

**RANCANG BANGUN DIAGRAM SATU GARIS
RENCANA SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK
DI GEDUNG BERTINGKAT (*HIGHRISES BUILDING*)**

TUGAS AKHIR

Oleh

MOHAMMAD HASAN BASRI

04 05 23 035 3



**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008**

**RANCANG BANGUN DIAGRAM SATU GARIS
RENCANA SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK
DI GEDUNG BERTINGKAT (*HIGHRISES BUILDING*)**

TUGAS AKHIR

Oleh

MOHAMMAD HASAN BASRI

04 05 23 0353



**TUGAS AKHIR INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008**

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir dengan judul :

**RANCANG BANGUN DIAGRAM SATU GARIS RENCANA
SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK DI GEDUNG BERTINGKAT
(*HIGHRISES BUILDING*)**

yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada program studi Teknik Elektro, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari Tugas Akhir yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 14 Juli 2008

Mohammad Hasan Basri

NPM. 0405230353

PENGESAHAN

Tugas Akhir dengan judul :

**RANCANG BANGUN DIAGRAM SATU GARIS RENCANA
SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK DI GEDUNG BERTINGKAT
(HIGHRISES BUILDING)**

dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada program studi Teknik Elektro, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Indonesia dan disetujui untuk diajukan pada sidang Tugas Akhir.

Depok, 14 Juli 2008

Dosen Pembimbing Tugas Akhir

Ir. Amien Rahardjo, MT

NIP. 13147659

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Bapak :

Ir. Amien Rahardjo, MT

selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberi saran, bimbingan, dan pengarahan sehingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

Mohammad Hasan Basri
NPM 04 05 23 035 3
Departemen Teknik Elektro

Dosen Pembimbing
Ir. Amien Rahardjo, MT
NIP. 13147659

**RANCANG BANGUN DIAGRAM SATU GARIS RENCANA
SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK DI GEDUNG BERTINGKAT
(HIGHRISES BUILDING)**

ABSTRAK

Pembangunan Indonesia mulai berkembang dan merambah di sejumlah kota-kota besar seperti Jakarta, Surabaya, Bandung, Yogyakarta dan lainnya. Hal ini ditandai dengan pembangunan banyaknya gedung bertingkat, baik untuk *mall*, hunian apartemen ataupun untuk perkantoran (*office*). Pembangunan hal semacam di atas tidak akan terlepas dari munculnya peran serta ahli perancang arsitektur, ahli teknik sipil, ahli perancang mekanik ataupun ahli perancang kelistrikan dalam perencanaannya. Dan permasalahan awal yang timbul dari perencanaan sistem distribusi tenaga listrik di gedung bertingkat adalah tentang deskripsi model perencanaan diagram satu garis rencana sistem distribusi tenaga listrik di gedung bertingkat. Perhitungan nilai proteksi secara teknis dengan hitungan baik dengan tabel atau tanpa tabel juga sering dipertanyakan jika kita menjadi seorang electrical engineer di lapangan.

Buku ini mendeskripsikan tentang cara perancangan diagram satu garis sistem distribusi kelistrikan khususnya untuk perencanaan di gedung bertingkat tipe *highrises building* (antara 25 lantai hingga 100 lantai) dengan suplai daya PLN 20kV untuk beban elektrikal yang biasa dijadikan acuan pokok para kontraktor dalam pemasangan instalasi listrik di lapangan.

Perhitungan diawali dengan menghitung beban dari beban hingga ke titik ujung gardu induk bangunan dan terakhir termasuk didalamnya perhitungan suplai tenaga darurat dari genset. Menguraikan komponen sistem tenaga listrik di gedung dan menguraikan secara garis besar isi dari panel dengan hitungannya.

Kata kunci : diagram, panel, distribusi tenaga, gedung bertingkat

Mohammad Hasan Basri
NPM 04 05 23 035 3
Electrical Departement Engineering

Counsellor
Ir. Amien Rahardjo, MT
NIP. 13147659

**PLANNING AND DESIGN THE ELECTRICAL ONE LINE DIAGRAM
OF DISTRIBUTION PLANT IN THE HIGHRISES BUILDING**

ABSTRACT

The development of Indonesia have been beginning to be growing in several cities like Jakarta, Surabaya, Bandung, Yogyakarta and other. This is marked by the many of highrises buildings, there are for hyperstores, the apartments or for the offices. The matters are unfree from the participations of architecture designers, civil designers or the electrical designers. And the first problem at the beginning for planning the electrical distribution system in the highrises building is about the descriptions of the model of one line diagrams. The calculations to the protection value technically with the calculation also often are questioned if we become an electrical engineer in the field.

This book describes about the methods of one line diagram of the electrical distribution system especially for planning in the type highrises building (between 25 floors and 100 floors) with 20kV from. This calculation are often made the main reference of the contractors when installing the electrical distribution system in the field

The analisys was made from loads until the incoming terminal of medium voltage panel. Included with this one, the analisys about the emergency power suply from generator sets. And so, the paper describes the electrical power components such as the kind of panels and their volumes

Password : *diagram, distribution, panel, highrises building.*

DAFTAR ISI

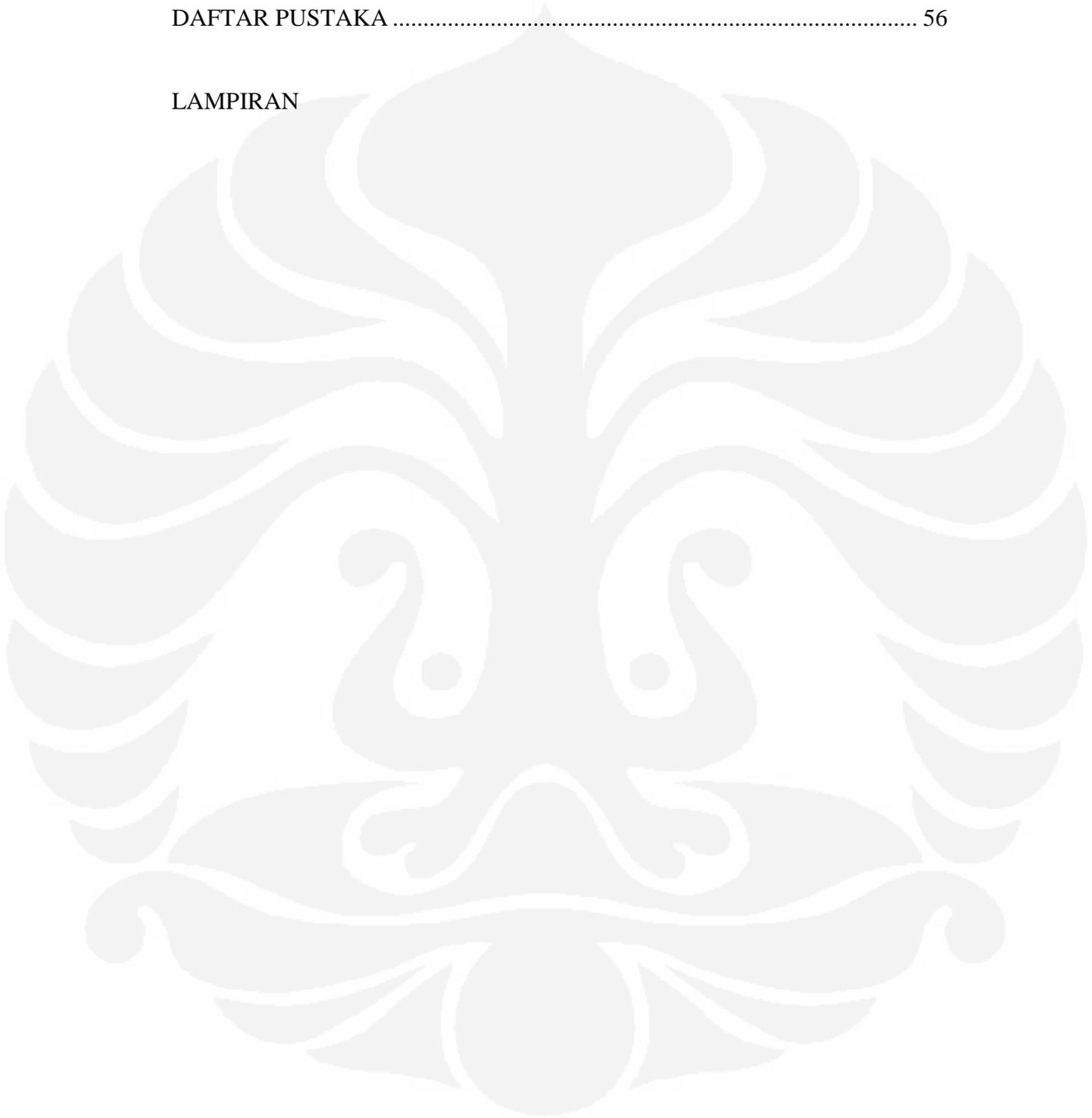
	Halaman
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	i
PENGESAHAN	ii
UCAPAN TERIMA KASIH	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1. LATAR BELAKANG	1
I.2. PERUMUSAN MASALAH	1
I.3. TUJUAN PENULISAN	2
I.4. BATASAN MASALAH.....	2
I.5. METODOLOGI PENULISAN.....	2
I.6. SISTEMATIKA PENULISAN.....	3
BAB II DISTRIBUSI ENERGI LISTRIK.....	4
2.1. GEDUNG PENCAKAR LANGIT (<i>SKYSCRAPER BUILDING</i>) ...	4
2.2. DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK.....	5
2.3. KOMPONEN DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK DI GEDUNG BERTINGKAT	6
2.3.1. Gardu Induk (<i>substation</i>)	7
2.3.2. Transformator Step Down.....	8
2.3.3. Panel Distribusi	8
2.3.3.A Panel Tegangan Menengah (MVMDP)	9
2.3.3.B Panel Low Voltage Distribution (LVDP).....	11
2.3.3.C Panel Distribusi Lantai	11

2.3.3.D Panel Suplai Darurat (<i>Emergency</i>).....	11
2.3.3.E Panel Elektronik	12
2.4 KOMPONEN DISTRIBUSI DAN ALAT PROTEKSI DI DALAM PANEL.....	12
2.4.1. Kabel/ Penghantar	12
2.4.2. Penghantar Rel (Busbar)	13
2.4.3. MCB, MCCB dan ACB	14
2.4.4. Kontaktor	15
BAB III TAHAP PERANCANGAN DIAGRAM DISTRIBUSI ENERGI LISTRIK DI GEDUNG BERTINGKAT	16
3.1 DESKRIPSI PERANCANGAN DISTRIBUSI KELISTRIKAN.....	16
3.2 DIAGRAM VERTIKAL DISTRIBUSI ENERGI LISTRIK.....	16
3.3 DIAGRAM SATU GARIS DISTRIBUSI ENERGI LISTRIK	18
3.3.1 Panel Tipe Ruangan dan Panel Distribusi.....	19
3.3.2 Panel Induk Tegangan Rendah (LVDP)	25
3.3.3 Kapasitor	26
3.3.4 Trafo Penurun Tegangan.....	27
3.3.5 Suplai Tenaga Listrik Darurat (Genset) dan trafonya.....	30
BAB IV DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK DI GEDUNG TIPE <i>HIGHRISES</i> <i>BUILDING</i>	32
4.1 OBYEK RANCANGAN	32
4.2 ANALISIS RANCANGAN HITUNGAN ELEKTRIKAL.....	33
4.2.1 Panel Tipe Ruangan	33
4.2.2 Panel Distribusi	37
4.2.3 Panel Induk Tegangan Rendah (LVDP)	43
4.2.4 Transformator.....	48
4.2.5 Suplai Daya Dari Luar Gedung.....	51
4.2.6 Generator Set.....	51
BAB V KESIMPULAN.....	53

DAFTAR ACUAN 55

DAFTAR PUSTAKA 56

LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Diagram satu garis sistem tenaga listrik	5
Gambar 2.2. Diagram sistem distribusi energi listrik	6
Gambar 2.3. Suplai genset ke panel tegangan menengah	10
Gambar 3.1. Diagram vertikal sistem distribusi energi listrik	17
Gambar 3.2. Diagram satu garis panel distribusi	19
Gambar 3.3. Panel ruangan secara sederhana.	21
Gambar 3.4. Sketsa vektor sudut daya	27
Gambar 3.5. Pengaturan belitan trafo tiga fasa	29
Gambar 3.6. Suplai darurat	31
Gambar 4.1. Rancangan Gedung	32
Gambar 4.2. Floor Plan	32
Gambar 4.3. Panel ruang tipe A di lantai 3 (<i>typical 13</i>)	37
Gambar 4.4. Panel Distribusi Lantai 3	42

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Golongan tarif untuk golongan pelanggan berdaya beban tinggi	7
Tabel 3.1 Ukuran standar luas penampang kabel instalasi (jenis tembaga)	24
Tabel 3.2 Ukuran standar luas penampang kabel instalasi (jenis tembaga dan aluminium)	24
Tabel 3.3 Perbandingan lilitan golongan hubungan pada belitan trafo 3 fasa.	30

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Pembangunan Indonesia mulai berkembang dan merambah di sejumlah kota-kota besar seperti Jakarta, Surabaya, Bandung, Yogyakarta dan lainnya. Hal ini ditandai dengan pembangunan banyaknya gedung bertingkat, baik untuk *mall*, hunian apartemen ataupun untuk perkantoran (*office*).

Pembangunan hal semacam diatas tidak akan terlepas dari munculnya peran serta ahli perancang arsitektur, ahli teknik sipil, ahli perancang mekanik ataupun ahli perancang kelistrikan dalam perencanaannya.

Dari kampus elektro telah banyak yang menjadi perancang elektronik, perancang pemrograman komputer dan mungkin akan banyak yang akan menjadi perancang distribusi kelistrikan yang bisa diterapkan di lingkungan.

Tujuan umum dari segi teknis adalah selalu mengutamakan ilmu untuk perancangannya, guna menghindari dampak yang merugikan keselamatan manusia baik ketika melaksanakan rancangan tersebut maupun kedepan setelah rancangan itu dilaksanakan.

Seperti halnya kasus yang akan terjadi dan biasa terjadi di lapangan bahwa rancangan akan berubah sesuai kondisi kenyataan sipil di lingkungan, penulis juga yakin bahwa nantinya hasil dari rancangan akan terus terlihat masih ada beberapa lubang kesalahan, baik jika dilihat dari sisi konsultan, kontraktor, pemilik gedung (*owner*) ataupun dari pihak kampus. Sehingga untuk mengatasi hal ini penulis sangat berharap mendapatkan koreksi yang membangun dan berkembang untuk kepentingan pengetahuan bersama.

1.2. PERUMUSAN MASALAH

Permasalahan yang timbul dari perencanaan sistem distribusi tenaga listrik di gedung bertingkat adalah :

- a. Deskripsi model perencanaan diagram rencana satu garis di gedung bertingkat.

- b. Perhitungan nilai aman secara teknis dengan hitungan.

1.3. TUJUAN PENULISAN

Tujuan dari penulisan ini adalah mempelajari cara perancangan diagram satu garis sistem distribusi kelistrikan khususnya untuk perencanaan di gedung bertingkat tipe *highrises building* (antara 25 lantai hingga 100 lantai) dengan suplai daya PLN 20 kV untuk beban elektrikal.

1.4. BATASAN MASALAH

Tulisan ini membahas tentang rancangan diagram satu garis rencana sistem distribusi kelistrikan khususnya perencanaan di gedung tipe *highrises building* (antara 25 lantai hingga 100 lantai) dengan suplai 20 kV, yang dimulai dari perhitungan beban.

Cakupan pembahasan untuk distribusi tenaga listrik di gedung adalah sangat luas. Adapun permasalahan yang akan dibahas penulis adalah :

- a. Pembahasan kalkulasi diagram rencana satu garis di gedung bertingkat ini adalah berupa perancangan secara garis besarnya saja.
- b. Pembahasan beban hanya berkisar pada pembahasan beban elektrikal seperti beban instalasi penerangan dan beban motor.
- c. Pembahasan tidak melingkupi beban elektronik seperti sistem pemadam kebakaran (*fire alarm system*), sistem telepon, sistem tata suara (*sound system*), sistem kamera pengamanan (CCTV), *grounding* dan sistem penangkal petir (*lightning protection*) akan tetapi penulis hanya akan mengambil data beban langsung dari panel yang sudah ada di data beban obyek.
- d. Untuk contoh yang dibuat, penulis mengambil data-data beban asli dari lapangan yaitu rancangan di suatu gedung di daerah kuningan dengan ketinggian 31 lantai (satu tower).

1.5. METODOLOGI PENULISAN

Metodologi untuk menyusun Tugas Akhir yang digunakan penulis ini adalah :

- a. Metode pustaka

Metode pustaka adalah pengumpulan data dan informasi dengan mencari buku literatur dari referensi di perpustakaan maupun dari browsing di internet.

b. Metode lapangan

Dalam mencari data referensi penulis mencoba membandingkan kenyataan gambar atau layout yang ada di lapangan.

c. Metode diskusi

Dalam mencari data referensi penulis juga mencoba berdiskusi dengan pihak luar seperti dengan staf di PT Haman Rokko, staf di PT PLN cabang Duren Tiga, staf di PT Rekayasa Industri maupun staf di PT Gavin Pancasetia.

1.6. SISTEMATIKA PENULISAN

Pada penulisan Tugas Akhir ini, penulis membagi penyusunan penulisan sebagai berikut: pada BAB I berisi tentang pendahuluan yang meliputi latar belakang, perumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, metodologi penulisan, dan sistematika penulisan. Pada BAB II berisi teori distribusi tenaga listrik, macam gedung pencakar langit (*skyscraper building*), distribusi tenaga listrik, komponen distribusi tenaga listrik di gedung bertingkat (*highrises building*), komponen distribusi dan alat proteksi di dalam panel yang akan muncul di diagram garis tersebut. Pada BAB III berisi tahap perancangan diagram satu garis rencana sistem distribusi energi listrik di gedung tipe *highrises building* yang meliputi: deskripsi perancangan distribusi kelistrikan, diagram vertikal distribusi energi listrik, dan isi diagram satu garis distribusi energi listrik Pada Bab IV akan dibahas contoh aplikasi dari teknik perancangan dari bab III yaitu distribusi energi listrik di gedung tipe *highrises building* dengan mengambil analisis sebagian data beban dari suatu gedung di daerah Kuningan yang meliputi deskripsi pembahasan gedung yang akan dirancang dan analisis rancangan hitungan beban elektrikal gedungnya.

II

DISTRIBUSI ENERGI LISTRIK

2.1 GEDUNG PENCAKAR LANGIT (*SKYSCRAPER BUILDING*)

Perkembangan kepadatan penduduk di suatu tempat memang memerlukan banyak tempat untuk beraktifitas. Dan secara logika tempat tidak akan mengalami perubahan seiring dengan perubahan adanya waktu yang kemudian menyebabkan munculnya permasalahan adanya kebutuhan tempat.

Ditambah lagi dengan konsentrasi penduduk yang kurang merata karena sifat orang yang cenderung menuruti keegoannya untuk mencari tempat strategis dan cara cepat untuk menjangkau tempat yang berhubungan dengan aktifitasnya. Hal ini terbukti dari banyak permasalahan kependudukan yang terjadi di kota-kota besar di Indonesia seperti Jakarta, Yogyakarta atau tempat lainnya.

Gedung pencakar langit (*skyscraper building*) adalah sebutan dari gedung-gedung tinggi yang menjulang tinggi, yaitu lebih dari gedung yang biasa dibuat masyarakat pada umumnya. Gedung-gedung ini biasa dimanfaatkan sebagai tempat perkantoran (*office*), tempat hunian (*apartement*) maupun pasar swalayan (*hyperstore*).

Macam pengelompokan berdasarkan ketinggian dari gedung pencakar langit (*skyscraper*) ini, menurut salah satu situs di internet (www.skyscrapercity.com) dapat dibagi menjadi 3 macam yaitu :

1. Gedung biasa (*general urban developments building*)

General urban developments building adalah gedung dengan ketinggian kurang dari 100 m atau 300 kaki dari pondasi gedung atau kira-kira kurang dari 25 lantai.

2. Gedung bertingkat (*highrises building*)

Highrises building adalah gedung dengan ketinggian antara 100 m sampai 300 m dari pondasi gedung atau kira-kira antara 25 lantai sampai 100 lantai.

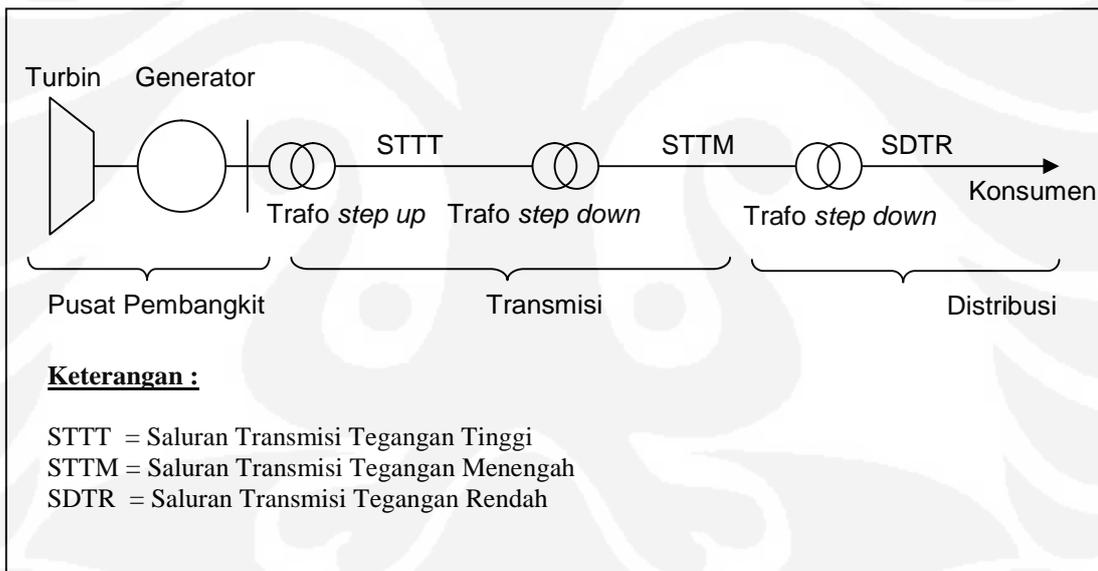
3. Gedung sangat tinggi (*supertalls building*)

Supertalls building adalah gedung dengan ketinggian lebih dari 300 m atau lebih dari 100 lantai

2.2 DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

Definisi dari sistem tenaga listrik adalah suatu sistem yang berfungsi membangkitkan, mentransmisikan dan mendistribusikan energi listrik dari pusat pembangkit menuju konsumen.

Tiga komponen utama dari sistem tenaga listrik yaitu pembangkit, transmisi dan distribusi. Penyaluran energi listrik dari pusat pembangkit sampai ke konsumen ini dapat digambarkan seperti Gambar 2.1 dimana pada gambar di bawah ini sudah mencakup ketiga unsur dari tiga komponen utama sistem tenaga listrik



Gambar 2.1 Diagram satu garis sistem tenaga listrik

Apabila saluran transmisi menyalurkan tenaga listrik bertegangan tinggi ke pusat-pusat beban dalam tegangan yang tinggi atau menengah, maka saluran distribusi berfungsi membagikan tenaga listrik tersebut ke beban melalui saluran tegangan rendah.

Di Indonesia generator di pusat pembangkit biasanya menghasilkan tenaga listrik dengan tegangan antara 6–20 kV yang kemudian, dengan bantuan

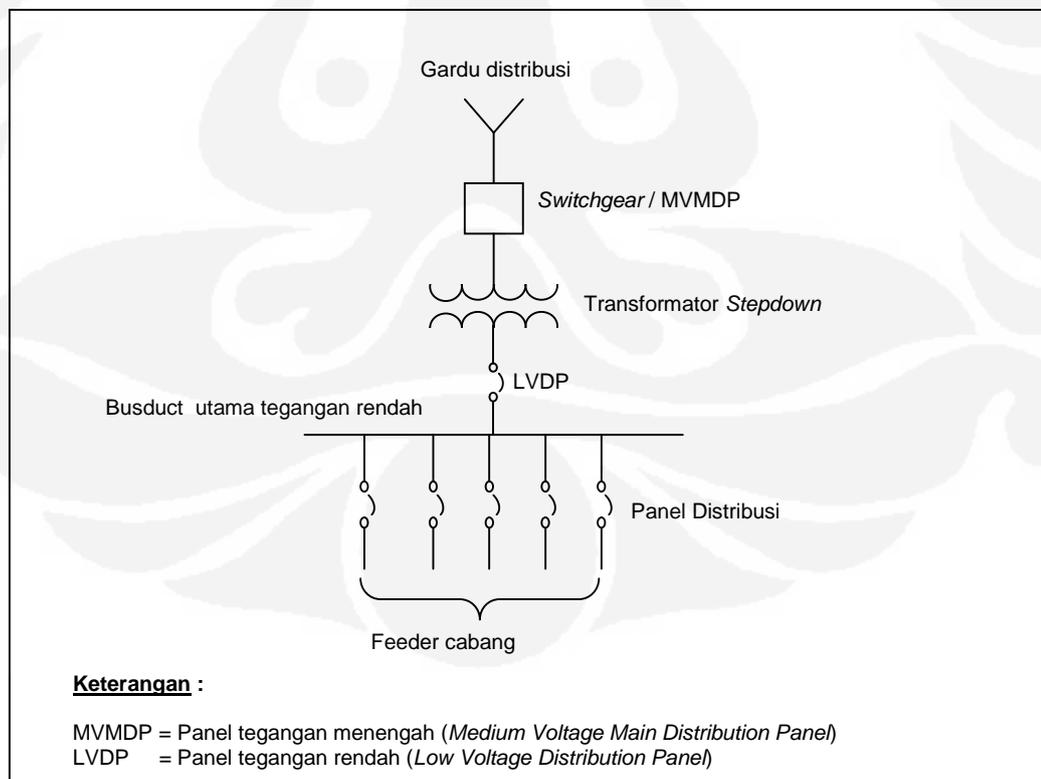
transformator *step up* tegangan tersebut dinaikkan menjadi 150-500 kV. Saluran transmisi tegangan tinggi (STTT) menyalurkan tenaga listrik menuju pusat penerima untuk mengantisipasi kerugian daya hilang (*power loss*) yang kemudian di beberapa tempat akan diturunkan tahap demi tahap.

Pada gardu induk (GI), tenaga listrik yang diterima kemudian dilepaskan menuju transformator distribusi (TD) dalam bentuk tegangan menengah 20 kV. Melalui transformator distribusi yang berupa transformator penurun tegangan (*step down*) di berbagai pusat beban, tegangan tersebut diturunkan menjadi tegangan rendah 220/380 V yang akhirnya diterima konsumen.

Fungsi dari saluran distribusi adalah untuk mendistribusikan energi listrik dari gardu distribusi ke beban dengan mengalirkan tegangan rendah sehingga siap untuk dipakai beban di sisi konsumen.

2.3 KOMPONEN DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK DI GEDUNG BERTINGKAT (*HIGHRISES BUILDING*)

Diagram sistem distribusi energi listrik di gedung bertingkat secara umum diperlihatkan pada Gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.2 Diagram sistem distribusi energi listrik

2.3.1 Gardu Induk (*substation*)

Gardu distribusi atau gardu induk adalah suatu bangunan instalasi listrik yang menjadi terminal ujung pelayanan tegangan menengah dari perusahaan penyedia energi listrik (PLN).

Gardu yang diterapkan di gedung bertingkat biasanya dibuat khusus di area tertentu dan terbuat dari beton. Dan dari gardu distribusi inilah suplai energi listrik kemudian disalurkan ke panel tegangan menengah atau *medium voltage main distribution panel* (MVMDP).

Pemerintah, melalui Keputusan Presiden No.67 Tahun 1994 telah membakukan penggolongan pelanggan berdasarkan berbagai aspek yang meliputi penggunaan tenaga listrik dengan nama Golongan Tarif Tenaga Listrik. Berdasarkan Golongan Tarif Tenaga Listrik itu, maka kita mengenal ada 24 golongan pelanggan PT. PLN (PERSERO).

Tabel 2.1 Golongan tarif untuk golongan pelanggan berdaya beban tinggi

S - 4	BADAN SOSIAL BESAR	TM	201 kVA KEATAS
SS - 4	BADAN SOSIAL BESAR DIKELOLA SWASTA UNTUK KOMERSIAL	TM	201 kVA KEATAS
U - 3	USAHA BESAR	TM	201 kVA KEATAS
R - 4	RUMAH TANGGA BESAR	TR	6601 VA KEATAS
H - 3	PERHOTELAN BESAR	TM	201 kVA KEATAS
I - 4	INDUSTRI MENENGAH	TM	201 kVA KEATAS
G - 2	GEDUNG PEMERINTAH BESAR	TM	201 KVA KEATAS

Sumber : Golongan Tarif Tenaga Listrik PT. PLN (PERSERO) Distribusi Jakarta raya dan Tangerang (<http://www.indo.net.id/pln/htdocs/pengol.htm>)

Untuk lengkapnya 24 golongan pelanggan menurut PT. PLN (PERSERO) itu dapat dilihat pada tabel di dalam lampiran.

2.3.2 Transformator *Step Down*

Transformator *step down* adalah transformator pada tegangan output kumparan sekunder yang lebih rendah dibandingkan dengan tegangan input pada kumparan primer. Jenis transformator ini mempunyai lilitan sekunder yang kurang daripada pada lilitan kumparan primer.

Perbandingan antara jumlah lilitan primer dengan sekunder, menentukan perbandingan tegangan primer dengan sekunder dari transformator.

$$\text{Perbandingan Lilitan} = \frac{N_P}{N_S} = \frac{V_P}{V_S} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan,

N_P = Jumlah lilitan primer

N_S = Jumlah lilitan primer

V_P = Tegangan primer (volt)

V_S = Tegangan sekunder (volt)

2.3.3 Panel Distribusi

Ada banyak ragam dari fungsi gedung tipe *highrises building*. Dan pada umumnya gedung bertingkat tipe *highrises building* ini digunakan sebagai perkantoran, hunian (apartemen), atau lainnya. Fungsi yang berbeda ini menjadikan penamaan panel distribusi masing-masing sering berbeda dan di tempat yang berbeda terkadang juga memiliki sebutan nama yang berbeda. Tetapi pada umumnya panel-panel distribusi yang ada di gedung bertingkat (*highrises building*) adalah sebagai berikut :

- a. MVMDP
- b. LVDP
- c. Panel distribusi tiap lantai
- d. Panel khusus dari genset (*emergency*)
- e. Panel elektronik
- f. Panel *lift*

- g. Panel pompa sumpit
- h. Panel penerangan luar
- i. Panel *gondola*
- j. Panel khusus seperti kolam renang, mini market, salon, *bank* (jika ada), dll

2.3.3 A. Panel Tegangan Menengah (MVMDP)

Panel tegangan menengah atau *medium voltage main distribution panel* (MVMDP) ini juga dikenal dengan sebutan *cubicle*. Berfungsi langsung sebagai alat penghubung dan pemutus antara tegangan menengah (TM) atau arus yang masuk ke trafo (gardu yang lain).

Di dalam panel ini biasanya dilengkapi dengan *arrester* petir atau disingkat *arrester*. Sesuai dengan namanya, *arrester* adalah suatu alat pelindung bagi peralatan tenaga listrik terhadap surja petir. Alat pelindung terhadap gangguan surya ini berfungsi melindungi sistem tenaga listrik dengan cara membatasi surja tegangan yang lebih dan mengalirkannya ke tanah.

Arrester di MVMDP harus dapat melewati surja arus ketanah tanpa mengalami kerusakan dan berlaku sebagai jalan pintas sekitar isolasi. *Arrester* membentuk jalan yang mudah untuk dilalui arus kilat atau petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih yang tinggi pada peralatan. *Arrester* juga dimaksudkan untuk melindungi peralatan yang diakibatkan oleh tegangan lebih *internal* seperti surja hubung, selain itu *arrester* juga merupakan kunci dari koordinasi isolasi suatu sistem tenaga listrik. Bila surja (*surge*) datang ke gardu induk *arrester* bekerja melepaskan muatan listrik (*discharge*) serta mengurangi tegangan tidak normal (*abnormal*) yang akan mengenai peralatan gardu induk.

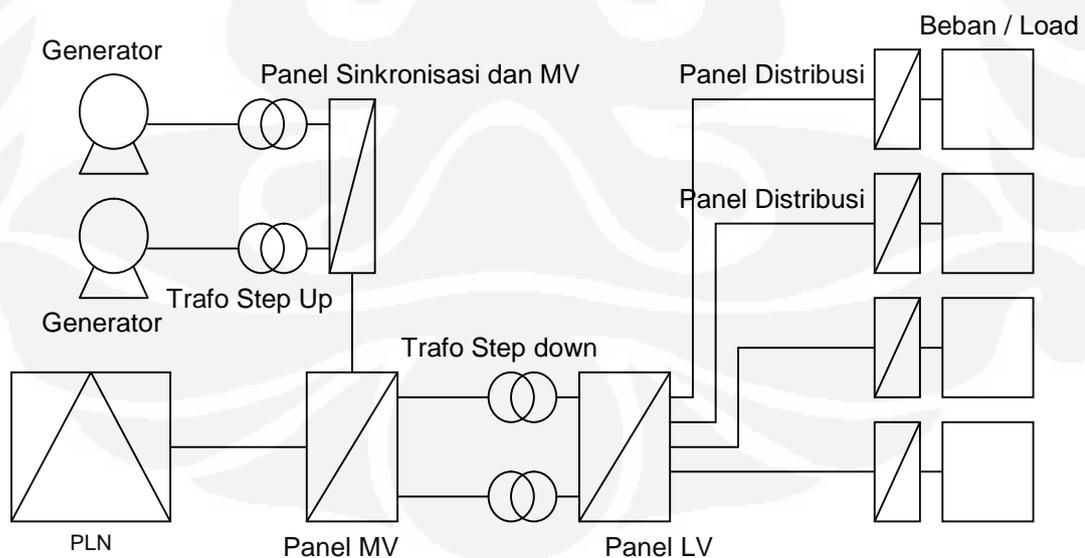
Prinsipnya kerja *arrester* adalah membentuk jalan yang mudah dilalui oleh petir, sehingga tidak timbul tegangan lebih yang tinggi pada sistem di MVMDP. Meskipun demikian pada kondisi normal *arrester* harus bisa berlaku sebagai isolator juga yang berarti setelah surja/tegangan lebih itu hilang *arrester* harus dengan cepat kembali menjadi isolator.

Pada pokoknya *arrester* ini terdiri dari dua unsur, yaitu sela api (*spark gap*) dan tahanan kran (*valve resistor*). Keduanya dihubungkan secara seri. Batas atas dan bawah dari tegangan percikan ditentukan oleh tegangan sistem

maksimum dan oleh tingkat isolasi peralatan yang dilindungi. Seringkali masalah ini dapat dipecahkan hanya dengan menerapkan cara-cara khusus pengaturan tegangan (*voltage control*) oleh karena itu sebenarnya arrester terdiri dari tiga unsur diantaranya yaitu sela api (*spark gap*), tahanan kran (*valve resistor*) serta tahanan katup yang dilengkapi sistem pengaturan atau pembagian tegangan (*grading sistem*).

Di tiap kubikel biasanya dilengkapi dengan sistem yang biasa dikenal dengan *protection, metering* dan *monitoring* dan *control unit comprising* (PMCU). Komponen ini adalah instrument transformator tegangan dan trafo arus, relai proteksi, alat ukur tegangan dan arus, relai tegangan, dan lampu tanda (*sign lamp*). Transformator tegangan di dalam PMCU berfungsi sebagai penurun tegangan menengah menjadi tegangan rendah untuk besaran ukur sesuai dengan alat-alat ukur tegangan. Sedangkan transformator arus di dalam PMCU berfungsi untuk menurunkan arus besar pada tegangan menengah tersebut menjadi arus yang lebih kecil pada tegangan rendah untuk besaran ukur arus.

Suplai energi listrik dari arah pembangkit listrik gedung (*generator set*) di gedung bertingkat, umumnya juga masuk dari sisi incoming MVMDP dengan tegangan menengah yang sama dengan suplai dari PLN.



Gambar 2.3 Suplai genset ke panel tegangan menengah

2.3.3 B. *Low Voltage Distribution Panel (LVDP)*

LVDP adalah panel distribusi induk tegangan rendah yang mengalirkan tegangan rendah (220V/380V) hasil dari keluaran (*output*) transformator *step down* untuk segera langsung dimanfaatkan ke panel-panel beban di tiap lantai gedung.

Faktor permintaan atau *demand factor* (DF) adalah perbandingan permintaan maksimum sistem dengan beban yang tersambung pada sistem, atau bagian dari pertimbangan sistem. Dan nilai *demand factor* umumnya selalu bernilai dibawah satu. Tabel tentang *demand factor* dapat dilihat pada lampiran.

Keanekaragaman faktor atau *diversity factor* adalah perbandingan jumlah permintaan individual maksimum sub-bagian dari sistem, atau sebagian dari sistem, dengan permintaan maksimum keseluruhan sistem, atau sebagian dari sistem, dengan pertimbangan. Dan nilai keanekaragaman faktor ini biasanya lebih dari satu. Tabel tentang *diversity factor* ini dapat dilihat pada lampiran.

2.3.3 C. *Panel Distribusi Lantai*

Panel distribusi lantai adalah panel yang menjadi pusat sistem kelistrikan dari keseluruhan beban di lantai gedung. Menjadi tempat untuk kegiatan perawatan gedung (*maintenance*) dan sebagai pengisolasi jika ada permasalahan kelistrikan pada lantai yang diproteksi.

Untuk aplikasi di gedung bertingkat, pada umumnya suplai energi listrik akan dibagi lagi ke panel-panel ruangan kantor (*office*), panel koridor ruangan maupun panel toilet dan ruang janitor.

Letak panel distribusi umumnya dekat dengan jalan keluar masuk antar lantai, seperti dekat dengan ruang lift atau tangga darurat sehingga mudah dijangkau dan mudah dalam pemeliharannya

2.3.3 D. *Panel Suplai Darurat (Emergency)*

Panel suplai darurat (*emergency*) adalah panel distribusi tegangan rendah yang mengatur agar sistem tetap memiliki aliran tenaga listrik meskipun listrik dari perusahaan penyedia energi listrik (PLN) diputus karena kondisi darurat seperti misalnya saat terjadinya kebakaran di gedung.

Suplai tenaga darurat biasanya dikhususkan pada tempat evakuasi seperti tangga kebakaran sehingga tidak jarang panel ini sering disebut sebagai panel utama kebakaran.

Ciri umum dari panel ini adalah digunakannya kabel tahan api atau *fire resistance cable* (FRC) baik untuk suplainya maupun untuk distribusi ke beban *emergency*. Kabel FRC adalah kabel yang standarnya harus tahan api hingga 600°C.

2.3.3 E. Panel Elektronik

Panel elektronik mengatur suplai daya pada beban elektronik seperti *fire alarm*, sistem suara (*sound system*), sistem telepon, Sistem CCTV (*Closed-circuit television*), *Master Antenna TV* (MATV) maupun *building automatic system* (BAS).

2.4 KOMPONEN DISTRIBUSI DAN ALAT PROTEKSI DI DALAM PANEL

2.4.1 Kabel / Penghantar

Menurut PUIL 2000 pasal 7.1.1 tentang persyaratan umum penghantar, menerangkan bahwa “semua penghantar yang digunakan harus dibuat dari bahan yang memenuhi syarat, sesuai dengan tujuan penggunaannya, serta telah diperiksa dan diuji menurut standar penghantar yang dikeluarkan atau diakui oleh instansi yang berwenang.”

Dilihat dari jenisnya penghantar dibedakan menjadi kabel instalasi, kabel tanah dan kabel fleksibel. Kabel instalasi ini digunakan untuk instalasi penerangan, jenis kabel yang banyak digunakan untuk instalasi rumah tinggal yang pemasangannya tetap yaitu NYA dan NYM. Kabel tanah biasanya dipasang dibagian area taman. Kabel tanah ini dapat berupa kabel tanah termoplastik tanpa perisai maupun jenis thermoplastik berperisai. Sedangkan kabel fleksibel adalah kabel yang biasa dipakai di bagian lift.

Kode pengenal kabel dapat dikenali dengan menggabungkan huruf berikut :

- | Huruf Kode | Komponen |
|------------|---|
| • N | Kabel jenis standar dengan tembaga sebagai penghantar |

- NA Kabel jenis standar dengan aluminium sebagai penghantar
- Y Isolasi PVC
- re Penghantar padat bulat
- M Selubung PVC
- A Kawat Berisolasi
- rm Penghantar bulat berkawat banyak
- se Penghantar padat bentuk sektor
- sm Penghantar dipilin bentuk sektor
- -1 Kabel warna urat dengan hijau-kuning
- -0 Kabel warna urat tanpa hijau-kuning.

2.4.2 Penghantar Rel (*Busbar*)

Sistem rel yang dipakai pada panel induk sistem 3 fasa di gedung bertingkat bisa disebut dengan “Sistem 5 rel”. Tiga rel diperuntukkan untuk penghantar 3 fasa masing-masing L1/R, L2/S, dan L3/T, satu rel diperuntukkan untuk hantaran netral dan satu lagi untuk hantaran pentanahan (*grounding*), yang diletakkan bagian bawah di dalam panel. Sedangkan untuk rel fasanya dipasang pada bagian atas secara mendatar.

Sehubungan dengan kapasitas pembebanan dari rel utama ini, ukuran rel harus ditentukan dengan cermat. Sebagai dasar untuk menentukan ukuran rel diantaranya adalah : kondisi operasi normal dan rating arusnya, kondisi hubung singkat (berupa panas yang dibangkitkan diakibat oleh arus hubung singkat tersebut) dan besarnya ketegangan dinamis. Dengan demikian data-data dari pabrik pembuat rel ini harus relevan dengan standar desain panel yang telah ditetapkan sesuai dengan ketentuan.

Hantaran rel untuk pentanahan secara listrik harus dihubungkan ke kerangka panel dan ukurannya diperhitungkan agar mampu dialiri oleh setiap arus hubung singkat yang mungkin timbul. Ukuran rel penghantar untuk hantaran pentanahan berdasarkan pengalaman adalah minimal 25% kali ukuran rel penghantar fasanya.

2.4.3 MCB, MCCB dan ACB

MCB sering disebut juga pengaman otomatis. Untuk penerapan di gedung bertingkat pengaman lebur sudah banyak ditinggalkan, mengingat pengaman lebur/sekering tidak efisien dibandingkan penggunaan MCB. Pengaman otomatis ini dapat memutuskan sirkit secara otomatis apabila arusnya melebihi setting dari MCB tersebut. Pengaman otomatis dapat langsung dioperasikan kembali setelah mengalami pemutusan (*trip*) akibat adanya gangguan arus hubung singkat dan beban lebih.

Jenis-Jenis MCB dibagi berdasarkan waktu pemutusannya, pengaman-pengaman otomatis yaitu : Otomat-L, Otomat-H, dan Otomat-G.

1. Otomat-L

Otomat-L dipakai untuk pengaman jenis hantaran, misalnya seperti hantaran *feeder*. Pada otomat jenis ini pengaman termisnya disesuaikan dengan meningkatnya suhu hantaran. Apabila terjadi beban lebih dan suhu hantarnya melebihi suatu nilai tertentu, elemen dwi logamnya akan memutuskan arusnya. Kalau terjadi hubung singkat, arusnya diputuskan oleh pengaman elektromagnetiknya. Untuk arus bolak-balik adalah sama dengan 4 In-6 In dan pemutusan arusnya berlangsung dalam waktu 0.2 detik.

2. Otomat-H

Jenis Otomat ini digunakan untuk instalasi rumah. Secara termis jenis ini sama dengan Otomat-L. Tetapi pengaman elektromagnetiknya memutuskan dalam waktu 0,2 detik, jika arusnya sama dengan 2,5 In-3 In untuk arus bolak-balik. Pada instalasi rumah, arus gangguan yang rendah pun harus diputuskan dengan cepat. Jadi kalau terjadi gangguan tanah, bagian-bagian yang terbuat dari logam tidak akan lama bertegangan.

3. Otomat-G

Jenis Otomat ini digunakan untuk mengamankan motor-motor listrik kecil untuk arus bolak-balik atau arus searah, alat-alat listrik dan juga rangkaian akhir besar untuk penerangan, misalnya penerangan pabrik. Pengaman elektromagnetiknya berfungsi pada 8 In-11 In untuk arus bolak-balik. Kontak-kontak sakelarnya dan ruang pemadam busur apinya memiliki konstruksi khusus.

Karena itu jenis Otomat ini dapat memutuskan arus hubung singkat yang besar, yaitu hingga 1500 A.

Sedangkan MCCB atau *Moulded Case Circuit Breaker* adalah alat pengaman yang berfungsi juga sebagai pengamanan terhadap arus hubung singkat dan arus beban lebih.

MCCB memiliki rating arus yang relatif tinggi dan dapat disetting sesuai kebutuhan. Spesifikasi MCCB pada umumnya dibagi dalam 3 parameter operasi yang terdiri dari:

1. U_e (tegangan kerja), spesifikasi standar MCCB digambarkan sebagai berikut: $U_e = 250\text{ V}$ dan 660 V
2. I_e (arus kerja), spesifikasi standar MCCB digambarkan sebagai berikut: $I_e = 40\text{ A}-2500\text{ A}$

2.4.4 Kontaktor

Kontaktor adalah instrumen elektromekanik yang dapat berfungsi sebagai penyambung dan pemutus rangkaian, yang dapat dikendalikan dari jarak jauh. Dan pergerakan kontak-kontaknya terjadi karena adanya gaya elektromagnet.

Kontak-kontak pada kontaktor ada dua macam yaitu kontak utama dan kontak bantu. Sedangkan menurut kerjanya, kontak-kontak dibedakan menjadi dua yaitu *normally open* (NO) dan *normally close* (NC).

Kontak NO adalah pada saat kontaktor tidak mendapat masukan listrik kontak terbuka, sedangkan pada saat kontaktor mendapat masukan listrik maka kontak akan tertutup. Sedangkan kontak NC adalah pada saat kontaktor tidak mendapat masukan listrik, kontak tertutup sedangkan pada saat kontaktor mendapat masukan listrik, kontak terbuka.

III

PERANCANGAN DIAGRAM SATU GARIS

RENCANA SISTEM DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK

3.1 TAHAP PERANCANGAN DISTRIBUSI KELISTRIKAN

Tahapan dalam perancangan sistem distribusi kelistrikan di bangunan bertingkat dapat dibagi menjadi 3 bagian yaitu:

1. Diagram garis vertikal
2. Diagram satu garis panel
3. Denah ruangan /lantai

3.2 DIAGRAM VERTIKAL DISTRIBUSI ENERGI LISTRIK

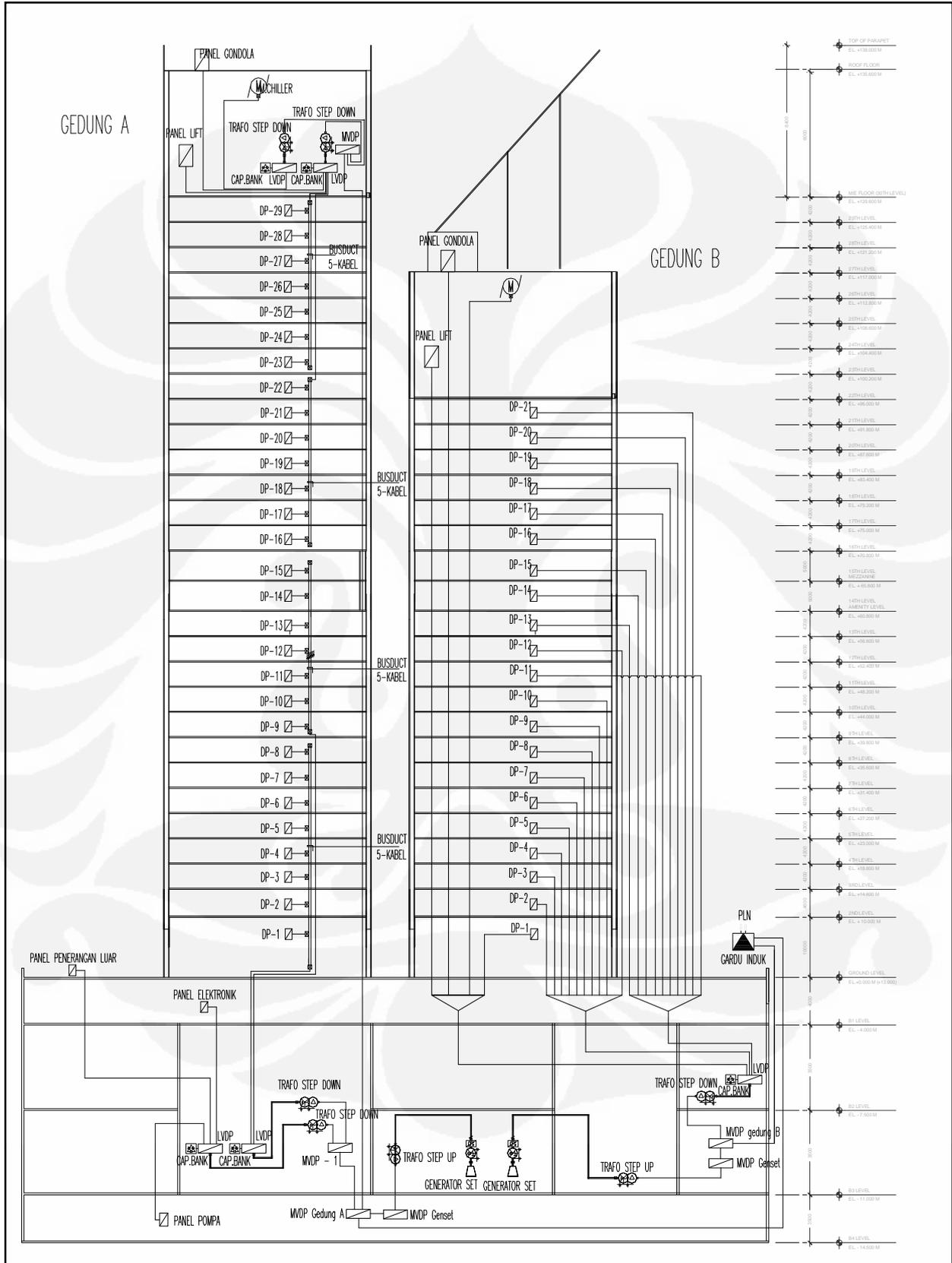
Tujuan pertama dari perancangan diagram vertikal adalah sebagai pemisahan dan sarana pengecekan penempatan posisi lantai panel-panel, genset, transformator dan gardu induk berada. Tahapan perancangan diagram vertikal yaitu:

1. Menggambar lantai-lantai gedung bertingkat secara keseluruhan.
2. Menaruh semua letak panel-panel yang akan digunakan, letak trafo ataupun letak gardu induk.
3. Melakukan pengecekan pada diagram gedung bertingkat.

Pada umumnya gambar gedung bertingkat *tipe highrises building*, minimal sudah mencakup item berikut :

- k. Gardu induk /gardu PLN
- l. Panel tegangan menengah /MVMDP
- m. Transformator penurun tegangan (*step down transformer*)
- n. Panel induk tegangan rendah /LVDP
- o. Generator set
- p. Transformator penaik tegangan (*step up transformer*)
- q. Panel distribusi tiap lantai
- r. Panel suplai darurat (panel *emergency*)
- s. Panel elektronik

- t. Panel lift
- u. Panel pompa sumpit



Gambar 3.1 Diagram vertikal sistem distribusi energi listrik

- v. Panel penerangan luar
 - w. Panel gondola
 - x. Panel kolam renang (jika ada)
 - y. Panel ruang khusus seperti mini market, salon, bank (jika ada), dll
4. Kemudian menentukan hubungan antar panel-panel atau panel dengan transformator penurun atau penaik tegangan.

Sedangkan tujuan kedua dari perancangan diagram vertikal adalah untuk melihat tinggi jarak antar lantai, sehingga bagi pelaksana lapangan seperti kontraktor ME bisa mengestimasi kebutuhan kabel *feeder* yang akan digunakan.

Untuk deskripsi *layout* diagram vertikal distribusi tenaga listrik dapat dilihat pada Gambar 3.1.

3.3 DIAGRAM SATU GARIS DISTRIBUSI ENERGI LISTRIK

Tujuan dari diagram satu garis panel adalah deskripsi rencana isi sistem proteksi yang ada di dalam panel, deskripsi rencana kabel yang akan menghubungkan panel dengan beban maupun deskripsi jenis penghantar yang akan digunakan antar panel atau transformator.

Perancangan diagram rencana sistem distribusi kelistrikan di bangunan bertipe *highrises building* adalah dimulai dengan merancang sistem dari sisi beban (*load*).

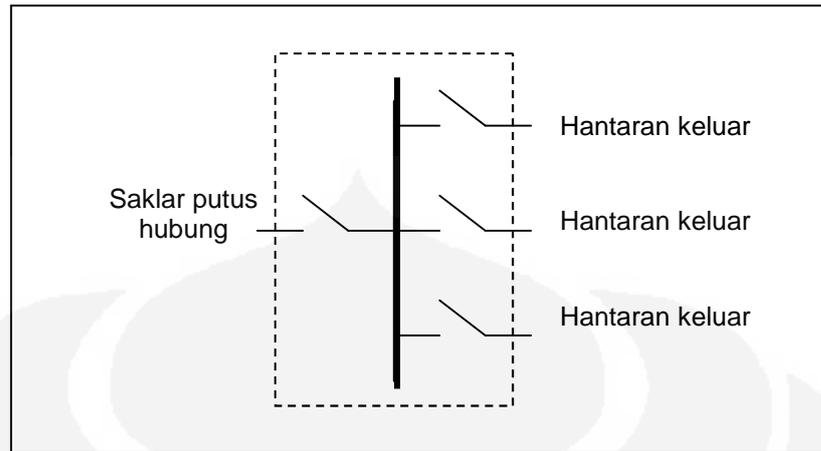
Beban dapat berupa jenis elektrikal seperti beban penerangan, beban stop kontak, beban stop kontak khusus seperti: stop kontak AC, stop kontak *handdryer*, dan stop kontak gondola, beban penerangan luar (*special lighting*) dan beban motor yang digunakan di gedung.

Beban juga ada dari jenis beban elektronik dan biasa diatur khusus dalam diagram rencana satu garis tersendiri. Beban elektronik ini meliputi : sistem alarm kebakaran (*fire alarm system*), sistem suara (*sound system*), sistem telepon, sistem kamera keamanan (CCTV), sistem televisi kabel (MATV) maupun sistem kontrol otomatis (*building automatic system*).

Diagram satu garis dalam perancangan distribusi gedung bertingkat biasanya meliputi :

- Panel tipe ruangan

- Tarikan ke beban yang berupa instalasi penerangan harus menggunakan kabel tembaga minimal $1,5 \text{ mm}^2$ (PUIL 2000). Pada umumnya para perancang merekomendasikan kabel NYM $3 \times 1,5 \text{ mm}^2$ untuk instalasi penerangan pada gedung bertingkat. Tiga kawat dalam tiap tarikan tersebut adalah untuk keperluan kabel fasa, kabel netral dan kabel pentanahan.
Kabel pentanahan di gedung bertingkat adalah untuk proteksi internal arus lebih terutama peluang kemungkinan tersambar petir yang besar karena ketinggiannya.
 - Tarikan ke beban yang berupa instalasi stop kontak minimal harus menggunakan kabel tembaga minimal $2,5 \text{ mm}^2$.
 - Sedangkan untuk menghitung besar penampang bisa dilihat pada rumus hitungan besar penampang kabel di bawah.
 - Beban yang tidak besar atau kurang dari 1500 watt dapat dipararel dalam satu tarikan kabel.
3. Menentukan proteksi arus lebih untuk masing-masing tarikan kabel.
 - *Ampere frame* MCB yang biasa diproduksi di pabrik adalah MCB 4A, MCB 6A, MCB 10A, MCB 16A, MCB 20A, MCB 25A, MCB 35A, MCB 50A, MCB 63A, dll.
 - Besar rating dapat dihitung dengan rumus hitungan pembahasan setelah ini.
 4. Menentukan busbar untuk panel.
 - Busbar dapat dihitung dengan cara yang mirip mencari penampang kabel yaitu menghitung arus nominalnya dahulu.
 - Busbar yang diproduksi oleh pabrik adalah sesuai dengan tabel standar busbar yang ada di PUIL 2000 (dapat dilihat di lampiran).
 5. Menentukan proteksi *incoming* panel.
 - Dalam perancangan panel ruangan, sesuai dengan pernyataan dalam PUIL 2000 tentang batasan aplikasi panel distribusi yaitu bahwa pada setiap penghantar keluar ke beban setidaknya dipasang satu proteksi arus dan dalam satu ruangan harus ada saklar putus hubung.
 6. Menentukan besar penampang *grounding* panel.



Gambar 3.3 Panel ruangan secara sederhana

Proteksi arus lebih dapat berupa saklar hubung putus seperti: MCB, MCCB atau ACB, dengan tujuan utama adalah:

1. Pengisolasian terhadap gangguan ruangan agar gangguan tidak juga berdampak ke ruangan lain.
2. Pengisolasian ketika pemeliharaan atau ketika ada pelayanan kerusakan atau penambahan instalasi di dalam ruangan.

Hal ini sesuai dengan PUIL 2000 yang menyatakan bahwa saklar putus hubung ini sudah seharusnya dilengkapi proteksi terhadap arus lebih dan untuk besar saklar putus hubung ini adalah minimal memiliki ketahanan sama besar dengan arus hubung pendek yang mungkin terjadi dalam rangkaian yang diamankan.

Kabel instalasi ke beban penerangan harus selalu dari jenis tembaga saja. Namun jika kabel itu untuk kabel *feeder* atau berupa kabel berpenampang lebih besar, bisa menggunakan jenis tembaga atau menggunakan jenis aluminium.

A. Tarikan Kabel

Besar luas penampang kabel tembaga yang digunakan dalam instalasi tarikan kabel adalah mengacu pada cara hitung di PUIL 2000 [1] :

$$I_{KHA} = 125\% \times \left(\frac{P_{FASA}}{V_{FN}} \right) \dots\dots\dots(3.1)$$

Dengan,

I_{KHA} = Nilai nominal kemampuan hantar arus penghantar (ampere)

P_{FASA} = Daya beban yang melewati kabel disalah satu fasa yang dihitung (watt)

V_{FN} = Tegangan salah satu fasa yang dihitung ke netral (volt)

Dalam PUIL 2000, luas penampang kabel instalasi penerangan yang terpasang tidak boleh kurang dari 1,5 mm².

Sedangkan untuk beban instalasi stop kontak luas penampang kabelnya minimal berdiameter 2,5 mm².

Besarnya kabel dapat dilihat pada tabel PUIL dengan acuan nilai I_{KHA} ini

C. Pengaman arus lebih [1][7]

Untuk pengamanan arus lebih beban instalasi dapat dihitung dengan rumusan berikut:

$$I_{RAT} = 250\% \times \frac{P_{FASA}}{V_{FN}} \dots\dots\dots(3.2)$$

Dengan,

I_{RAT} = Nilai rating pengaman arus lebih beban instalasi (ampere)

P_{FASA} = Daya di salah satu fasa yang dihitung (watt)

V_{FN} = Tegangan salah satu fasa yang dihitung ke netral (volt)

D. Busbar [1]

Untuk menghitung besar luas penampang busbar panel dapat menggunakan rumusan seperti pada rumusan mencari besar luas penampang kabel tembaga yaitu:

$$I_{B-AKHIR} = (I_{NTertinggi} \times 125\%) + I_{N2} + I_{N3} \dots\dots\dots(3.3)$$

Dengan,

$I_{B-AKHIR}$ = Nilai kemampuan hantar arus busbar pada sirkit akhir(ampere)

$I_{NTertinggi}$ = Nilai nominal kemampuan hantar arus (KHA) yang tertinggi diantara cabang distribusi (ampere)

I_{N2} dan I_{N3} = Nilai rating pengaman lain yang lebih kecil daripada $I_{NTertinggi}$ (ampere)

E. Pengaman akhir sirkit cabang [1]

Untuk menentukan rating pengaman akhir sirkit cabang yang digunakan sebagai pengisolasi area ruangan atau jika ada gangguan, adalah dihitung sebagai berikut :

$$I_{PA} = (I_{NTertinggi} \times 250\%) + I_{N2} + I_{N3} \dots\dots\dots(3.4)$$

Dengan,

I_{PA} = Nilai rating maksimum pengaman arus lebih pada sirkit akhir (ampere)

$I_{NTertinggi}$ = Nilai rating maksimum pengaman arus lebih (ampere)

I_{N2} dan I_{N3} = Nilai-nilai rating pengaman lain yang lebih kecil daripada $I_{NTertinggi}$ (ampere)

F. Kabel akhir sirkit cabang [1]

$$I_N = (I_{NTertinggi} \times 125\%) + I_{N2} + I_{N3} \dots\dots\dots(3.5)$$

Dengan,

I_N = Nilai kemampuan hantar arus kabel pada sirkit akhir (ampere)

$I_{NTertinggi}$ = Nilai rating maksimum pengaman arus lebih (ampere)

I_{N2} dan I_{N3} = Nilai rating pengaman yang lebih kecil daripada yang lain (ampere)

G Kabel *Grounding* [2]

$$A_{GND} = 50\% \times A_{FEEDER} \dots\dots\dots(3.6)$$

Dengan,

A_{GND} = Luas penampang kabel *grounding* panel (mm²)

A_{FEEDER} = Luas penampang kabel pada sirkit akhir (mm²)

Adapun ukuran dari hasil perhitungannya dapat disesuaikan dengan standar internasional yang biasa diproduksi pabrik kabel yaitu dengan Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

Saat ini bangunan bertingkat di Indonesia juga ada yang telah mulai menggunakan jenis kabel *feeder* aluminium seperti misalnya di JaCC *hyperstore* dan Marina Ancol *Residence*, mengingat banyaknya kerugian dalam proses pemasangan kabel tembaga di lapangan (kasus pencurian) dan faktor lebih

murahnya *budget* yang akan dikeluarkan meski kabel aluminium berpenampang yang lebih lebar dari kabel tembaga untuk segi teknis yang sama

Tabel 3.1 Ukuran standar luas penampang kabel instalasi jenis tembaga

Luas penampang (mm ²)
1,5
2,5
4
6
10
16
25
35

Sumber: <http://www.geocities.com/kelistrikan/powercable.htm>

Tabel 3.2 Ukuran standar luas penampang kabel instalasi (jenis tembaga dan aluminium)

Luas penampang (mm ²)
50
70
95
250
150
185
240
300
300

Sumber: <http://www.geocities.com/kelistrikan/powercable.htm>

Nilai resistivitas untuk aluminium adalah $2,826 \cdot 10^{-8}$ m pada suhu 20°C. Sehingga rasio luas penampang kabel antara kabel tembaga dan kabel aluminium dapat diketahui melalui rasio massa jenis antara tembaga dan massa jenis aluminium yaitu :

$$\rho_{Cu} : \rho_{Al} = 1,72.10^{-8} : 2,82.10^{-8} \dots\dots\dots(3.7)$$

$$\rho_{Cu} : \rho_{Al} = 1 : 2 \dots\dots\dots(3.8)$$

Sehingga untuk pekerjaan di lapangan, jika sudah terhitung dalam bentuk jenis kabel jenis tembaga. Maka bila mau dikonversi ke jenis aluminium tinggal dinaikkan satu *step* dari standar jenis tembaga pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 di atas.

3.3.2 Panel Induk Tegangan Rendah (LVDP)

Beban panel-panel distribusi, panel *motor control center*, panel suplai darurat (panel *emergency*) kemudian dijumlahkan dan dikumpulkan di panel induk tegangan rendah (LVDP) ini. Dari panel LVDP inilah dapat diketahui seberapa besar kapasitas beban keseluruhan yang diperlukan oleh gedung.

Langkah yang perlu diambil dalam merancang diagram panel induk tegangan rendah (LVDP) ini adalah:

1. Membuat diagram satu garis yang berisi rincian beban-beban panel distribusi dari lantai-lantai yang ada dalam gedung, panel suplai darurat (panel *emergency*).
2. Menentukan kabel *feeder* untuk masing-masing konduktor penghubung panel.
3. Menentukan proteksi arus lebih untuk masing-masing kabel *feeder* tersebut.
4. Menentukan busbar untuk panel.
5. Menentukan saklar *incoming* panel.
6. Menentukan besar penampang *grounding*.

Karena panel LVDP adalah panel induk tegangan rendah dari beberapa atau semua panel subdistribusi yang ada maka pengaman arus lebih di dalam panel LVDP biasanya memiliki rating yang tinggi. Dan sebagai pengaman arus lebih yang di dalam panel LVDP ini bisa digunakan MCCB atau ACB.

A. Menghitung perkiraan beban permintaan (*Demand Load*) [4]

Demand load dapat dihitung dengan rumusan berikut :

$$Demand Load = DF \times P \dots\dots\dots(3.9)$$

Dengan,

Demand Load = Beban permintaan (watt)

DF = Faktor permintaan yang dapat dilihat pada tabel

P = Total daya beban terpasang (watt)

Jika sistem di gedung direncanakan akan mengalami penambahan daya ke depan, maka sistem bisa dirancang dengan menentukan nilai faktor daya ($\cos N$) Dan rata-rata penggunaan daya yang terjadi di gedung dapat sebaiknya diperkirakan dengan hitungan berikut:

$$\text{Overall Demand Load} = \frac{\text{Demand Load}}{\text{Diversity Factor}} \dots\dots\dots(3.10)$$

$$\text{Demand Load dengan pf} = \frac{\text{Overall Demand Load}}{\text{Cos}\phi} \dots\dots\dots(3.11)$$

Dengan,

Overall Demand Load = Rata-rata penggunaan daya di gedung (watt)

Demand Load = Beban permintaan (watt)

Diversity Factor = Faktor keseragaman yang dilihat pada tabel

Demand Load dengan pf = Beban permintaan dengan memperhatikan faktor daya

Cos N = Faktor daya yang diperkirakan terjadi.

Arus dari beban permintaan dapat dihitung sebagai berikut :

$$I_{\text{DEMAND}} = \frac{\text{Demand Load dengan pf}}{\sqrt{3} \cdot V_{LL}} \dots\dots\dots(3.12)$$

Dengan,

I_{DEMAND} = Arus dari beban permintaan (ampere)

Demand Load dengan pf = Beban permintaan dengan memperhatikan faktor daya

V_{LL} = Tegangan *line to line* (volt)

3.3.3 Kapasitor

Pemasangan kapasitor (*capacitor bank*) sebagai perbaikan faktor daya ($\cos N$) dapat dihitung sebagai berikut :

$$S = \sqrt{(P^2 + Q^2)} \dots\dots\dots(3.13)$$

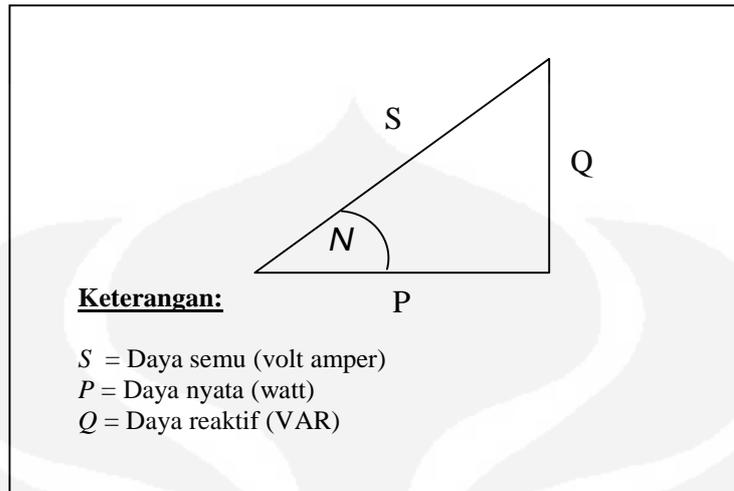
$$Q = S \times \text{Sin}\phi \dots\dots\dots(3.14)$$

Dengan,

S = Daya semu (volt ampere)

P = Daya nyata (watt)

Q = Daya reaktif (VAR)



Gambar 3.4. Sketsa vektor sudut daya

3.3.4 Trafo Penurun Tegangan (*Step down transformer*)

Tahapan yang dilakukan untuk menentukan rancangan transformator adalah :

1. Menentukan kapasitas transformator
2. Menentukan jenis pendingin transformator.
3. Menentukan impedansi transformator
4. Menentukan tipe belitan transformator

A. Menghitung perkiraan kapasitas transformator

Untuk menentukan kapasitas transformator dapat menggunakan hasil hitungan penjumlahan beban terpasang di gedung dibagi dengan perkiraan *power factor* di panel induk tegangan rendah (LVDP).

$$\text{Kapasitas transformator} = \frac{P}{\cos \phi} \dots\dots\dots(3.15)$$

Dengan,

$\text{Kapasitas transformer}$ = Total kapasitas transformator (watt)

$\cos N$ = Faktor daya yang diperkirakan terjadi.

P = Total daya beban terpasang (watt)

B. Menentukan jenis pendingin transformator [6]

Jenis pendingin transformator ada dua macam yaitu : cair dan udara. Untuk jenis pendingin yang cairan (*liquid*) adalah askarel, *sinthetic nonflammable liquid* dan oli mineral.

Jika transformator berkapasitas lebih dari 500 kVA maka sebaiknya jenis pendinginnya adalah cairan (*liquid*). Dan pada umumnya pabrik cenderung membuat transformator pendingin cairan dengan bahan oli.

Sedangkan transformator dengan pendingin udara (dengan *fan*) biasa dikenal dengan nama trafo kering.

Pemilihan antara trafo cairan dengan trafo kering juga berdasarkan tempat lokasi yang akan digunakan sebagai lokasi transformator. Tingkat kemungkinan dari sambaran petir karena tidak memiliki sistem proteksi penangkal petir yang sempurna, kondisi lingkungan yang buruk (berdebu), tingkat kelembaban yang tinggi, persentase keasaman dan tingkat oksidasi yang membuat korosif yang tinggi maka sebaiknya sistem memakai transformator oil dan tidak dianjurkan untuk memakai trafo kering pada gedung bertingkat tersebut. Tetapi jika kondisi cukup baik dan tidak ada kemungkinan sambaran petir maka lebih baik menggunakan transformator kering karena lebih murah. Untuk penentuan antara trafo kering dan trafo cair juga dapat dilihat pada lampiran di belakang.

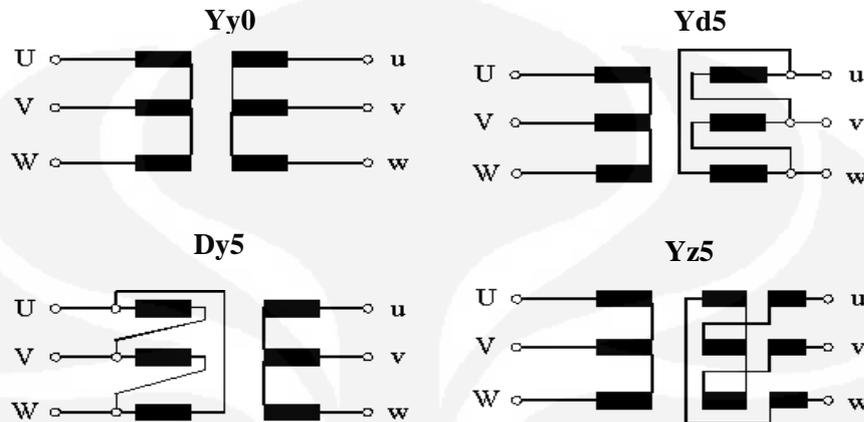
C. Menentukan tipe belitan transformator

Golongan hubungan menandakan bagaimana sebuah transformator kumparan-kumparannya saling dihubungkan. Untuk penetapan golongan hubungan ini dipergunakan tiga jenis tanda atau kode, yaitu:

- a. Tanda hubungan untuk sisi tegangan tinggi terdiri atas kode huruf kapital : I, D, Y dan Z
- b. Tanda hubungan untuk sisi tegangan rendah terdiri atas kode huruf kecil : i, d, y dan z
- c. Angka jam yang menyatakan bagaimana kumparan-kumparan pada sisi tegangan rendah terletak terhadap sisi tegangan tinggi menyatakan pergeseran fasa tegangan tinggi dan fasa tegangan rendah yang dinyatakan dalam urutan jam dan arah jam (dimana tiap jam bergeser 30^0).

Kemudian untuk kemudahan dari banyaknya kombinasi golongan hubungan pada transformator tersebut, pabrik-pabrik pada umumnya telah membatasi jumlah yang dianggap baku.

Golongan yang biasa digunakan dan dianjurkan adalah Yy0, Yd5, Dy5 dan Yz5.



Gambar 3.5 Pengaturan belitan trafo tiga fasa

Di Indonesia, gedung yang menggunakan trafo umumnya memasang trafo tipe belitan Dyn5. Maksudnya transformator menggunakan sistem 3 phase dengan tegangan sekunder yang akan mendahului tegangan primer sebesar $5 \times 30^0 = 150^0$, dengan konfigurasi lilitan delta pada sisi primer dan lilitan bintang yang memiliki netral pada sisi sekunder

D. Menentukan impedansi transformator

Menentukan impedansi ($Z\%$) dari trafo, dapat digunakan rumusan berikut:

$$\% X_{TOTAL} = \% X_1 + \% X_T \dots\dots\dots(3.16)$$

$$\% R_{TOTAL} = \% R_1 + \% R_T \dots\dots\dots(3.17)$$

$$\% Z_{TOTAL} = \% R_{TOTAL} + \% X_{TOTAL} \dots\dots\dots(3.18)$$

Dengan melihat besar kapasitas, para perancang umumnya dapat menentukan impedansi transformator adalah dengan melihat tabel brosur.

E. Menentukan kabel *feeder incoming* transformator

Perubahan tegangan di transformator mengakibatkan perubahan arus yang melewati kabel feeder dengan tidak mengubah besarnya daya yang dirubah. Terkecuali jika ada rugi-rugi yang ada di dalam trafo tersebut.

Dan untuk perbandingan lilitan dapat diketahui dengan melihat kembali model lilitan 3 fasa yang rencana akan dipakai untuk gedung.

Tabel 3.3 Perbandingan lilitan golongan hubungan pada belitan trafo 3 fasa

Golongan hubungan	Rasio lilitan
Yy0	W1/W2
Dy5	W1/(3.W2)
Yd5	(3.W1)/W2
Yz5	(2W1)/(3.W2)

Sumber: VDE-Vorschriften, Regeln für Transformatoren

Pada umumnya akan didapatkan besar luas penampang yang lebih kecil daripada pada sisi sekunder.

F. Menentukan busduct pada sisi outgoing transformator

Dengan daya yang besar, dan tegangan yang mulai kecil. Maka untuk mengatasi rugi-rugi daya yang besar, pada umumnya penghantar yang menghubungkan transformator step down dan panel induk tegangan rendah adalah berupa busduct tembaga.

Dan untuk mempersiapkan hal ini maka letak transformator biasanya tidak berjauhan dari panel induk tegangan rendah (LVDP).

$$I_{KHA} = (I_{KHA\text{Tertinggi}} \times 1,25\%) + I_{KHA2} + I_{KHA3} \dots \dots \dots (3.19)$$

Dengan ,

I_{KHA} = Nilai kemampuan hantar arus busduct (ampere)

$I_{NTertinggi}$ = Nilai rating maksimum pengaman arus lebih di cabang distribusi (ampere)

I_{N2} dan I_{N2} = Nilai rating pengaman yang lebih kecil daripada yang lain (ampere)

3.3.5 Suplai Tenaga Listrik Darurat (Genset) dan Trafonya

Untuk menentukan suplai darurat dari generator set dalam gedung, sebaiknya melalui tahapan berikut:

1. Menentukan kapasitas generator set

Untuk menentukan kapasitas dapat langsung dilihat dari jumlah beban yang ada di panel induk tegangan rendah (LVDP) atau jumlah kapasitas trafo step down yang dipasang.

2. Menentukan tegangan yang akan disuplai

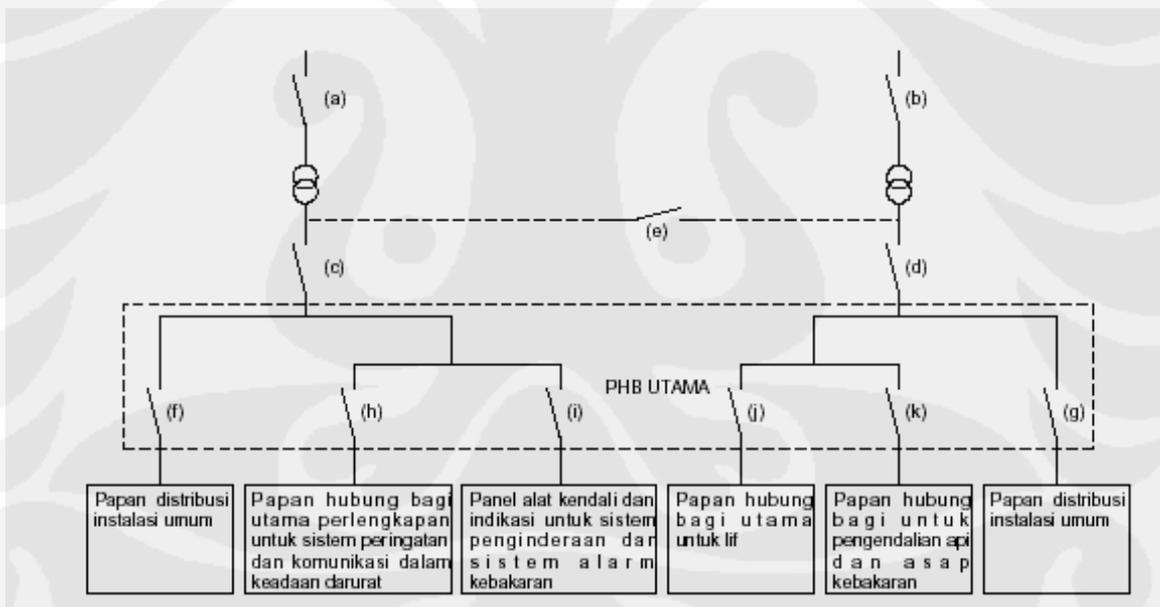
Untuk suplai gedung dengan beban yang besar perlu untuk menjaga dari kerugian hantaran, tegangan yang dipakai sebaiknya tegangan menengah juga dan akan masuk melalui incoming panel tegangan menengah (MVMDP).

3. Menentukan transformator *step up*-nya

4. Menentukan penghantar yang akan dipakai

Penghantar bisa menggunakan busduct ataupun dengan kabel feeder. Adapun cara untuk menghitungnya adalah sama dengan cara menghitung kabel feeder di panel sistem distribusi.

5. Menentukan proteksi yang akan dipakai.



Gambar 3.6. Suplai darurat

dimonitoring. MVMDP Genset digunakan mirip dengan panel tegangan menengah (MVMDP). Selain itu MVMDP Genset juga digunakan untuk sinkronisasi genset.

BAB IV

DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK DI GEDUNG TIPE *HIGHRISES BUILDING*

4.1. OBYEK RANCANGAN



Gambar 4.1 Rancangan gedung

Gedung yang dimaksud berada di daerah kuningan Jakarta dan sesuai cetak biru rencana pembangunan dimaksudkan sebagai gedung perkantoran (*office*) dan bukan untuk aplikasi hunian/apartemen.

A. Lantai 1 sampai lantai 13 (*floor plan low zone*) dan 16 sampai 29 (*floor plan high zone*) dipergunakan untuk ruang perkantoran dengan 6 ruangan bertipe A, B C, D dan F.



Gambar 4.2 Floor plan

B. Lantai 14 dan lantai 15 digunakan sebagai ruang fasilitas berupa *amenity* dan *mezzanine*.

C. Lantai basement I hingga basement IV dipergunakan untuk tempat parkir.

4.2. ANALISIS RANCANGAN HITUNGAN ELEKTRIKAL

Analisis rancangan membahas mengenai jenis panel yang dapat dibagi menjadi panel tipe ruangan, panel distribusi, panel induk tegangan rendah (LVDP) dan kapasitornya, transformator, MVMDP dan suplai generator set.

4.2.1. Panel Tipe Ruangan

Analisis rancangan beban elektrikal yang diambil dari data beban dari gambar construction proyek gedung ini memiliki cakupan yang sangat luas. Sehingga penulis hanya akan membahas beban di panel tipe ruang A lantai 3. Analisa rancangan tipe ruang yang yang lain seperti tipe B, tipe C, tipe D, tipe E dan tipe F akan dihitung dengan spread sheet program microsoft excel.

A. Beban Penerangan dan Stop kontak

Data beban di ruang tipe A di lantai 3 gedung ini adalah:

Lampu TL 3×18W.....	37 buah
Lampu TL 3X18W c/w Baterai.....	3 buah
Lampu DL 1X18W.....	16 buah
Stop kontak 400W.....	21 buah

Keseimbangan beban pada fasa R, fasa S, dan fasa T pada satu tarikan kabel sangat perlu diperhatikan, yaitu dengan alasan untuk mengantisipasi adanya arus netral yang berlebihan. Penulis mengatasi hal tersebut dengan bantuan *spread sheet* kecil di microsoft excel dengan model anak tangga (dapat dilihat di lampiran CD). Penulis juga meyakini bahwa perubahan jenis lampu yang akan dipakai untuk mengimbangi hitungan kuat cahaya tidak akan jauh berbeda dengan jenis lampu yang lain.

Total beban dengan 8 lampu TL 3 × 18 watt untuk satu garis tarikan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\text{Daya beban} = 8 \times (\text{daya lampu total} + \text{toleransi per tabung}) \dots\dots(4.1)$$

$$\text{Daya beban} = 8 \times (3 \times 8W) + (3 \times 5W) \dots\dots(4.2)$$

$$\text{Daya beban} = 552 \text{ watt} \dots\dots(4.3)$$

Sehingga pada diagram di fasa R dapat ditulis bahwa tarikan kabel pertama adalah 552 watt.

B. Kabel Instalasi [1]

Besar luas penampang kabel tembaga yang digunakan dalam instalasi tarikan ini dapat ditentukan dengan mencari kemampuan hantar arus kabel terlebih dahulu yaitu :

$$I_{KHA} = 125\% \times \left(\frac{P_{FASA}}{V_{FN}} \right) \dots\dots\dots(4.4)$$

$$I_{KHA} = 125\% \times \left(\frac{552}{220} \right) \dots\dots\dots(4.5)$$

$$I_{KHA} = 3,13 \text{ ampere}$$

Besar luas penampang dapat ditentukan dengan melihat tabel yang ada di dalam PUIL 2000.

Di dalam PUIL 2000, juga ditentukan bahwa luas penampang kabel beban instalasi penerangan adalah tidak boleh kurang dari $1,5 \text{ mm}^2$ dan untuk luas penampang kabel beban instalasi stop kontak adalah minimal berdiameter $2,5 \text{ mm}^2$.

Sehingga pada diagram satu garis di fasa R dapat ditulis bahwa tarikan kabel adalah dengan kabel NYM $3 \times 1,5 \text{ mm}^2$.

C. Pengaman Arus lebih [1]

Besar pengaman terhadap arus lebih yang rencana akan digunakan dalam tarikan instalasi dengan beban jenis penerangan ini, dapat ditentukan dengan mencari arus nominalnya terlebih dahulu yaitu :

$$I_{RAT} = \frac{P_{FASA}}{V_{FN}} \times 250\% \dots\dots\dots(4.6)$$

$$I_{RAT} = \frac{552}{220} \times 250\% \dots\dots\dots(4.7)$$

$$I_{RAT} = 6,27A$$

Arus sebesar 6,27 ampere ini adalah besar *ampere trip* (AT) atau besar rating arus untuk pengaman seperti MCB. Sehingga dengan melihat tabel *ampere frame* (AF) maka pada diagram satu garis dapat ditulis untuk tarikan pertama adalah menggunakan MCB 6AT/10AF, 6kA, 1 phase.

Besar 6kA tersebut adalah nilai arus hubung singkat pengaman. Dan karena nilai arus hubung singkat dihitung dari arah transformator *step down* maka arus hubung singkat yang dapat ditangani pengaman ini dapat dilihat hitungannya tersendiri pada lampiran.

D. Busbar Panel

Busbar sebagai penghantar persegi sangat umum digunakan di dalam panel untuk menggabungkan beberapa tarikan instalasi beban. Besar penampang busbar yang rencana akan digunakan dalam panel ini, dapat ditentukan dengan mencari kemampuan hantar arus terlebih dahulu yaitu :

$$I_{B-AKHIR} = (I_{NTertinggi} \times 125\%) + I_{N2} + I_{N3} \dots\dots\dots(4.8)$$

$$I_{B-AKHIR} = \left(\frac{1600}{220} \times 125\% \right) + I_{N2} + I_{N3}$$

$$I_{N2} = \frac{1600}{220} + \frac{1600}{220} + \frac{1200}{220} + \frac{1200}{220} + \frac{1200}{220} + \frac{184}{220} + \frac{184}{220} + \frac{414}{220} +$$

$$I_{N3} = \frac{414}{220} + \frac{414}{220} + \frac{414}{220} + \frac{552}{220} + \frac{552}{220}$$

$$I_{B-AKHIR} = 54,2A$$

Dengan kemampuan hantar arus sebesar 54,2 ampere tersebut, besar luas penampang busbar kemudian dapat ditentukan dengan melihat tabel yang ada di dalam PUIL 2000 bahwa besar yang cocok adalah busbar jenis tembaga berbatang tunggal dengan besar $12 \times 2 \text{ mm}^2$.

Sehingga pada diagram satu garis dapat ditulis bahwa busbar yang digunakan adalah busbar CU $12 \times 2 \text{ mm}^2$ per fasa dengan netral.

E. Pengaman Sirkuit Akhir

Besar pengaman terhadap arus lebih yang rencana akan digunakan dalam sirkuit akhir di dalam panel, dapat ditentukan dengan mencari arus nominalnya terlebih dahulu yaitu :

$$I_{PA} = (I_{NTertinggi} \times 250\%) + I_{N2} + I_{N3} \dots\dots\dots(4.9)$$

$$I_{PA} = \left(\frac{1600}{220} \times 250\% \right) + I_{N2} + I_{N3}$$

$$I_{N2} = \frac{1600}{220} + \frac{1600}{220} + \frac{1200}{220} + \frac{1200}{220} + \frac{1200}{220} + \frac{184}{220} + \frac{184}{220}$$

$$I_{N3} = \frac{414}{220} + \frac{414}{220} + \frac{414}{220} + \frac{414}{220} + \frac{552}{220} + \frac{552}{220}$$

$$I_{PA} = 63 \text{ ampere}$$

Arus sebesar 63 ampere ini adalah besar *ampere trip* (AT) atau besar rating arus untuk pengaman seperti MCCB. Penulis tidak mencantumkan besar *ampere frame* (AF) karena dengan anggapan besar MCCB dapat diatur secara manual. Sehingga pada diagram satu garis dapat ditulis untuk tarikan pertama adalah menggunakan MCCB 63 AT.

F. Penghantar Sirkuit Akhir

Besar luas penampang kabel tembaga yang digunakan sebagai penghantar sirkuit akhir ini dapat ditentukan dengan mencari kemampuan hantar arus kabel terlebih dahulu yaitu :

$$I_N = (I_{PhTertinggi} \times 125\%) + I_{ph2} + I_{ph3} \dots\dots\dots(4.10)$$

$$I_N = \left(\frac{3950}{220} \times 125\% \right) + \frac{3766}{220} + \frac{3812}{220} \dots\dots\dots(4.11)$$

$$I_N = 56,8 \text{ ampere}$$

Dengan kemampuan hantar arus sebesar 56,8 ampere tersebut, besar luas penampang dapat ditentukan dengan melihat tabel yang ada di dalam PUIL 2000. Sehingga pada diagram satu garis dapat ditulis bahwa penghantar sirkuit akhir yang akan menjadi sisi *incoming* panel adalah dengan kabel tembaga yaitu NYY 4 × 10 mm².

G. Kabel Pentanahan

Besar luas penampang kabel pentanahan yang digunakan sebagai pentanahan panel ini dapat ditentukan dengan melihat besarnya kabel penghantar pada sirkuit akhir yang menjadi sisi *incoming* panel yaitu :

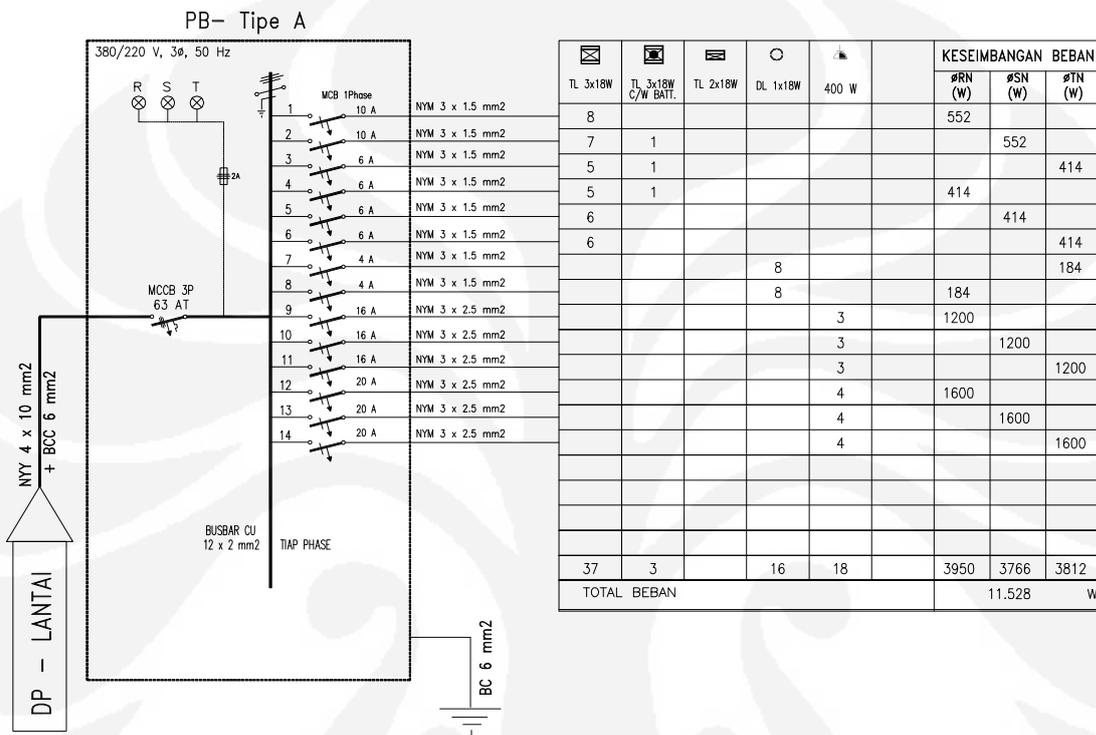
$$A_{GND} = 50\% \times A_{FEEDER} \dots\dots\dots(4.12)$$

$$A_{GND} = 50\% \times 10mm^2 \dots\dots\dots(4.13)$$

$$A_{GND} = 5 \text{ mm}^2$$

Besar luas penampang dapat cocok dan lazim digunakan dapat ditentukan dengan melihat tabel yang ada di dalam PUIL 2000.

Sehingga pada diagram satu garis dapat ditulis bahwa kabel pentanahan yang akan menjadi *grounding* dari panel adalah dengan kabel *grounding* BC 6 mm²



Gambar 4.3 Panel ruang tipe A di lantai 3 (*typical* 13)

4.2.2. Panel Distribusi

Panel distribusi yang akan dibahas dibawah ini adalah panel distribusi di lantai 3 dari gedung. Sedangkan pembahasan panel yang lain akan dihitung dengan menggunakan *spread sheet* microsoft excel.

A. Pengaman Arus Lebih Panel Distribusi

Besar pengaman terhadap arus lebih yang rencana akan digunakan pada sisi *outgoing* panel distribusi, dapat ditentukan dengan mencari arus nominalnya terlebih dahulu yaitu :

$$I_{RAT} = (I_{NTertinggi} \times 250\%) + I_{N2} + I_{N3} \dots\dots\dots(4.12)$$

$$I_{RAT} = \left(\frac{3950}{220} \times 250\% \right) + \frac{3766}{220} + \frac{3812}{220} \dots\dots\dots(4.13)$$

$$I_{RAT} = 44,9 A$$

Arus sebesar 44,9 ampere ini adalah besar *ampere trip* (AT) atau besar rating arus untuk pengaman arus lebih seperti MCCB. Penulis akan menuliskan *ampere trip* tersebut dan tidak mencantumkan besar *ampere frame* (AF) karena dengan anggapan besar MCCB bersifat variable dan dapat diatur secara manual. Sehingga pada diagram satu garis dapat ditulis untuk tarikan pertama adalah menggunakan MCCB 45 AT, 45 kA.

Dengan 45 kA adalah arus hubung singkat, yang bisa dilihat hitungannya pada lampiran.

C. Penghantar dan Beban Fan

Ada fan 3 fasa dengan beban total 2250 watt di ruang tipe A lantai 3 pada gedung ini. Besar luas penampang kabel tembaga yang digunakan dalam instalasi beban motor ini dapat ditentukan dengan mencari kemampuan hantar arus kabel terlebih dahulu yaitu:

$$I_{KHA} = 125\% \times \frac{P_{PHASE}}{V_{PHASE}} \dots\dots\dots(4.14)$$

$$I_{KHA} = 125\% \times \frac{2250}{\sqrt{3} \cdot 380} \dots\dots\dots(4.15)$$

$$I_{KHA} = 4,2 \text{ ampere}$$

Dengan kemampuan hantar arus 4,2 ampere tersebut, besar luas penampang dapat ditentukan dengan melihat tabel yang ada di dalam PUIL 2000.

Sehingga pada diagram satu garis dapat ditulis bahwa penghantar untuk suplai beban fan ini adalah dengan kabel tembaga yaitu NYY 4 × 4 mm².

Besar pengaman terhadap arus lebih yang rencana akan digunakan untuk beban fan ini, dapat ditentukan dengan mencari arus nominalnya [7] terlebih dahulu yaitu :

$$I_{RAT-M} = 1100\% \times \frac{P_{PHASE}}{V_{PHASE}} \dots\dots\dots(4.16)$$

$$I_{RAT-M} = 1100\% \times \frac{2250}{\sqrt{3} \cdot 380} \dots\dots\dots(4.17)$$

$$I_{RAT-M} = 37,8 \text{ ampere}$$

Arus sebesar 37,8 ampere ini adalah besar *ampere trip* (AT) atau besar rating arus untuk pengaman arus lebih seperti MCB atau MCCB. Penulis tidak mencantumkan besar *ampere frame* (AF) karena dengan anggapan besar MCCB dapat diatur secara manual.

Sehingga pada diagram satu garis dapat ditulis untuk tarikan pertama adalah menggunakan MCCB 38 AT, 45kA.

D. Busbar Tambahan Untuk Per- Tipe Ruang

Gedung ini menggunakan sistem pentarifan ruang per ruang. Hal tersebut menyebabkan perlunya pembagian dan pengontrolan suplai daya juga harus ruang per ruang.

Pengelompokan ini dapat diatur di dalam panel distribusi lantai per lantai untuk aplikasi ruang per ruang. Sehingga busbar tambahan diperlukan untuk mengatasi pengelompokan beban yang harus dibayarkan untuk penyewa atau pemilik ruangan.

Besar penampang busbar tambahan yang rencana akan digunakan dalam panel ini, dapat ditentukan dengan mencari kemampuan hantar arus terlebih dahulu yaitu :

$$I_{B-AKHIR} = (I_{KHA \text{Teringgi}} \times 1,25\%) + I_{KHA2} + I_{KHA3} \dots\dots\dots(4.18)$$

$$I_{B-AKHIR} = \left(\frac{3950}{220} \times 125\% \right) + \frac{750}{220} + \frac{750}{220} \dots\dots\dots(4.19)$$

$$I_{KHA} = 29,3 \text{ ampere}$$

Dengan kemampuan hantar arus sebesar 29,3 ampere tersebut, besar luas penampang busbar kemudian dapat ditentukan dengan melihat tabel yang ada di dalam PUIL 2000. Dalam hal ini, besar busbar yang cocok adalah busbar jenis tembaga berbatang tunggal dengan besar $12 \times 2 \text{ mm}^2$.

Sehingga pada diagram satu garis dapat ditulis bahwa busbar yang digunakan adalah busbar CU $12 \times 2 \text{ mm}^2$ per fasa dengan tambahan busbar untuk netral.

F. Pengaman Arus Lebih Untuk Per- Tipe Ruang

$$I_{PA} = (I_{KHATertinggi} \times 250\%) + I_{KHA2} + I_{KHA3} \dots \dots \dots (4.20)$$

$$I_{PA} = \left(\frac{3950}{220} \times 250\% \right) + \frac{750}{220} + \frac{750}{220} \dots \dots \dots (4.21)$$

$$I_{KHA} = 51,7 \text{ ampere}$$

Arus sebesar 51,7 ampere ini adalah besar *ampere trip* (AT) atau besar rating arus untuk pengaman arus lebih seperti MCCB. Penulis akan menuliskan *ampere trip* tersebut dan tidak mencantumkan besar *ampere frame* (AF) karena dengan anggapan besar MCCB bersifat variable dan dapat diatur secara manual. Sehingga pada diagram satu garis dapat ditulis untuk tarikan pertama adalah menggunakan MCCB 51 AT, 45 kA.

G. Busbar Utama Panel Distribusi (primer)

Busbar yang menopang seluruh suplai daya dari penghantar ruang per ruang direncana dengan mencari kemampuan hantar arusnya terlebih dahulu yaitu :

$$I_{B-AKHIR} = (I_{KHATertinggi} \times 125\%) + I_{KHA2} + I_{KHA3}$$

$$I_{B-AKHIR} = \left(\frac{5164}{220} \times 125\% \right) + \sum I_{tipe'} + \sum I_{fan'}$$

$$\sum I_{tipe'} = \left(\frac{3812}{220} + \frac{3067}{220} + \frac{5118}{220} + \frac{5164}{220} + \frac{3067}{220} + \frac{3835}{220} + \frac{3399}{220} \right)$$

$$\sum I_{fan'} = \left(\frac{750}{220} + \frac{750}{220} + \frac{1000}{220} + \frac{1000}{220} + \frac{1000}{220} + \frac{1000}{220} + \frac{1000}{220} + \frac{750}{220} + \frac{750}{220} + \frac{750}{220} + \frac{550}{220} \right)$$

$$I_{B-AKHIR} = \frac{38.053}{220}$$

$$I_{B-AKHIR} = 173A$$

Dengan kemampuan hantar arus sebesar 173 ampere tersebut, besar luas penampang busbar kemudian dapat ditentukan dengan melihat tabel yang ada di dalam PUIL 2000. Dalam hal ini, besar busbar yang cocok adalah busbar jenis tembaga berbatang tunggal dengan besar $15 \times 3 \text{ mm}^2$.

Sehingga pada diagram satu garis dapat ditulis bahwa busbar yang digunakan adalah busbar CU $15 \times 3 \text{ mm}^2$ per fasa dengan tambahan busbar untuk netral.

G. Pengaman Arus Lebih Sirkuit Akhir Panel Distribusi

Besar pengaman terhadap arus lebih yang rencana akan digunakan untuk sisi *incoming* panel distribusi, dapat ditentukan dengan mencari arus nominalnya terlebih dahulu seperti:

$$I_{PA} = (I_{KHATertinggi} \times 250\%) + I_{KHA2} + I_{KHA3} \dots \dots \dots (4.22)$$

$$I_{PA} = \left(\frac{5164}{220} \times 250\% \right) + \sum I_{tipe'} + \sum I_{fan'}$$

$$\sum I_{tipe'} = \left(\frac{3812}{220} + \frac{3067}{220} + \frac{5118}{220} + \frac{5164}{220} + \frac{3067}{220} + \frac{3835}{220} + \frac{3399}{220} \right)$$

$$\sum I_{fan'} = \left(\frac{750}{220} + \frac{750}{220} + \frac{1000}{220} + \frac{1000}{220} + \frac{1000}{220} + \frac{1000}{220} + \frac{1000}{220} + \frac{750}{220} + \frac{750}{220} + \frac{750}{220} + \frac{550}{220} \right)$$

$$I_{PA} = \frac{44.508}{220}$$

$$I_{PA} = 202,3A$$

Arus sebesar 202,3 ampere ini adalah besar *ampere trip* (AT) atau besar rating arus untuk pengaman arus lebih seperti MCCB. Penulis akan menuliskan *ampere trip* tersebut dan tidak mencantumkan besar *ampere frame* (AF) karena dengan anggapan besar MCCB yang akan dipasang bersifat *variable* dan dapat diatur secara manual ratingnya. Sehingga pada diagram satu garis dapat ditulis untuk tarikan pertama adalah menggunakan MCCB 202 AT, 45kA.

H. Penghantar Sirkuit Akhir Panel Distribusi

Besar luas penampang kabel tembaga yang digunakan sebagai penghantar sirkuit akhir ini dapat ditentukan dengan mencari kemampuan hantar arus kabel terlebih dahulu yaitu

$$I_{KHA} = (I_{KHATertinggi} \times 1,25\%) + I_{KHA2} + I_{KHA3} \dots \dots \dots (4.23)$$

$$I_{KHA} = \left(\frac{5164}{220} \times 125\% \right) + \sum I_{tipe'} + \sum I_{fan'}$$

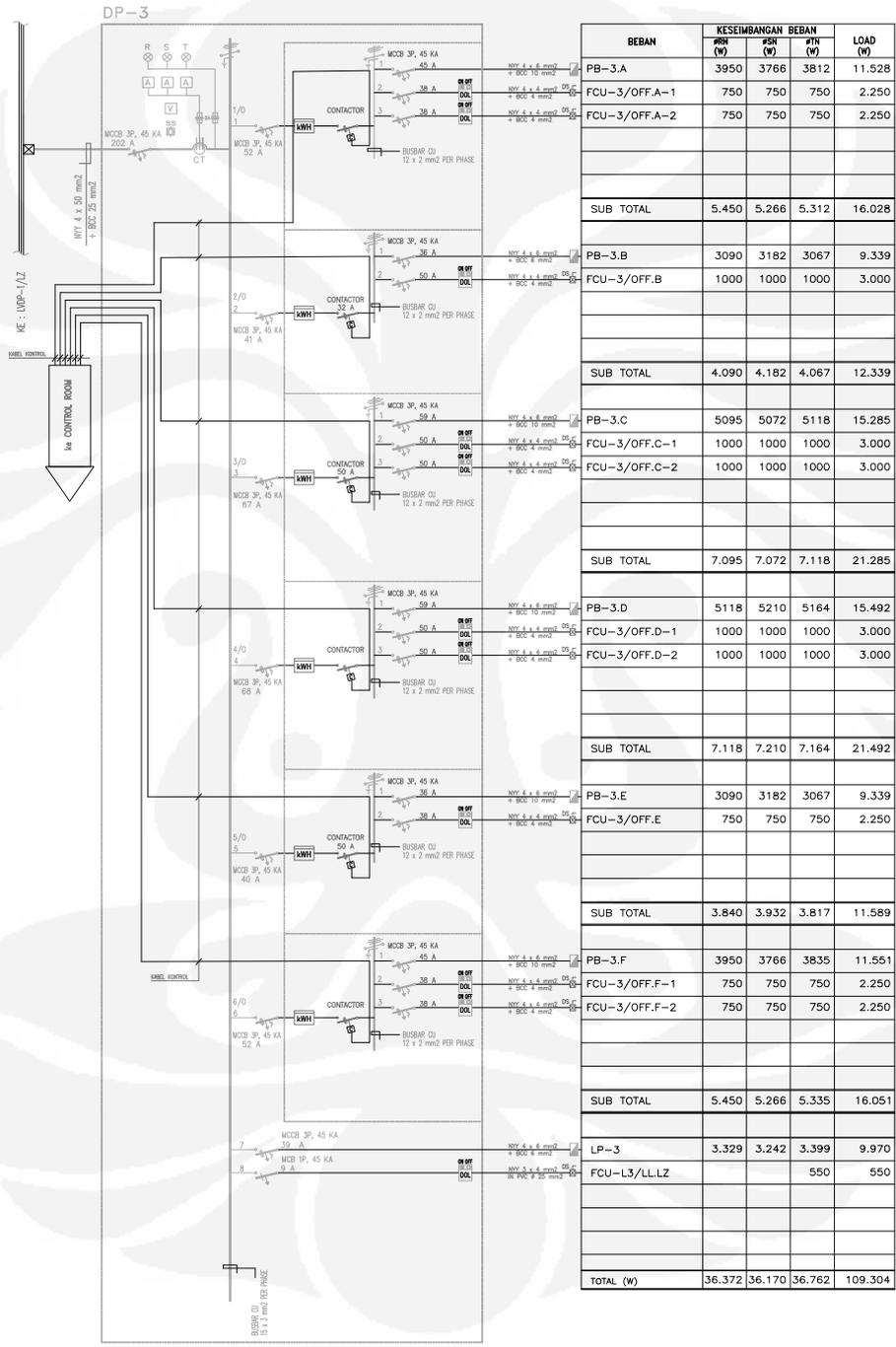
$$\sum I_{tipe'} = \left(\frac{3812}{220} + \frac{3067}{220} + \frac{5118}{220} + \frac{5164}{220} + \frac{3067}{220} + \frac{3835}{220} + \frac{3399}{220} \right)$$

$$\sum I_{fan'} = \left(\frac{750}{220} + \frac{750}{220} + \frac{1000}{220} + \frac{1000}{220} + \frac{1000}{220} + \frac{1000}{220} + \frac{1000}{220} + \frac{750}{220} + \frac{750}{220} + \frac{750}{220} + \frac{550}{220} \right)$$

$$I_{KHA} = \frac{38.053}{220}$$

$$I_{KHA} = 173A$$

Dengan kemampuan hantar arus sebesar 173 ampere tersebut, besar luas penampang dapat ditentukan dengan melihat tabel yang ada di dalam PUIL 2000. Sehingga pada diagram satu garis dapat ditulis bahwa penghantar sirkit akhir yang akan menjadi sisi *incoming* panel adalah dengan kabel tembaga yaitu NYY 4 × 35 mm²



Gambar 4.4 Panel Distribusi lantai 3

I. Kabel Pentanahan

Besar luas penampang kabel pentanahan yang digunakan sebagai pentanahan panel ini dapat ditentukan dengan melihat besarnya kabel penghantar pada sirkit akhir yang menjadi sisi *incoming* panel yaitu

$$A_{GND} = 50\% \times A_{FEEDER} \dots\dots\dots(4.24)$$

$$A_{GND} = 50\% \times 35mm^2 \dots\dots\dots(4.25)$$

$$A_{GND} = 17,5 \text{ mm}^2$$

Besar luas penampang dapat cocok dan lazim digunakan dapat ditentukan dengan melihat tabel yang ada di dalam PUIL 2000. Sehingga pada diagram satu garis dapat ditulis bahwa kabel pentanahan yang akan menjadi *grounding* dari panel adalah dengan kabel *grounding* BC 25 mm².

4.2.3. Panel Induk Tegangan Rendah (LVDP)

Untuk mengurangi rugi-rugi daya yang besar di bagian penghantarnya, maka untuk gedung ini direncanakan menggunakan aplikasi 4 unit panel induk tegangan rendah (LVDP) yaitu :

- LVDP-1 HZ di lantai atap untuk mensuplai beban di panel distribusi atas.
- LVDP-2 HZ di lantai atap untuk mensuplai mesin chiller
- LVDP-1 LZ di lantai basement untuk mensuplai beban di panel distribusi bawah.
- LVDP-2 LZ di letakkan di basement. untuk mensuplai beban elektronik.

Rancangan struktur posisi *shaft* pada gedung yang vertikal lurus maka gedung lebih baik sangat cocok menggunakan aplikasi busduct. Busduct yang direncanakan dapat dihitung arus nominal sebagai berikut:

Busduct yang menuju LVDP-1 HZ:

$$I_{B-AKHIR} = (I_{KHA\text{Tertinggi}} \times 1,25\%) + I_{KHA2} + I_{KHA3} \dots\dots\dots(4.22)$$

$$\begin{aligned}
I_{B-AKHIR} &= \left(\frac{85000}{220} \times 125\% \right) \\
&+ \frac{30561}{220} + \frac{30515}{220} + \\
&\frac{30515}{220} + \frac{30515}{220} + \frac{30515}{220} + \frac{30515}{220} + \frac{30515}{220} \\
I_{B-AKHIR} &= \frac{687.215}{220} \\
I_{B-AKHIR} &= 3.124 \text{ ampere}
\end{aligned}$$

Sehingga dapat ditulis pada gambar diagram dengan busduct tembaga dengan ukuran 80mm×5mm×4 batang untuk per-fasanya dengan tambahan netral dan pentanahan.

Busduct yang menuju LVDP-1 LZ :

$$I_{B-AKHIR} = (I_{KHATertinggi} \times 1,25\%) + I_{KHA2} + I_{KHA3} \dots\dots\dots(4.23)$$

$$\begin{aligned}
I_{B-AKHIR} &= \left(\frac{62750}{220} \times 125\% \right) \\
&+ \frac{47923}{220} + \frac{37847}{220} + \frac{36367}{220} + \frac{36367}{220} + \frac{36367}{220} + \frac{36367}{220} + \frac{36367}{220} + \frac{36367}{220} \\
&+ \frac{36367}{220} + \frac{36367}{220} + \frac{36367}{220} + \frac{36367}{220} + \frac{36367}{220} + \frac{43104}{220} + \frac{24197}{220} + \frac{6612}{220} \\
&+ \frac{25260}{220} \\
I_{B-AKHIR} &= \frac{719.092}{220} \\
I_{B-AKHIR} &= 3.269A
\end{aligned}$$

Sehingga dapat ditulis pada gambar diagram dengan busduct tembaga dengan ukuran 50 mm X10 mm dengan 4 batang untuk perfasanya

A. Demand factor

Dari tabel *demand factor* yang dikeluarkan TPUB-NEC/OHSA Consultant [4] (pada lampiran) dapat ditentukan *demand factor* yang dapat digunakan untuk merencanakan *demand factor* untuk sistem.

Total beban terpasang di LVDP-1.HZ adalah 1.994.366 watt, digunakan sebagian besar untuk beban penerangan atau housing sehingga *demand factor* = 0,9

Total terpasang di LVDP-2.HZ adalah 2.471.250 watt, digunakan sebagian besar untuk beban motor atau *operation facilities* sehingga *demand factor* = 0,8

Total terpasang di LVDP-1.LZ adalah 2.021.204 watt, digunakan sebagian besar untuk beban motor atau *operation facilities* sehingga *demand factor* = 0,8

Total terpasang di LVDP-2.LZ adalah 1.676.126 watt, digunakan sebagian besar untuk beban penerangan sehingga *demand factor* = 0,9

Jadi total beban terpasang di gedung ini kesemuanya adalah = 8.162.946 watt

B. Demand load [4]

Sedangkan untuk hitungan *demand load* adalah :

$$Demand Load = DF \times P \dots\dots\dots(4.24)$$

Di LVDP-1/HZ

$$Demand Load = 0,9 \times 1994366watt$$

$$Demand Load = 1794929watt$$

Di LVDP-2/HZ

$$Demand Load = 0,8 \times 2471250watt$$

$$Demand Load = 1977000watt$$

Di LVDP-1/LZ

$$Demand Load = 0,8 \times 2021204watt$$

$$Demand Load = 1616963watt$$

Di LVDP-2/LZ

$$Demand Load = 0,9 \times 1676126watt$$

$$Demand Load = 1508513watt$$

Total *demand load* pada gedung ini adalah = 6.897.406 watt

C. Diversity Factor

Dari tabel *diversity factor* yang dikeluarkan Mc Graw-Hill.Inc [5] (pada lampiran) dapat ditentukan *diversity factor* yang dapat digunakan untuk merencanakan *diversity factor* untuk sistem.

Total beban di panel LVDP-1.HZ digunakan sebagian besar untuk beban penerangan sehingga *diversity factor* = 1,1

Total beban di panel LVDP-2.HZ digunakan sebagian besar untuk beban motor/fasilitas sehingga *diversity factor* = 1,1

Total beban di panel LVDP-1.LZ digunakan sebagian besar untuk beban motor/fasilitas sehingga *diversity factor* = 1,1

Total beban di panel LVDP-2.LZ digunakan sebagian besar untuk beban penerangan sehingga *diversity factor* = 1,1

C. Overall Demand Load

Sedangkan untuk hitungan *overall demand load* adalah :

$$\text{Overall Demand Load} = \frac{\text{Demand Load}}{\text{Diversity Factor}}$$

Di LVDP-1/HZ

$$\text{Overall Demand Load} = \frac{1794929}{1,1}$$

$$\text{Overall Demand Load} = 1631754 \text{ watt}$$

Di LVDP-2/HZ

$$\text{Overall Demand Load} = \frac{1977000}{1,1}$$

$$\text{Overall Demand Load} = 1797273 \text{ watt}$$

Di LVDP-1/LZ

$$\text{Overall Demand Load} = \frac{1616963}{1,1}$$

$$\text{Overall Demand Load} = 1469967 \text{ watt}$$

Di LVDP-2/LZ

$$\text{Overall Demand Load} = \frac{1508513}{1,1}$$

Overall Demand Load = 1371375watt

Sehingga total *overall demand load* pada gedung ini adalah = 6.270.369 watt atau sekitar 76,8% dari total beban penuh terpasang sebesar 8.162.946 watt.

D. Demand Load dengan Perkiraan Power faktor = 0,8

Sedangkan untuk hitungan *demand load* dengan power faktor = 0,8 adalah :

$$\text{Demand Load dengan pf} = \frac{\text{Overall Demand Load}}{\text{Cos}\phi}$$

Di LVDP-1/HZ

$$\text{Demand Load dengan pf} = \frac{1631754}{0,8}$$

$$\text{Demand Load dengan pf} = 2039693\text{VA}$$

Di LVDP-2/HZ

$$\text{Demand Load dengan pf} = \frac{1797272}{0,8}$$

$$\text{Demand Load dengan pf} = 2246591\text{VA}$$

Di LVDP-1/LZ

$$\text{Demand Load dengan pf} = \frac{1469967}{0,8}$$

$$\text{Demand Load dengan pf} = 1536299\text{VA}$$

Di LVDP-2/LZ

$$\text{Demand Load dengan pf} = \frac{1371376}{0,8}$$

$$\text{Demand Load dengan pf} = 1714220\text{VA}$$

E. Kapasitor

Untuk perancangan kapasitor dalam rancangan sistem dengan $\cos N = 0,8$ maka untuk perbaikan faktor daya sampai $\cos N = 1$, dapat dicari dengan :

$$\varphi = \text{arc cos } 0,8$$

$$Q = S \cdot \text{Sin } \varphi$$

$$Q = 0,6 \cdot S$$

Maka untuk kapasitor :

Di LVDP-1/HZ

$$Kapasitor = 0,6 \times 2039693VA$$

$$Kapasitor = 1223816VA$$

Di LVDP-2/HZ

$$Kapasitor = 0,6 \times 2246591$$

$$Kapasitor = 1347954VA$$

Di LVDP-1/LZ

$$Kapasitor = 0,6 \times 1837458$$

$$Kapasitor = 1102475VA$$

Di LVDP-2/LZ

$$Kapasitor = 0,6 \times 1714220$$

$$Kapasitor = 1028532VA$$

4.2.4. Transformator

Transformator selalu diusahakan dekat dengan panel induk tegangan rendah (LVDP), hal ini karena untuk mengurangi rugi-rugi daya yang besar akibat perubahan tegangan yang menjadi lebih rendah.

Oleh karena itu, pada gedung ini sesuai dengan jumlah panel induk tegangan rendahnya yaitu 4 unit, maka banyaknya transformator penurun tegangan adalah 4 unit juga yaitu: transformator di LVDP-1/HZ, transformator di LVDP-2/HZ, transformator di LVDP-1/LZ dan transformator di LVDP-2/LZ.

A. Jenis Transformator

1. Di LVDP-1/HZ

Menggunakan transformator oil, mengingat ketinggian dilantai ke-31 yang akan rawan tersambar petir.

Kapasitas transformator 2500 kVA yaitu dengan melihat besar kapasitas nilai total daya terpasang di LVDP-1/HZ dengan faktor daya= 0,8 yaitu: 2.492.957 VA

Jenis transformator step down 3 phase, frekuensi 50Hz dengan perubahan tegangan 20/0,4 kV

Tipe belitan transformator adalah Dyn5, dengan maksud mensuplai beban yang memerlukan netral dengan mendukung tegangan sekunder yang akan *leading* sebesar $5 \times 30^0 = 150^0$ daripada tegangan primer.

2. Di LVDP-2/HZ

Menggunakan transformator oil, mengingat ketinggian dilantai ke-31 yang akan rawan tersambar petir.

Kapasitas transformator 3000 kVA yaitu dengan melihat besar kapasitas nilai total daya terpasang di LVDP-2/HZ dengan faktor daya= 0,8 yaitu: 3.089.062 VA

Jenis transformator *step down* 3 phase, frekuensi 50Hz dengan perubahan tegangan 20/0,4 kV

Tipe belitan transformator adalah Dyn5, dengan maksud mensuplai beban yang memerlukan netral dengan mendukung tegangan sekunder yang akan *leading* sebesar $5 \times 30^0 = 150^0$ daripada tegangan primer.

3. Di LVDP-1/LZ

Menggunakan transformator kering dengan pendingin fan, mengingat harganya yang lebih murah daripada transformator oil dan letaknya yang cenderung aman terhadap sambaran petir.

Kapasitas transformator 2500 kVA yaitu dengan melihat besar kapasitas nilai total daya terpasang di LVDP-1/LZ dengan faktor daya= 0,8 yaitu: 2.526.505 VA

Jenis transformator *step down* 3 phase, frekuensi 50 Hz dengan perubahan tegangan 20/0,4 kV

Tipe belitan transformator adalah Dyn5, dengan maksud mensuplai beban yang memerlukan netral dengan mendukung tegangan sekunder yang akan *leading* sebesar $5 \times 30^0 = 150^0$ daripada tegangan primer.

4. Di LVDP-2/LZ

Menggunakan transformator kering dengan pendingin fan, mengingat harganya yang lebih murah daripada transformator oil dan letaknya yang cenderung aman terhadap sambaran petir.

Kapasitas transformator 2000 kVA yaitu dengan melihat besar kapasitas nilai total daya terpasang di LVDP-2/HZ dengan faktor daya= 0,8 yaitu: 1.714.220VA

Jenis transformator *step down* 3 phase, frekuensi 50Hz dengan perubahan tegangan 20/0,4 kV

Tipe belitan transformator adalah Dyn5, dengan maksud mensuplai beban yang memerlukan netral dengan mendukung tegangan sekunder yang akan leading sebesar $5 \times 30^0 = 150^0$ daripada tegangan primer.

B. Pengaman transformator [3]

Pengaman transformator terhadap arus lebih dengan seting = 95% (dengan maksud untuk memberi toleransi sebesar 5 %, hal ini juga didapatkan dari bahan acuan penulisan [3]), sehingga dapat dihitung sebagai berikut:

$$I_{AT} = \frac{set \cdot Q}{\sqrt{3} \cdot V_{LL}}$$

Yaitu di :

Di LVDP-1/HZ

$$I_{AT} = \frac{0,95 \cdot 2500kVA}{\sqrt{3} \cdot 0,4kV}$$

$$I_{AT} = 3428A$$

Sehingga dapat ditulis dalam diagram ACB 3428AT/4000AF

Di LVDP-2/HZ

$$I_{AT} = \frac{0,95 \cdot 3000kVA}{\sqrt{3} \cdot 0,4kV}$$

$$I_{AT} = 4113A$$

Sehingga dapat ditulis dalam diagram ACB 4113AT/4000AF

Di LVDP-1/LZ

$$I_{AT} = \frac{0,95 \cdot 2500kVA}{\sqrt{3} \cdot 0,4kV}$$

$$I_{AT} = 3428A$$

Sehingga dapat ditulis dalam diagram ACB 3428AT/4000AF

Di LVDP-2/LZ

$$I_{AT} = \frac{0,95 \cdot 2000kVA}{\sqrt{3} \cdot 0,4kV}$$

$$I_{AT} = 2742A$$

Sehingga dapat ditulis dalam diagram ACB 2742AT /3000AF

C. Busduct Sisi Outgoing Tranformator

Seperti halnya dengan di gedung yang lain, penggunaan busduct adalah paling tepat untuk jarak yang pendek dengan kemampuan hantar arus yang besar. Karena busduct sangat dipengaruhi adanya suhu maka untuk rating busduct dapat mengacu pada besar rating *ampere frame* (AF) dari ACB yang melindungi transformator dari bahaya arus lebih yaitu :

Di LVDP-1/HZ = 4000AF, sehingga dapat ditulis pada diagram busduct 4000A, 3 phase, 5 kabel, tembaga.

Di LVDP-2/HZ = 4000AF, sehingga dapat ditulis pada diagram busduct 4000A, 3 phase, 5 kabel, tembaga.

Di LVDP-1/LZ = 4000AF, sehingga dapat ditulis pada diagram busduct 4000A, 3 phase, 5 kabel, tembaga.

Di LVDP-2/LZ = 3000AF, sehingga dapat ditulis pada diagram busduct 3000A, 3 phase, 5 kabel, tembaga.

4.2.5. Suplai Daya Dari Luar Gedung

Besarnya suplai daya yang akan disuplai dari PLN dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Daya PLN} = \frac{\text{Total demand load}}{pf}$$

$$\text{Daya PLN} = \frac{6897406}{0,8}$$

$$\text{Daya PLN} = 8621757VA$$

Sehingga kebutuhan daya total yang diajukan ke PLN adalah 8600 kVA dan ini dapat digolongkan ke dalam golongan tarif I-4 dengan sistem tegangan menengah mengingat fungsinya sebagai tempat perkantoran (industri besar).

4.2.6. Generator Set

Gedung ini adalah gedung perkantoran yang mengutamakan fasilitas yang ideal. Di dalam websitenya gedung ini menawarkan *premium feature* tentang 100% *power back up*.

Penulis menimbang kebutuhan rata-rata kapasitas suplai beban penuh yang akan dicatu oleh generator set ini, adalah dengan memperhatikan nilai dari hitungan *overall demand load* pada panel LVDP.

Nilai *overall demand load* pada gedung ini adalah = 6.270.369 watt atau sekitar 76,8% dari total beban penuh terpasang sebesar 8.162.946 watt.

Sehingga jika power faktor yang diperkirakan adalah 0,8 maka kapasitas beban yang rencana akan disuplai genset adalah sebesar :

$$\text{Kapasitas Genset} = \frac{\text{Overall Demand Load}}{\text{Cos}\phi}$$

$$\text{Kapasitas Genset} = \frac{6270369}{0,8}$$

$$\text{Kapasitas Genset} = 7837961\text{VA}$$

Total kemungkinan gedung ini bisa memakai 4 unit generator set dengan kapasitas masing-masing 2000kVA. Kapasitas generator set yang rencana dipakai gedung adalah sebesar 7800kVA dengan 2 tahap pemasangan, yaitu generator sebanyak 3 unit (3×2000kVA) yang akan langsung dipasang pada awal pekerjaan dan 1 unit lagi (2000kVA) akan dipasang jika ada indikasi beban akan maksimum atau gedung telah disewa penuh.

Sehingga kapasitas generator yang akan dipasang pada awal pekerjaan adalah 6000kVA yaitu sebesar 69,7% dari kapasitas listrik yang diambil dari PLN.

V

KESIMPULAN

1. Gedung tipe *highrises building* berlantai 31 di daerah Kuningan yang digunakan sebagai obyek penelitian penulis adalah menggunakan beban terpasang sebesar 8.100 kilowatt dengan rencana suplai daya dari luar (PLN) sebesar 8600 kVA dan menimbang bahwa fungsi dan besar beban yang akan disuplai pada gedung, maka gedung ini digolongkan dalam tarif I-4 (industri besar) dengan sistem tegangan menengah 20 kV. Beban tersebut merupakan hasil dari perhitungan *overall demand load* dengan *power factor* sebesar 0,8.
2. Kapasitas generator set yang rencana dipakai gedung adalah sebesar 7800kVA dengan 2 tahap pemasangan, yaitu generator sebanyak 3 unit (3×2000kVA) yang akan langsung dipasang dan 1 unit lagi (2000kVA) akan dipasang sebagai cadangan jika ada indikasi beban akan maksimum atau gedung telah disewa penuh. Sehingga kapasitas generator yang akan dipasang pada awal pekerjaan adalah sebesar 69,7% dari kapasitas listrik yang diambil dari PLN.

Lampiran 1

Hitungan arus hubung singkat (Short circuit) dari sistem [8]

Arus hubung singkat = I_{sc}

Arus hubung singkat di sisi trafo sekunder = $ScAmps2$

Maka

$$ScAmps2 = \frac{100}{\% Z_{tot}} \times I_{xfrmr}$$

$$ScAmps2 = \frac{100}{\sqrt{X_{tot}^2 + \% R_{tot}^2}} \times I_{xfrmr}$$

$$I_{xfrmr} = \frac{2500kVA}{\sqrt{3} \cdot 0,4kV}$$

$$I_{xfrmr} = 3608A$$

$$Z_{tot} = \sqrt{\left[[\% Z_1 \cdot \sin(\arctg(X/R_1) + \% Z_t \cdot \sin(\arctg(X/R_t))]^2 + \left[\frac{\% X_1}{X/R_1} + \frac{\% X_t}{X/R_t} \right]^2 \right]}$$

Karena nilai impedansi dari PLN belum diketahui maka $\% Z_1 = 0$

$$\% Z_{tot} = \sqrt{(\% Z_t \cdot \sin(\arctg(X/R_t)))^2 + (\% X_t / (X/R_t))^2}$$

$$\% Z_{tot} = \sqrt{(7\% \cdot \sin(\arctg(10)))^2 + (7\% \cdot \sin(\arctg(10)/10))^2}$$

$$\% Z_{tot} = \sqrt{(6,96)^2 + (0,6965)^2}$$

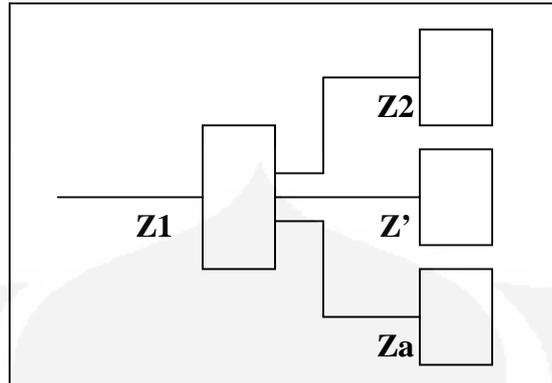
$$\% Z_{tot} = 7$$

maka

$$ScAmps2 = \frac{100}{7} \times 3608$$

$$ScAmps2 = 51549A$$

Jadi arus hubung singkat di sisi sekunder transformator adalah 51kA



$$I = \frac{V}{Z_{total}}$$

Dari buku Van Harten didapatkan untuk tembaga = 1/58

$$Z_{busduct} = ((1/58) \cdot \ell) / A$$

$$Z_{busduct} = ((1/58) \cdot 10) / 1600$$

Arus hubung singkat dalam fasa to netral

$$I_{sc} = \frac{V}{Z_{busduct} + Z_{trafo}}$$

$$I_{sc} = (220 / 0,004375)$$

$$I_{sc} = 50279 \text{ A}$$

Jadi arus hubung singkat sampai LVDP 1/HZ = **50 kA**

Kemudian dari LVDP 1/HZ menuju ke busduct (80×5)×4 yang menjulang ke shaft sehingga arus hubung singkat di incoming panel distribusi dapat dihitung sbb:

$$I_{sc} = \frac{V}{Z_{busduct} + Z_{trafo} + Z_{shaft}}$$

$$I_{sc} = (220 / 0,000651341)$$

$$I_{sc} = 43.765 \text{ A}$$

Jadi arus hubung singkat sampai panel distribusi adalah = **43 kA**

Untuk selanjutnya, hitungan yang lain akan dilakukan dalam *spread excel*.

Lampiran 2 Estimasi arus netral

Menghitung arus netral :

	R (Ampere)	S (Amp)	T (Amp)	Total (watt)
LVDP 1/HZ	3027,1136	3015,1864	3023	1994366
LVDP 2/HZ	3744,3182	3744,3182	3744,318	2471250
LVDP 1/LZ	3197,2909	3053,4045	3065,9	2021204
LVDP 2/LZ	2381,4636	2618,9045	2618,386	1676126

$$I_n = (I_R \cdot \cos 0^\circ + I_S \cdot \cos 120^\circ + I_T \cdot \cos 240^\circ)^2 + (I_R \cdot \sin 0^\circ + I_S \cdot \sin 120^\circ + I_T \cdot \sin 240^\circ)^2$$

Di LVDP 1/HZ :

$$I_n = (3027 \cdot \cos 0^\circ + 3015 \cdot \cos 120^\circ + 3023 \cdot \cos 240^\circ)^2 + (3027 \cdot \sin 0^\circ + 3015 \cdot \sin 120^\circ + 3023 \cdot \sin 240^\circ)^2$$

$$I_n = 10,49 \text{ Ampere}$$

$$\text{KHA kabel grounding di trafo ini minimal} = 1,25 \times 10 = 12,5 \text{ Ampere}$$

Di LVDP 2/HZ:

$$I_n = (3744 \cdot \cos 0^\circ + 3744 \cdot \cos 120^\circ + 3744 \cdot \cos 240^\circ)^2 + (3744 \cdot \sin 0^\circ + 3744 \cdot \sin 120^\circ + 3744 \cdot \sin 240^\circ)^2$$

$$I_n = 0 \text{ Ampere}$$

Di LVDP 1/LZ:

$$I_n = (3197 \cdot \cos 0^\circ + 3053 \cdot \cos 120^\circ + 3065 \cdot \cos 240^\circ)^2 + (3197 \cdot \sin 0^\circ + 3053 \cdot \sin 120^\circ + 3065 \cdot \sin 240^\circ)^2$$

$$I_n = 138,06 \text{ Ampere}$$

$$\text{KHA kabel grounding di trafo ini minimal} = 1,25 \times 138 = 172,5 \text{ Ampere}$$

Di LVDP 2/LZ:

$$I_n = (2381 \cdot \cos 0^\circ + 2618 \cdot \cos 120^\circ + 2618 \cdot \cos 240^\circ)^2 + (2381 \cdot \sin 0^\circ + 2618 \cdot \sin 120^\circ + 2618 \cdot \sin 240^\circ)^2$$

$$I_n = 237,18 \text{ Ampere}$$

$$\text{KHA kabel grounding di trafo ini minimal} = 1,25 \times 237,18 = 296,4 \text{ Ampere}$$

Sehingga dapat diketahui bahwa arus netral yang terjadi adalah sebesar nyaris 0% dari arus total beban penuh di masing-masing LVDP

Transformator

Daya di sisi primer = Daya di sisi sekunder

$$3 \times V_{LL} \times I_{LL} = 3 \times V_{PN} \times I_{PN}$$

$$3 \times 20.000 \times I_{LL} = 3 \times 220 \times I_{PN}$$

$$I_{LL} = (0,019) \times I_{PN}$$

LVDP 1/HZ

$$I_{LL} = (0,019) \times (665965/220)$$

$$I_{LL} = 58 \text{ Ampere}$$

KHA kabel di sisi primer transformator adalah = $1,25 \times 58 = 72$ ampere

Dalam diagram dapat ditulis kabel di sisi primer transformator step down adalah NYY $3 \times 10 \text{ mm}^2$.

LVDP 2/HZ

$$I_{LL} = (0,019) \times (823750/220)$$

$$I_{LL} = 71 \text{ Ampere}$$

KHA kabel di sisi primer transformator adalah = $1,25 \times 71 = 89$ ampere

Dalam diagram dapat ditulis kabel di sisi primer transformator step down adalah NYY $3 \times 10 \text{ mm}^2$.

LVDP 1/LZ

$$I_{LL} = (0,019) \times (492663/220)$$

$$I_{LL} = 26 \text{ Ampere}$$

KHA kabel di sisi primer transformator adalah = $1,25 \times 26 = 32$ ampere

Dalam diagram dapat ditulis kabel di sisi primer transformator step down adalah NYY $3 \times 10 \text{ mm}^2$.

LVDP 2/LZ

$$I_{LL} = (0,019) \times (576159/220)$$

$$I_{LL} = 45 \text{ Ampere}$$

KHA kabel di sisi primer transformator adalah = $1,25 \times 45 = 57$ ampere

Dalam diagram dapat ditulis kabel di sisi primer transformator step down adalah NYY $3 \times 10 \text{ mm}^2$.

Sub Panel Tegangan Menengah

Meskipun dari transformator stepdown ke MVMDP bisa dihubung langsung, tetapi untuk pengisolasi adanya gangguan baik dari transformator ataupun dari

MVMDP serta untuk memperingkas kabel penyulang maka di gedung ini dapat digunakan 2 unit panel MVDP yaitu: MVDP-HZ dan MVDP LZ.

Di MVDP-HZ,

Digunakan 2 kubikel outgoing, 1 kubikel incoming dan 1 kubikel arrester

Kemampuan hantar arusnya adalah $= (1,25 \times 45) + 26 = 83$ Ampere

Sehingga dalam diagram dapat direncanakan kabel menggunakan NYY $3 \times 10 \text{ mm}^2$

Di MVDP-LZ, memiliki 2 kubikel outgoing, 1 kubikel incoming dan 1 kubikel arrester

Digunakan 2 kubikel outgoing, 1 kubikel incoming dan 1 kubikel arrester

Kemampuan hantar arusnya adalah $= (1,25 \times 71) + 58 = 147$ Ampere

Sehingga dalam diagram dapat direncanakan kabel menggunakan NYY $3 \times 35 \text{ mm}^2$

Panel tegangan menengah utama MVMDP

Kemudian di tentukan MVMDP yang merupakan penyulang MVDP-HZ dengan MVDP- LZ:

Jumlah total kapasitas beban adalah $= 8621757,5 \text{ VA}$

Maka dapat ditentukan dengan menggunakan SPLN tentang perangkat hubung bagi, Bagian 4-1 : Spesifikasi Perangkat Hubung Bagi tegangan Menengah Gardu Distribusi yaitu bahwa MVMDP ini dapat menggunakan jenis kubikel sesuai dengan gambar no.3 (kurang dari 1MVA) yang dilengkapi dengan kubikel tambahan untuk generator set yaitu terdiri dari :

- 2 kubikel saklar pemutus beban dilengkapi saklar pembumian untuk saluran utama
- 1 kubikel transformator tegangan dengan pengaman lebur HRC
- 1 kubikel proteksi utama menggunakan pemutus tenaga yang dilengkapi saklar pembumian dan transformator arus untuk pengukuran.
- 1 kubikel untuk incoming dari genset.

Generator Set

Gedung yang dijadikan obyek adalah gedung perkantoran yang mengutamakan fasilitas yang ideal. Di dalam websitenya ini menawarkan *premium feature* tentang 100% *power back up*.

Penulis menimbang kebutuhan rata-rata kapasitas suplai beban penuh yang akan dicatu oleh generator set ini, dengan memperhatikan nilai dari hitungan *overall demand load* pada panel LVDP.

Nilai *overall demand load* pada gedung ini adalah = 6.270.369 watt atau sekitar 76,8% dari total beban penuh terpasang sebesar 8.162.946 watt.

Sehingga jika power faktor yang diperkirakan adalah 0,8 maka kapasitas beban yang rencana akan disuplai genset adalah sebesar :

$$\text{Kapasitas Genset} = \frac{\text{Overall Demand Load}}{\text{Cos}\phi}$$

$$\text{Kapasitas Genset} = \frac{6270369}{0,8}$$

$$\text{Kapasitas Genset} = 7837961 \text{ VA}$$

Sehingga gedung bisa memakai 4 unit generator set dengan kapasitas masing-masing 2000 kVA.

Jika masing-masing generator set berkapasitas sama maka kemampuan hantar arus penghantar dapat ditentukan sebagai berikut :

$$I_n = Q / (\sqrt{3} \times V_{LL})$$

$$I_n = 20000 / (\sqrt{3} \times 380)$$

$$I_n = 3038 \text{ ampere}$$

Jadi untuk penghantar dari masing-masing generator set dapat menggunakan busduct tembaga dengan ukuran 3000A untuk tiap fasanya.

Transformator step up

Masing-masing transformator yang digunakan adalah berkapasitas 2000 kVA dengan mengacu pada besar kapasitas dari generator set.

Menggunakan transformator kering dengan pendingin fan, mengingat harganya yang lebih murah daripada transformator oil dan letaknya yang cenderung aman terhadap sambaran petir yaitu di basement.

Jenis transformator step down 3 phase, frekuensi 50 Hz dengan perubahan tegangan 0,38/20 kV.

Penghantar di sisi sekunder

Dapat dihitung dengan rumusan

$$S = V \times I_{LL}$$

$$2000 \text{ kVA} = 20 \text{ kV} \times I_{LL}$$

$$I_{LL} = 100 \text{ ampere}$$

$$I_n = 1,25 \times 100 = 125 \text{ Ampere}$$

Sehingga masing-masing fasa penghantar dapat menggunakan kabel ukuran NYY $3 \times 25 \text{ mm}^2$

MVMDP -Genseet

Kemudian di tentukan MVMDP yang merupakan penyulang MVDP-HZ dengan MVDP- LZ:

Bagian dari panel ini adalah :

- 4 kubikel incoming dari genset
- 1 kubikel outgoing ke MVMDP
- 1 Kubikel bisa untuk aplikasi sinkronisasi

Penghantar ke MVMDP

Sesuai dengan hukum kirchoff maka dapat ditentukan besar kabel penyulang ke panel MVMDP adalah:

$$\text{Total } I_{LL} = 4 \times I_{LL}$$

$$\text{Total } I_{LL} = 4 \times 100$$

$$\text{Total } I_{LL} = 400 \text{ ampere}$$

$$I_n = 1,25 \times 400$$

$$I_n = 500 \text{ ampere}$$

Sehingga pada diagram dapat dituliskan bahwa kabel penyulang yang menuju ke MVMDP adalah NYY $3 \times 300 \text{ mm}^2$

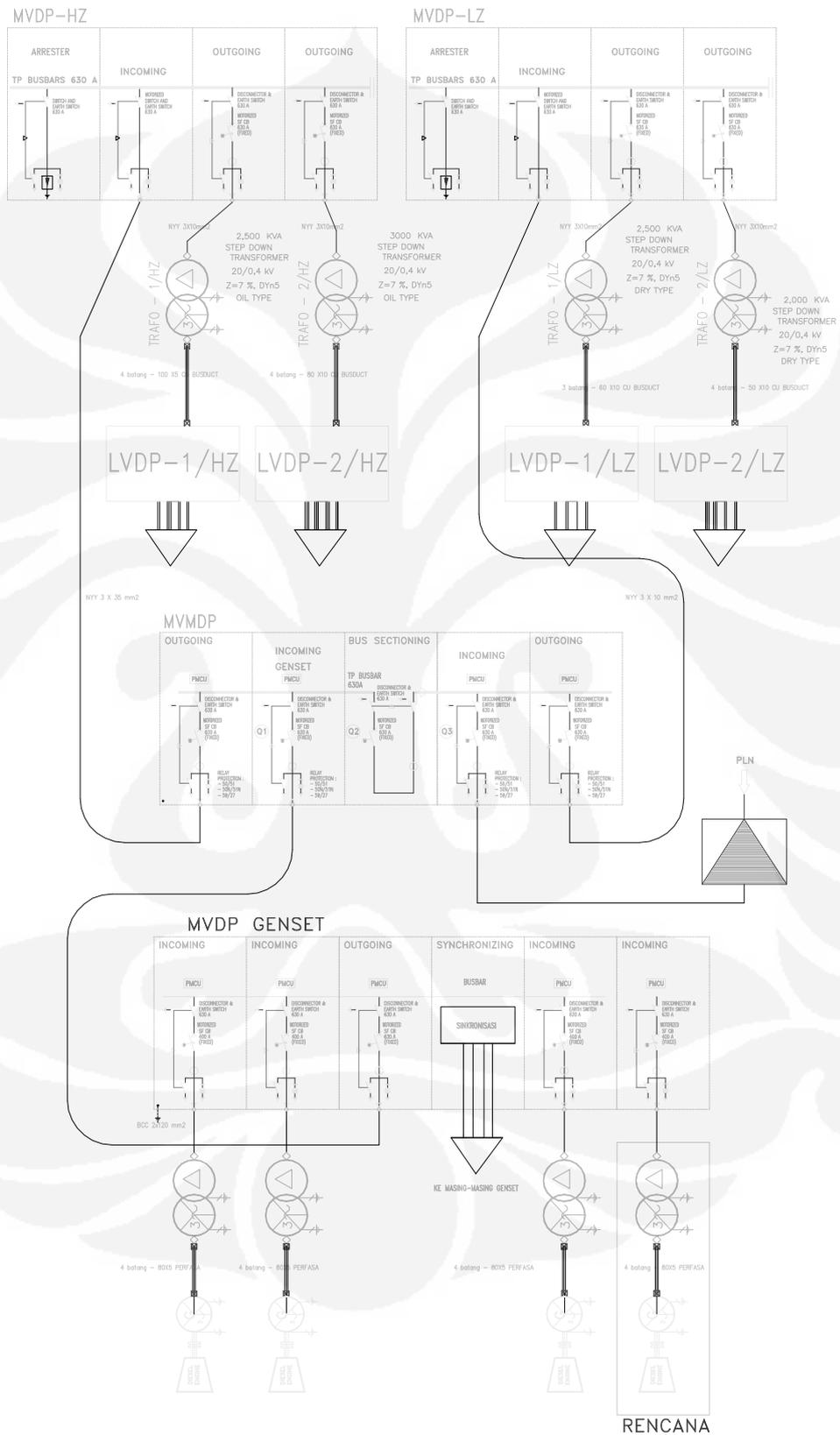
Lampiran 3

Tabel 7.3-5a KHA terus menerus untuk kabel tanah berinti tunggal, berpenghantar tembaga, berisolasi dan berselubung PVC, dipasang pada sistem a.s. dengan tegangan kerja maksimum 1,8 kV; serta untuk kabel tanah berinti dua, tiga dan empat berpenghantar tembaga, berisolasi dan berselubung PVC yang dipasang pada sistem a.b. fase tiga dengan tegangan pengenalan 0,6/1 kV (1,2 kV), pada suhu keliling 30 °C.

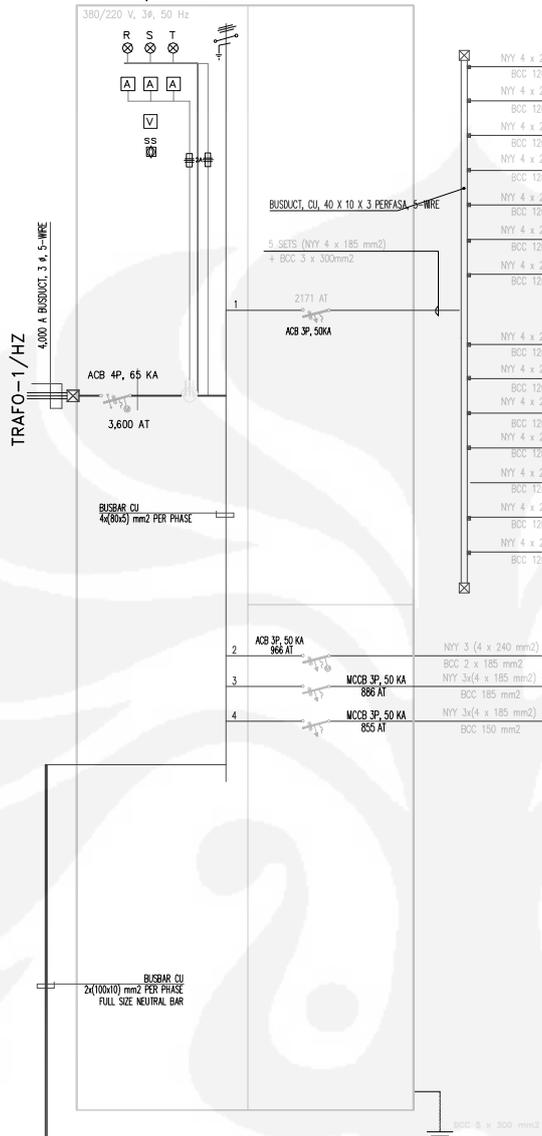
Jenis kabel	Luas penampang mm ²	KHA terus menerus					
		Berinti tunggal		Berinti dua		Berinti tiga dan empat	
		di tanah	di udara	di tanah	di udara	di tanah	di udara
1	2	A	A	A	A	A	A
		3	4	5	6	7	8
	1,5	40	26	31	20	26	18,5
	2,5	54	35	41	27	34	25
	4	70	46	54	37	44	34
	6	90	58	68	48	56	43
NYN	10	122	79	92	66	75	60
NYBY	16	160	105	121	89	98	80
NYFGbY							
NYRGbY	25	206	140	153	118	128	106
NYCY	35	249	174	187	145	157	131
NYCWY	50	296	212	222	176	185	159
NYSY							
NYCEY	70	365	269	272	224	228	202
NYSEY	95	438	331	328	271	275	244
NYHSY	120	499	386	375	314	313	282
NYKY							
NYKBY	150	561	442	419	361	353	324
NYKFGbY	185	637	511	475	412	399	371
NYKRGbY	240	743	612	550	484	464	436
	300	843	707	525	590	524	481
	400	986	859	605	710	600	560
	500	1125	1000	-	-	-	-

CATATAN KHA terus menerus kabel tanah ini dihitung berdasarkan kondisi tersebut dalam 7.3.4.2 dan 7.3.4.4.

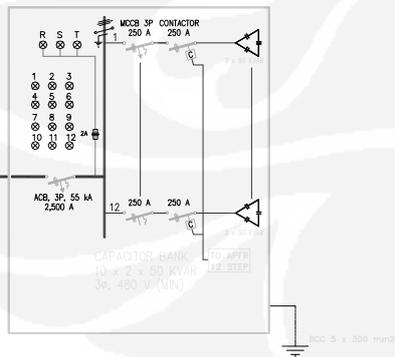
Lampiran 4. Gambar- gambar single diagram

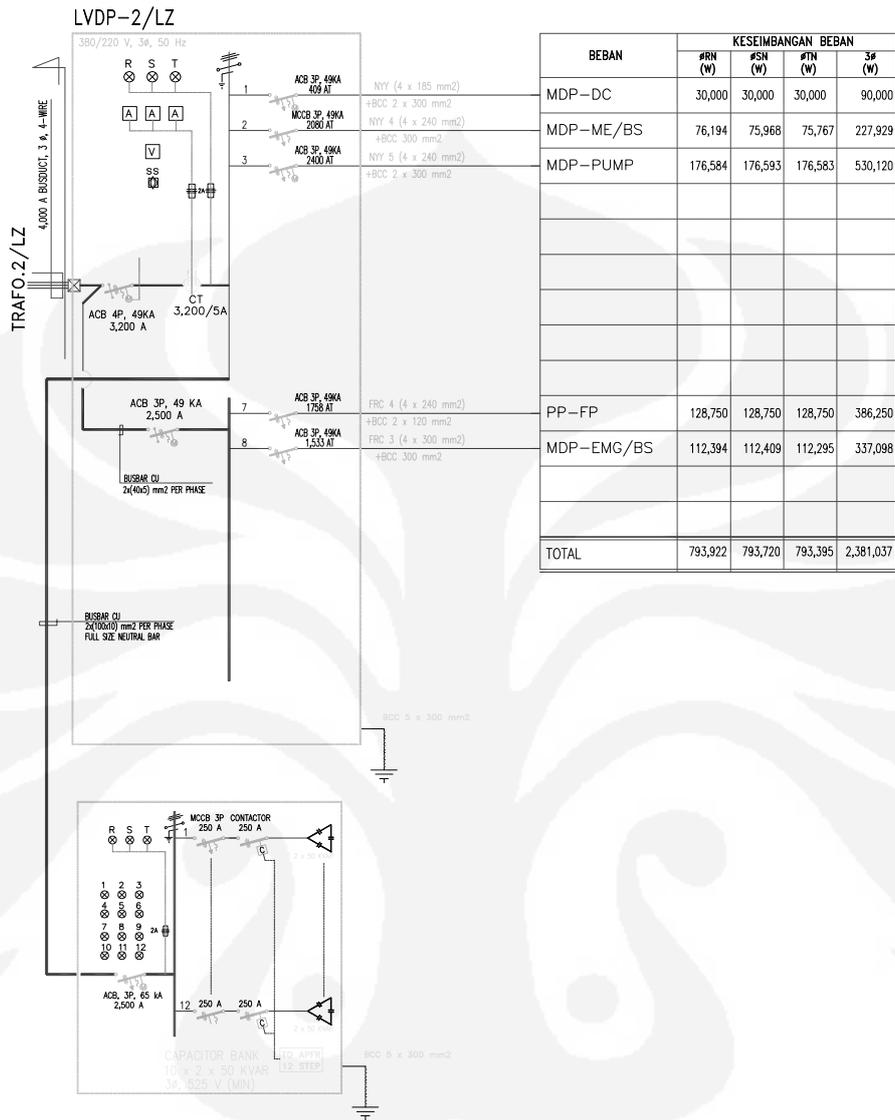


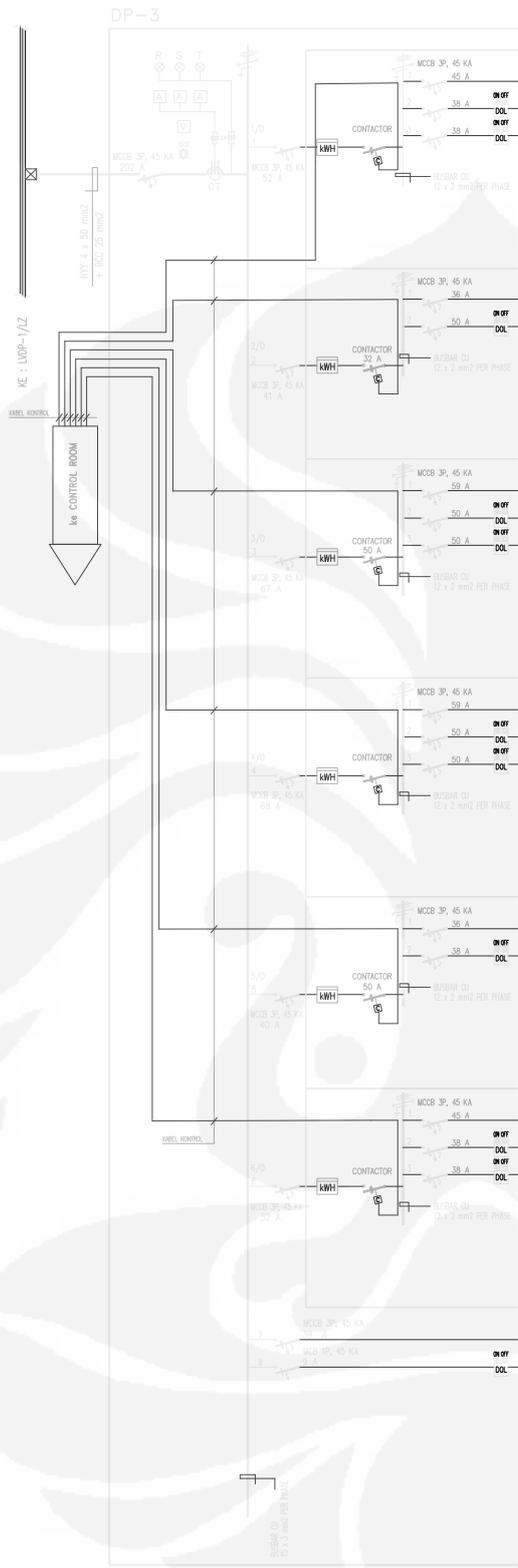
LVDP-1/HZ



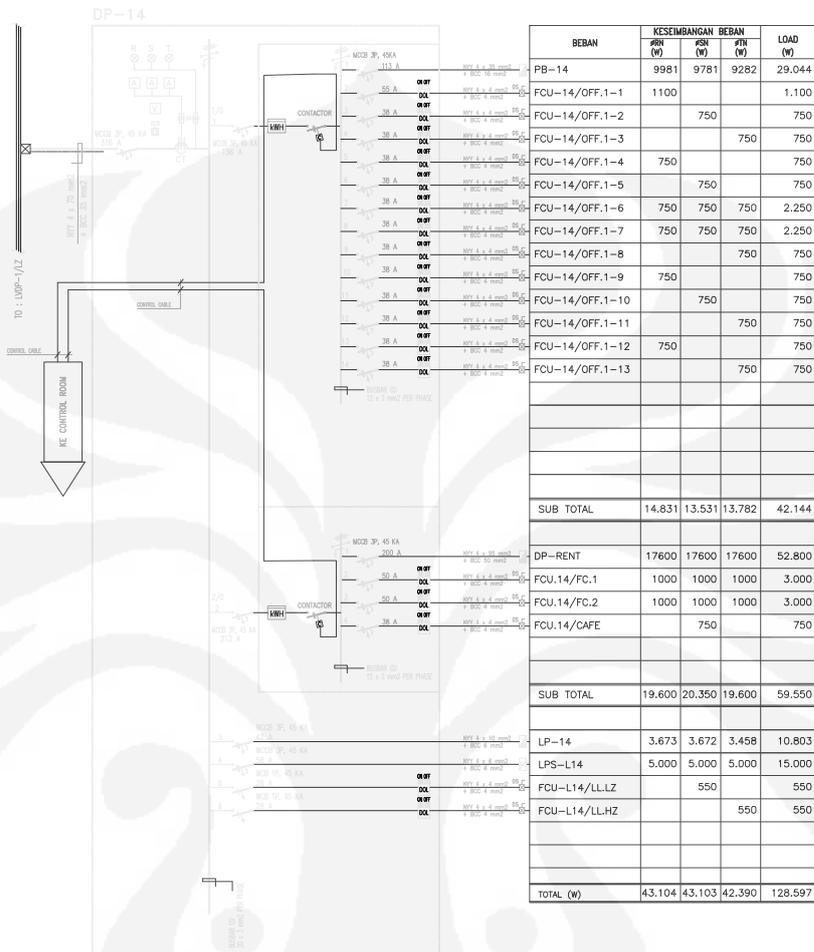
BEBAN	KESEMBANGAN BEBAN			
	#RN (W)	#SN (W)	#TN (W)	#P (W)
DP-29	30,561	30,562	30,894	92,017
DP-28	31,297	31,390	31,538	94,225
DP-27	31,297	31,390	31,538	94,225
DP-26	31,297	31,390	31,538	94,225
DP-25	31,297	31,390	31,538	94,225
DP-24	31,297	31,390	31,538	94,225
DP-23	31,297	31,390	31,538	94,225
DP-22	31,297	31,390	31,538	94,225
DP-21	31,297	31,390	31,538	94,225
DP-20	31,297	31,390	31,538	94,225
DP-19	31,297	31,390	31,538	94,225
DP-18	31,297	31,390	31,538	94,225
DP-17	31,297	31,390	31,538	94,225
DP-16	30,996	30,539	30,344	91,879
CP-CH.1	85,000	85,000	85,000	255,000
PP-LIFT.P6~P10	78,000	77,500	77,000	232,500
MDP-ME/RF	75,228	72,444	71,694	219,366
TOTAL	665965	663341	665060	1994366

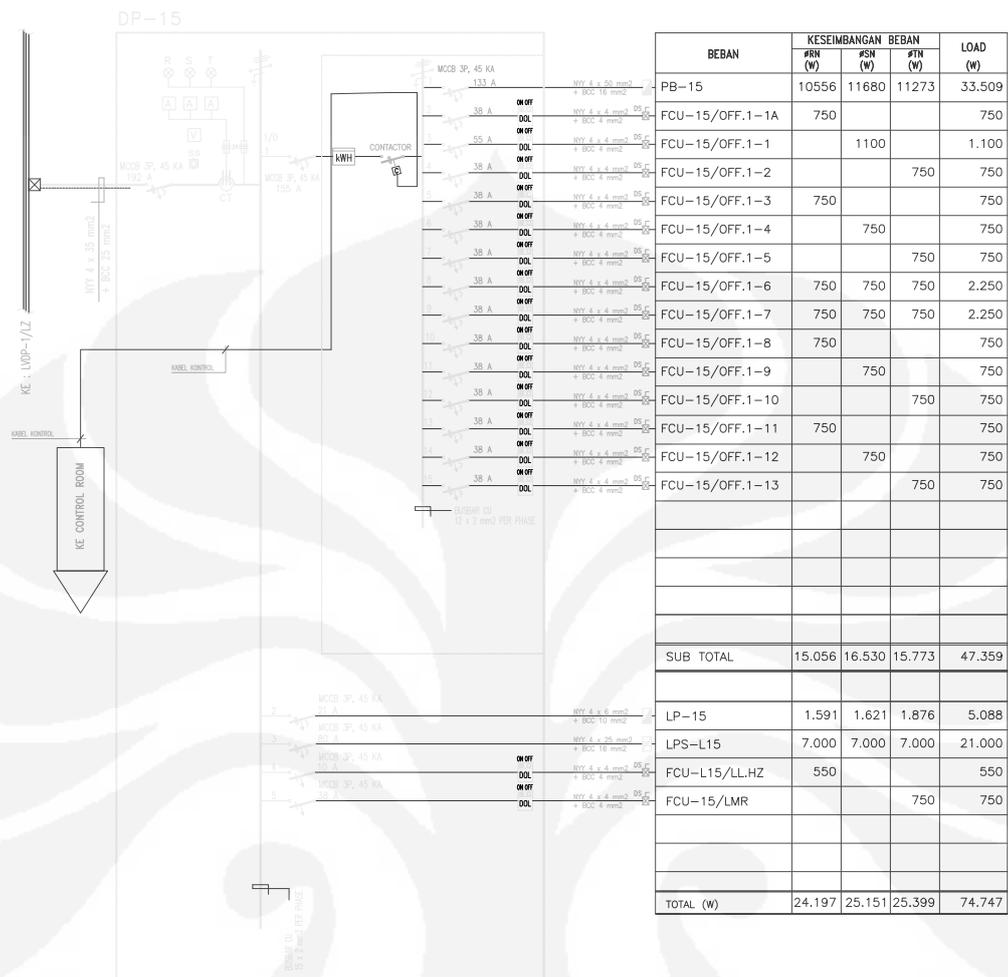






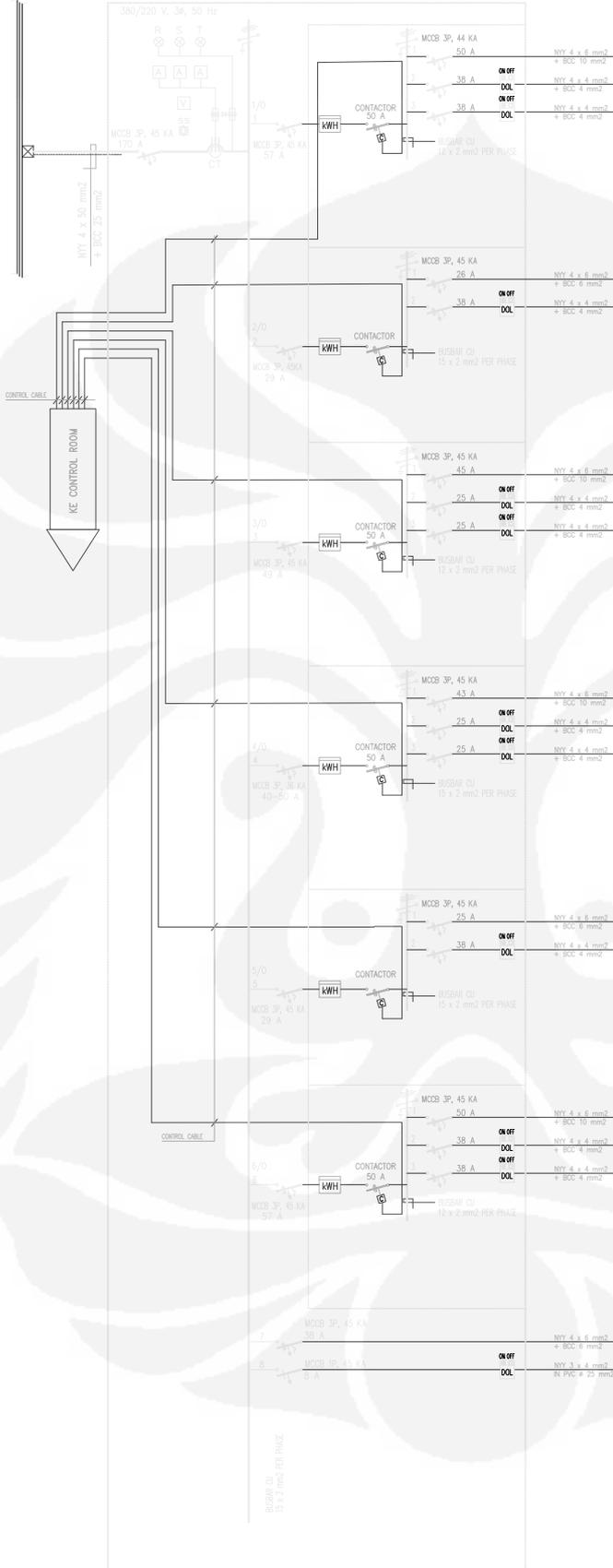
BEBAN	KESEIMBANGAN BEBAN			LOAD (W)
	#RN (W)	#SN (W)	#TN (W)	
PB-3.A	3950	3766	3812	11.528
FCU-3/OFF.A-1	750	750	750	2.250
FCU-3/OFF.A-2	750	750	750	2.250
SUB TOTAL	5.450	5.266	5.312	16.028
PB-3.B	3090	3182	3067	9.339
FCU-3/OFF.B	1000	1000	1000	3.000
SUB TOTAL	4.090	4.182	4.067	12.339
PB-3.C	5095	5072	5118	15.285
FCU-3/OFF.C-1	1000	1000	1000	3.000
FCU-3/OFF.C-2	1000	1000	1000	3.000
SUB TOTAL	7.095	7.072	7.118	21.285
PB-3.D	5118	5210	5164	15.492
FCU-3/OFF.D-1	1000	1000	1000	3.000
FCU-3/OFF.D-2	1000	1000	1000	3.000
SUB TOTAL	7.118	7.210	7.164	21.492
PB-3.E	3090	3182	3067	9.339
FCU-3/OFF.E	750	750	750	2.250
SUB TOTAL	3.840	3.932	3.817	11.589
PB-3.F	3950	3766	3835	11.551
FCU-3/OFF.F-1	750	750	750	2.250
FCU-3/OFF.F-2	750	750	750	2.250
SUB TOTAL	5.450	5.266	5.335	16.051
LP-3	3.329	3.242	3.399	9.970
FCU-L3/LL.LZ			550	550
TOTAL (W)	36.372	36.170	36.762	109.304



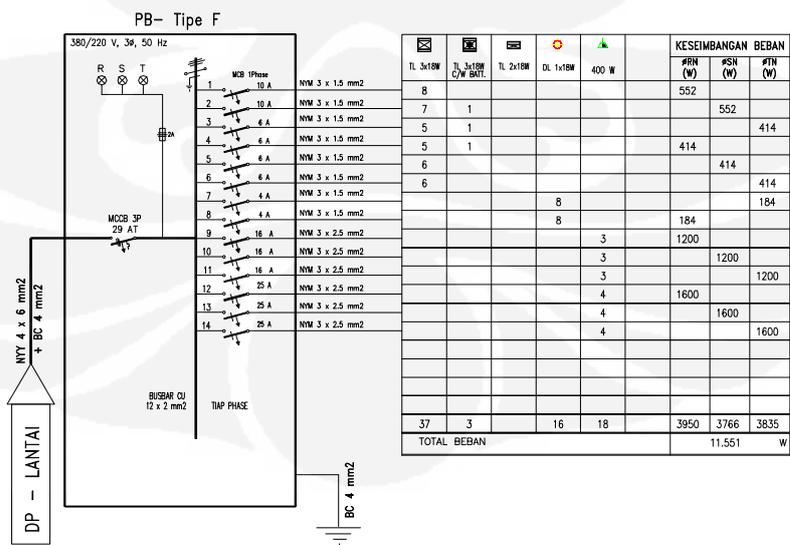
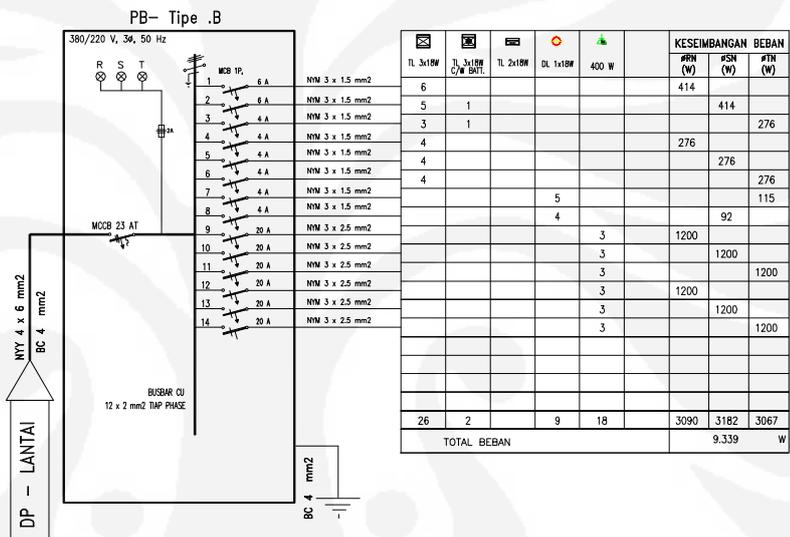
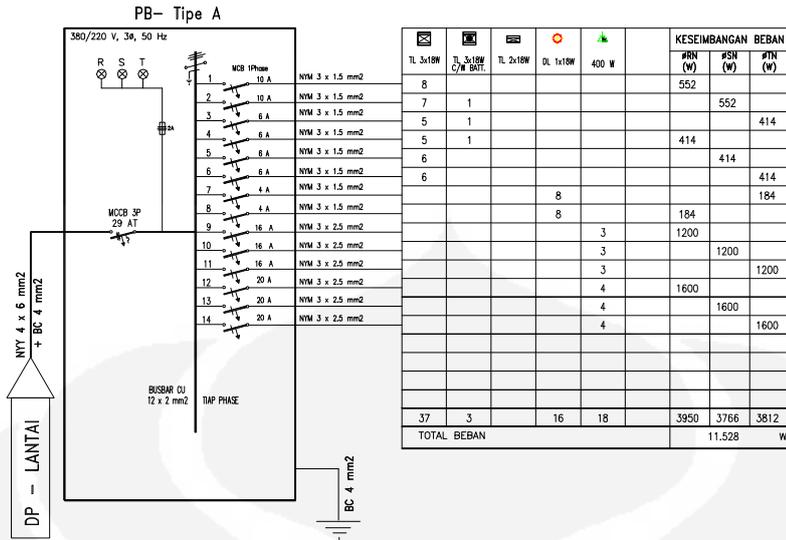


KE : LUDP-1/HZ

DP-17



BEBAN	KESEIMBANGAN BEBAN			LOAD (W)
	#RN (W)	#SN (W)	#TN (W)	
PB-17.A	4304	4373	4304	12.981
FCU-17/OFF.A-1	750	750	750	2.250
FCU-17/OFF.A-2	750	750	750	2.250
SUB TOTAL	5.804	5.873	5.804	17.481
PB-17.B	2152	2221	2244	6.617
FCU-17/OFF.B	750	750	750	2.250
SUB TOTAL	2.902	2.971	2.994	8.867
PB-17.C	3950	3950	3766	11.666
FCU-17/OFF.C-1	500	500	500	1.500
FCU-17/OFF.C-2	500	500	500	1.500
SUB TOTAL	5.272	5.272	5.088	15.632
PB-17.D	3950	3950	3766	11.666
FCU-17/OFF.D-1	500	500	500	1.500
FCU-17/OFF.D-2	500	500	500	1.500
SUB TOTAL	5.272	5.272	5.088	15.632
PB-17.E	2152	2221	2244	6.617
FCU-17/OFF.E	750	750	750	2.250
SUB TOTAL	2.902	2.971	2.994	8.867
PB-17.F	4304	4373	4304	12.981
FCU-17/OFF.F-1	750	750	750	2.250
FCU-17/OFF.F-2	750	750	750	2.250
SUB TOTAL	5.804	5.873	5.804	17.481
LP-17	3.341	3.158	3.216	9.715
FCU-L17/LL.HZ			550	550
TOTAL (W)	31.297	31.390	31.538	94.225



DATA STANDAR TRANSFORMATOR MINYAK RATING 20 KV / 400 VOLT

Rated KVA	Arus beban nol		Impedansi Zsc	Tegangan jatuh 400V		Efisiensi		Total Rugi-rugi	DIMENSI			VOLUME MINYAK	BERAT	Setting 95% Amp-Trip 400 V	Pemilihan Rating MCCB/ ACB 400 V
	Io	Arus Io pada sisi TR 400 Volt		BEBAN PENUH, faktor daya = 1	Volt	BEBAN PENUH, faktor daya = 1, T=75 C	KVA		Panjang - mm	Lebar - mm	Tinggi - mm				
KVA	%	Amp	%	%	Volt	%	KVA	KW	mm	mm	mm	liter	Kg	AT	AF
25	3,0%	1,08	4,0%	2,76%	11,0	96,9%	24	0,8	1.030	565	1.105	140	480	34	63
50	2,8%	2,02	4,0%	2,26%	9,0	97,5%	49	1,3	1.100	625	1.145	160	500	69	125
100	2,5%	3,61	4,0%	1,81%	7,2	98,0%	98	2,1	1.290	760	1.190	210	850	137	250
160	2,3%	5,31	4,0%	1,54%	6,2	98,3%	157	2,8	1.290	780	1.275	250	1.050	219	400
200	2,2%	6,35	4,0%	1,49%	6,0	98,3%	197	3,4	1.290	780	1.290	250	1.050	274	400
250	2,1%	7,58	4,0%	1,37%	5,5	98,5%	246	3,9	1.390	780	1.370	350	1.370	343	500
315	2,0%	9,09	4,0%	1,31%	5,2	98,5%	310	4,7	1.440	755	1.480	400	1.550	432	630
400	1,9%	10,97	4,0%	1,22%	4,9	98,6%	395	5,5	1.440	755	1.510	440	1.800	548	800
500	1,9%	13,71	4,0%	1,17%	4,7	98,7%	494	6,6	1.540	825	1.620	560	1.930	686	1.250
630	1,8%	16,37	4,0%	1,11%	4,4	98,8%	622	7,8	1.570	865	1.660	590	2.180	864	1.250
800	2,5%	28,87	4,5%	1,37%	5,5	98,5%	788	12,2	1.690	975	1.695	725	2.900	1.097	1.600
1000	2,4%	34,64	5,0%	1,33%	5,3	98,6%	986	14,4	1.840	1.100	1.720	815	3.100	1.371	1.600
1250	2,7%	48,72	5,5%	1,34%	5,4	98,6%	1.233	17,7	1.930	1.125	1.760	1.020	3.550	1.714	2.000
1600	2,0%	46,19	6,0%	1,30%	5,2	98,7%	1.579	21,4	2.030	1.205	1.805	1.180	4.340	2.194	2.500
2000	1,9%	54,85	6,0%	1,22%	4,9	98,8%	1.975	24,9	1.950	1.890	1.965	1.630	5.250	2.742	3.200
2500	1,8%	64,95	7,0%	1,36%	5,4	98,7%	2.468	32,5	2.300	2.020	2.075	1.680	5.700	3.428	4.000

Sumber : <http://www.geocities.com/kelistrikan/transformator.ppt>

TABEL TEGANGAN JATUH KABEL TEMBAGA (Sumber data kabel 4 besar dan Okonite Cable)															
Ukuran kabel tembaga			Resistansi DC pd 20 C Ohm/km	Resistansi AC pd 90 C Ohm/km	Reaktansi pada 50 Hz Ohm/km	Tegangan jatuh kabel trefoil di udara mV/Amp/mtr	Rating Amp max pd Tc=70C udara 30 C kabel trefoil di udara	Tegangan jatuh pada L=100 mtr & I=80% Amp rating cable, Vs=400 Vac-3ph				Kalkulasi dng COS $\phi=0.8$ & rumus $V_{drop}=1.732 \cdot I \cdot (R \cdot \cos(\phi) + X \cdot \sin(\phi))$			
Standar PLN	Standar USA	Jumlah/ Diameter kawat (mm2)						Arus 80% rating cable trefoil di udara	Tegangan jatuh kabel trefoil di udara	% Tegangan jatuh kabel trefoil di udara	Tegangan di sisi beban	$1.732 \cdot I \cdot R \cdot \cos$	$1.732 \cdot I \cdot X \cdot \sin$	Tegangan jatuh kabel trefoil di udara	% Tegangan jatuh kabel trefoil di udara
mm2	AWG	mm2	Ohm/km	Ohm/km	Ohm/km	mV/A/m	Amp	Amp	Volt	%	Volt	Volt	Volt	Volt	%
KABEL TEMBAGA INTI 3 atau 4 atau 5 utk 3 phase (contoh NYY 3c35 atau NYFGBY 4c35 atau NYM 5c4.0 mm2)															
1,5	# 14	1/1.38	11,9	15,232	0,012	27,0	18	14	38,9	10,2%	361	30,4	0,02	30,4	8,0%
2,5	# 12	1/1.78	7,14	9,139	0,099	16,0	25	20	32,0	8,4%	368	25,3	0,20	25,5	6,7%
4	# 10	1/2.25	4,47	5,722	0,093	10,0	34	27	27,2	7,2%	373	21,6	0,26	21,8	5,7%
6	# 8	1/2.76	2,97	3,802	0,088	6,80	44	35	23,9	6,3%	376	18,5	0,32	18,9	5,0%
10	# 6	1/3.57	1,77	2,266	0,084	4,00	60	48	19,2	5,1%	381	15,1	0,42	15,5	4,1%
16	# 4	7/1.70	1,13	1,446	0,081	2,50	80	64	16,0	4,2%	384	12,8	0,54	13,4	3,5%
25	# 2	7/2.14	0,712	0,911	0,081	1,60	105	84	13,4	3,5%	387	10,6	0,70	11,3	3,0%
35	# 1	7/2.52	0,514	0,658	0,078	1,150	130	104	12,0	3,1%	388	9,5	0,85	10,3	2,7%
KABEL INTI 1 (TUNGGAL) utk 3 phase (contoh NYY 3 x (4 x 1c300) mm2)															
50	2/0	19/1.78	0,379	0,485	0,094	0,870	215	172	15,0	3,9%	385	11,6	1,67	13,2	3,5%
70	3/0	19/2.14	0,262	0,335	0,090	0,610	270	216	13,2	3,5%	387	10,0	2,02	12,1	3,2%
95	4/0	19/2.52	0,189	0,242	0,087	0,450	335	268	12,1	3,2%	388	9,0	2,41	11,4	3,0%
120	250*	37/2.03	0,15	0,192	0,084	0,370	390	312	11,5	3,0%	388	8,3	2,73	11,0	2,9%
150	300*	37/2.25	0,122	0,157	0,084	0,310	445	356	11,0	2,9%	389	7,8	3,10	10,9	2,9%
185	400*	37/2.50	0,0972	0,126	0,084	0,260	510	408	10,6	2,8%	389	7,1	3,54	10,7	2,8%
240	500*	61/2.25	0,074	0,097	0,081	0,220	606	485	10,7	2,8%	389	6,5	4,10	10,6	2,8%
300	600*	61/2.52	0,059	0,078	0,080	0,195	701	561	10,9	2,9%	389	6,1	4,63	10,7	2,8%
400	750*	61/2.85	0,0461	0,063	0,079	0,175	820	656	11,5	3,0%	389	5,7	5,37	11,1	2,9%
500	1000*	61/3.20	0,0366	0,051	0,078	0,160	936	749	12,0	3,2%	388	5,2	6,07	11,3	3,0%

Note : Pada kolom AWG, *) adalah satuan MCM

Sumber : <http://www.geocities.com/kelistrikan/powercable.htm>

Table 2-2. Diversity Factors. *

Elements of system between which diversity factors are stated:	Diversity factors for			
	Residence lighting	Commercial lighting	General power	Large users
Between individual users.....	2.0	1.46	1.45	-
Between transformers.....	1.3	1.3	1.35	1.05
Between feeders.....	1.15	1.15	1.15	1.05
Between substations.....	1.1	1.10	1.1	1.1
From users to transformer.....	2.0	1.46	1.45	-
From users to feeder.....	2.6	1.90	1.95	1.15
From users to substation.....	3.0	2.18	2.24	1.32
From users to generating station.....	3.29	2.40	2.46	1.45

*From "Standard Handbook for Electrical Engineers" by Fink and Beaty, copyright 1987, by McGraw-Hill, Inc. Used with permission of McGraw-Hill Book Company.

Lampiran 5

Structure	Demand Factor
Housing	0.9
Aircraft maintenance facilities	.7
Operation facilities	.8
Administrative facilities	.8
Shops	.7
Warehouses	.5
Medical facilities	.8
Theaters	.3
NAV aids	.5
Laundry, ice plants, and bakeries	1.0
All others	.9

NO	GOLONGAN TARIF	PENJELASAN	SISTEM TEGANGAN	BATAS DAYA
1.	S - 1	PEMAKAI SANGAT KECIL	TR	S/D 200 VA
2.	S - 2	BADAN SOSIAL KECIL	TR	250 VA S/D 2200 VA
3.	S - 3	BADAN SOSIAL SEDANG	TR	201 kVA KEATAS
4.	S - 4	BADAN SOSIAL BESAR	TM	201 kVA KEATAS
5.	SS - 4	BADAN SOSIAL BESAR DIKELOLA SWASTA UNTUK KOMERSIAL	TM	201 kVA KEATAS
6.	R - 1	RUMAH TANGGA KECIL	TR	250 VA S/D 200 VA
7.	R - 2	RUMAH TANGGA SEDANG	TR	501 VA S/D 2200 VA
8.	R - 3	RUMAH TANGGA MENENGAH	TR	2201 VA S/D 6600 VA
9.	R - 4	RUMAH TANGGA BESAR	TR	6601 VA KEATAS
10.	U - 1	USAHA KECIL	TR	250 VA S/D 2200 VA
11.	U - 2	USAHA SEDANG	TR	2201 VA S/D 200 kVA
12.	U - 3	USAHA BESAR	TM	201 kVA KEATAS
13.	U - 4	SAMBUNGAN SEMENTARA	TR	
14.	H - 1	PERHOTELAN KECIL	TR	250 VA S/D 99kVA
15.	H - 2	PERHOTELAN SEDANG	TR	100kVA S/D 200 kVA
16.	H - 3	PERHOTELAN BESAR	TM	201 kVA KEATAS
17.	I - 1	INDUSTRI RUMAH TANGGA	TR	450 VA S/D 2200VA
18.	I - 2	INDUSTRI KECIL	TR	2201 VA S/D 13.9 kVA
19.	I - 3	INDUSTRI SEDANG	TR	14 kVA S/D 200

				kVA
20.	I - 4	INDUSTRI MENENGAH	TM	201 kVA KEATAS
21.	I - 5	INDUSTRI BESAR	TT	30,000 kVA KEATAS
22.	G - 1	GEDUNG PEMERINTAH KECIL/SEDANG	TR	250 VA S/D 200 kVA
23.	G - 2	GEDUNG PEMERINTAH BESAR	TM	201 KVA KEATAS
24.	J	PENERANGAN JALAN UMUM	TR	

Sumber : Golongan tarif Tenaga Listrik PT. PLN (PERSERO) Distribusi Jakarta raya dan Tangerang(<http://www.indo.net.id/pln/htdocs/pengol.htm>)