

6. Menentukan daya reaktif gugus kapasitor dengan rumus 5.

$$Q_C = P_R(\tan \theta_R - \tan \theta_R')$$

$$\cos\theta_R = 0,82, \text{ diperbaiki menjadi } \cos\theta_R' = 0,87$$

$$\cos\theta_R = 0,82 \quad \theta_R = \cos^{-1} 0,82 = 34,91^\circ$$

$$\cos\theta_R' = 0,87 \quad \theta_R' = \cos^{-1} 0,87 = 29,54^\circ$$

$$Q_C = P_R(\tan \theta_R - \tan \theta_R')$$

$$= 1148 (\tan 34,91^\circ - \tan 29,54^\circ)$$

$$= 1148 (0,698 - 0,567) = 150,34 \text{ KVAR}$$

7. Menentukan kapasitansi gugus kapasitor dengan rumus (11)

$$C = \frac{Q_{3\text{ fasa}}}{w \cdot V_{R(L-L)}} = \frac{150340}{314 \cdot 380^2} = 3,16 \text{ mF}$$

8. Menentukan reaktansi kapasitif dihitung dengan rumus (7) .

$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{314,3 \cdot 16 \cdot 10^{-3}} = 1,001 \Omega$$

Hasil perhitungan rancangan diatas ini seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil perhitungan rancangan gugus kapasitor

No	Uraian	Satuan
1.	Daya semu (S)	1400 KVA
2.	Daya aktif (P)	1148 KW
3.	Daya Reaktif(Q _c)	150,34 KVAR
4.	Kapasitansi (C)	3,16 mF
5.	Reaktansi Induktif	1,001Ω

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam rancangan sistem kelistrikan ini dipasang 2 buah gugus kapasitor dengan kapasitas masing-masing 150 KVAR pada sisi tegangan rendah perlengkapan hubung bagi A dan perlengkapan hubung bagi B.

Daya gugus kapasitor tiga pаса ini terdistribusi dalam masing –masing fasa seperti pada tabel 4.

Tabel 4. Distribusi daya reaktif pada masing-masing fasa.

Fasa	Daya Reaktif(KVA)	Kapasitansi (mF)
R	50	1,05
S	50	1,05
T	50	1,05

Bila beban mengalami variasi antara 600 KVA dan 1600 KVA maka faktor daya listrik dapat ditentukan dengan rumus (5) dan hasil perhitungannya seperti dalam Tabel 5.

Tabel 5. Perubahan faktor daya terhadap variasi daya listrik

No	Daya semu (KV)	Daya aktif (KW)	Faktor daya
1.	600	492	0,91

2.	800	656	0,89
3.	1000	820	0,88
4.	1400	1148	0,87
5.	1500	1230	0,86
6.	1600	1312	0,84

Dari Tabel 5 ini dapat kita lihat bahwa variasi faktor daya berkisar antara 0,84 hingga 0,91 dengan perubahan daya antara 600 hingga 1600 KVA. Dengan menggunakan gugus kapasitor pada sisi beban dapat mengkompensasi daya reaktif sehingga daya reaktif semakin kecil.

Hasil pengamatan dari pemasangan gugus kapasitor ini di lapangan seperti Tabel 6.

Tabel 6. Hubungan faktor daya dan tegangan jala-jala

Posisi gugus kapasitor	Faktor daya	Tegangan jala-jala (volt)
Tanpa kapasitor	0,82	360
1 fasa dengan kapasitor	0,84	364
2 fasa dengan kapasitor	0,86	368
3 fasa dengan kapasitor	0,87	370

Dari Tabel 6 ini terlihat hanya fasa R, terhubung dengan fasa R kapasitor besar besar daya reaktif hanya 50 KVAR, 2 fasa terhubung dengan kapasitor daya reaktif 100 KVAR dan tiga terhubung dengan kapasitor daya reaktif 150 KVAR, sesuai dengan Tabel 4. Bila ketiga fasa terhubung dengan kapasitor maka semakin besar mengkompensasi daya reaktif dan mengakibatkan faktor daya besar dan tegangan jala-jala semakin besar dan regulasi tegangan semakin kecil. Hal ini disebabkan daya reaktif dari gugus kapasitor semakin besar mengkompensasi daya reaktif induktif sehingga daya reaktif jaringan dan impedansi jaringan semakin kecil

mengakibatkan jatuh tegangan semakin kecil lihat persamaan (2), (4) dan Gambar 3.

Untuk perbaikan faktor daya listrik menjadi unity atau satu tidak diperbolehkan. Bila ini terjadi menyebabkan frekuensi resonansi yang mengakibatkan $X_L = X_C$ sehingga impedansi $Z = R$ lihat persamaan 2) dapat menimbulkan arus yang cukup besar sehingga dapat merusak peralatan listrik.

KESIMPULAN

Rancangan gugus kapasitor sistem kelistrikan dengan 2 gugus kapasitor masing-masing daya reaktif 150 KVAR dan dipasang paralel pada perlengkapan hubung bagi tegangan rendah A dan perlengkapan hubung bagi tegangan rendah B. Gugus kapasitor ini dapat memperbaiki faktor daya dari 0,82 menjadi 0,87. Variasi faktor daya antara 0,84 hingga 0,91 dengan perubahan daya berkisar antara 600 KVA hingga 1600 KVA.

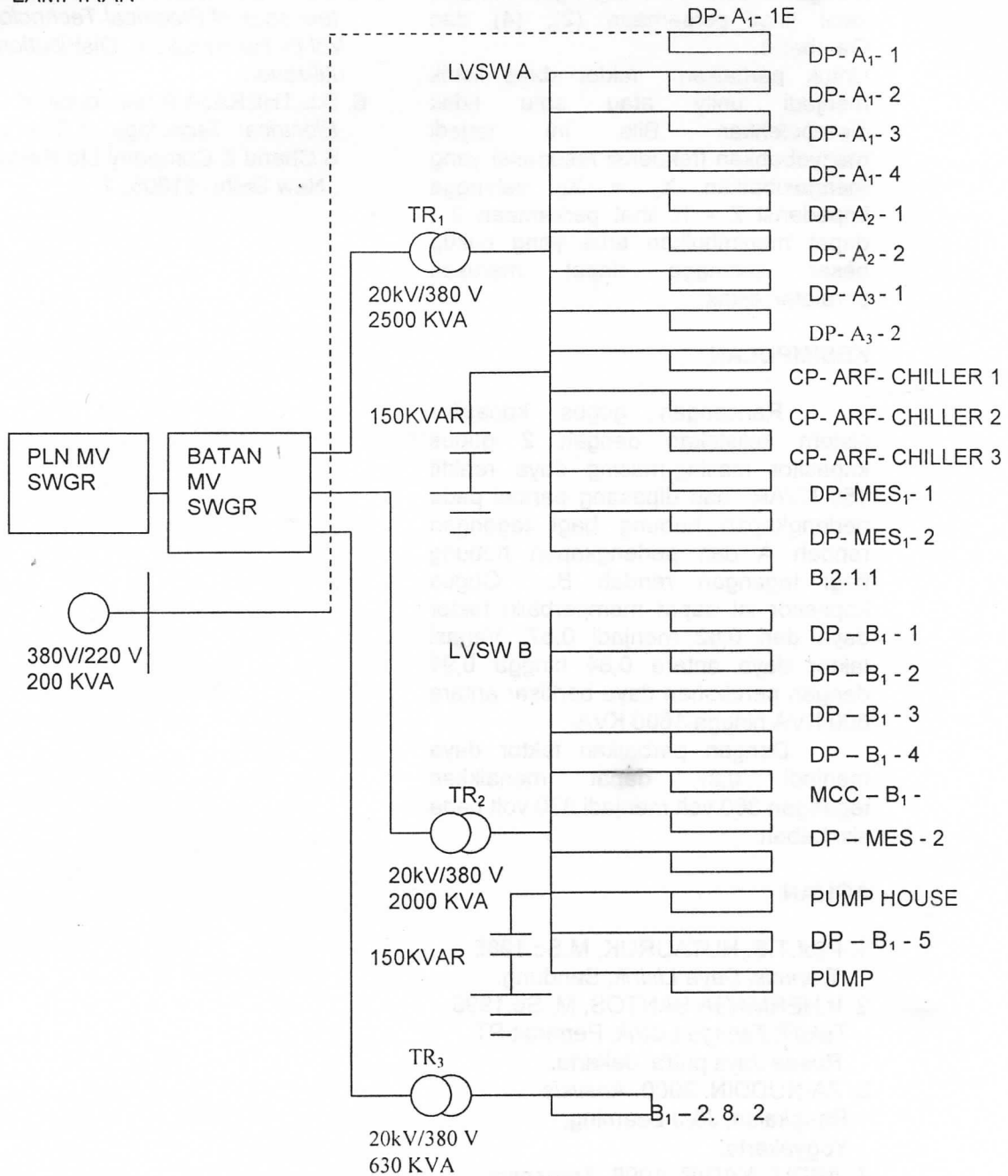
Dengan perbaikan faktor daya menjadi 0,87 dapat menaikkan tegangan 360 volt menjadi 370 volt pada sisi beban.

ACUAN

1. Prof.T.S. HUTAURUK, M.Sc.1985. *Tranmisi Daya Listrik*, Bandung.
- 2 .Ir.HERMAGA SANTOS, M. Sc.1996. *Teknik Tenaga Listrik*, Penerbit PT. Rosda Jaya putra, Jakarta.
3. ZAINUDDIN. 2000. *Analisis Rangkaian*, J& J Learning, Yogyakarta.
4. ABDUL KADIR. 1998. *Transmisi Tenaga Listrik*, Penerbit Universitas Indonesia.

5. B.L THERAJA, AK THERAJA.1993. *A text book of Electrical Technology Vol.III Tansmission , Distribution & utilization.*
6. B.L THERAJA.A *tex –book of Electrical Tecnology in S.I of units*, S.Chand & Company Ltd Ram Nagar , New Delhi -11005, 1

LAMPIRAN



Gambar 4. Diagram sistem suplai perlistrikan gedung 70 dan 71