

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Berdasarkan tugas akhir yang telah disusun oleh Bani Rismanta tentang Analisis Sistem Distribusi Energi Listrik Pada Gedung Pasca Sarjana Universitas Muhammadiyah Yogyakarta maka dapat digunakan sebagai pedoman untuk analisis distribusi daya listrik pada gedung admisi Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Pada gedung pasca sarjana UMY bahwa total daya aktif pada perencanaan gedung sebesar 478,064 KW, dan total daya semu sebesar 579,053 KVA. Selain itu daya aktif setelah terkena faktor kebersamaan pada perencanaan pembangunan gedung sebesar 322,666 KW dan total daya semu setelah terkena faktor kebersamaan sebesar 403,230 KVA.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Yongki Sutoyo yang berjudul Analisis Sistem Suplai Daya Instalasi Tenaga Pada Gedung Fakultas Teknik (F1, F3, F4, G5 dan G6) Universitas Muhammadiyah Yogyakarta pada tahun 2017, penelitian ini menganalisis pengaruh beban terhadap kehandalan dan keamanan optimasi sistem suplai daya instalasi tenaga di fakultas teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Analisis kehandalan dan keamanan optimasi sistem suplai daya instalasi tenaga listrik difokuskan bagaimana pengaruh beban terhadap kehandalan sistem suplai daya instalasi tenaga listrik serta seberapa baik pemeliharaan sistem instalasi listrik yang ada mempengaruhi jatuh tegangan dan

rugi-rugi daya sehingga mempengaruhi sistem suplai daya instalasi listrik tenaga secara keseluruhan.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Slamet Ariyanto yang berjudul Perencanaan Sistem Instalasi Listrik Pada Gedung Talavera Suite Jakarta pada tahun 2013 yang lalu membahas dan menganalisis perencanaan sistem instalasi listrik pada masing-masing lantai gedung. Pada penelitian ini juga menganalisis perhitungan beban listrik per lantai, perhitungan beban listrik per panel distribusi, dan juga perhitungan pemutus arus dan besar penampang kabel. Analisis *grounding* dan perbaikan faktor daya juga dilakukan untuk melengkapi analisis terhadap suatu sistem instalasi sebuah gedung.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Sistem Distribusi

Menurut (William D. Stevenson, Jr. 1984. Analisis Sistem Tenaga Listrik) sistem distribusi merupakan suatu bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi adalah saluran tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen baik komersial, rumah tangga maupun industri. Tegangan pada generator-generator besar biasanya berkisar di antara 13,8 KV dan 24 KV. Tetapi generator-generator besar yang modern dibuat dengan tegangan yang bervariasi antara 18 dan 24 KV. Tidak ada standar umum yang diterima untuk tegangan-tegangan generator. Tegangan generator dinaikkan ke tingkat-tingkat yang dipakai untuk transmisi yaitu antara 115 dan 765 KV. Tegangan-tegangan tinggi standar (*High Voltage – HV Standard*) adalah 115, 138 dan 230

KV. Tegangan-tegangan tinggi ekstra (Extra High Voltage – EHV) adalah 345, 500 dan 765 KV.

Keuntungan dari transmisi dengan tegangan-tegangan yang lebih tinggi akan menjadi jelas jika kita melihat pada kemampuan transmisi dari suatu saluran transmisi. Penurunan tegangan dari tingkat tegangan transmisi pertama-tama terjadi pada stasiun pembantu tenaga besar, dimana tegangan diturunkan ke daerah antara 34,5 dan 138 KV sesuai dengan tegangan saluran transmisinya. Beberapa pelanggan yang memakai tenaga untuk keperluan industri sudah dapat dicatu dengan tegangan ini. Penurunan tegangan berikutnya terjadi pada stasiun pembantu distribusi, dimana tegangan diturunkan lagi menjadi 4 sampai 34,5 KV dan biasanya tegangan pada saluran-saluran yang keluar dari stasiun pembantu tersebut berkisar antara 11 dan 15 KV. Ini adalah apa yang biasa disebut sistem distribusi primer. Tegangan yang sangat lazim dipakai pada tingkat ini adalah 12,470 V antar fasa atau 7,200 V dari fasa ke tanah. Tegangan ini biasanya dinyatakan sebagai 12,470 Y/7,200 V. Tegangan sistem primer yang lebih rendah dan kurang luas pemakaiannya ialah 4160 Y/2400 V.

Kebanyakan beban-beban industri dicatu dari sistem primer, yang juga mencatu transformator-transformator distribusi. Transformator-transformator ini menyediakan tegangan sekunder pada rangkaian-rangkaian tiga kawat berfasa tunggal untuk pemakaian rumah tangga. Di sini tegangannya adalah 240 V antara dua kawat, dan 120 V di antara masing-masing kawat tersebut dan kawat ke tiga yang di *grounding* kan. Rangkaian-rangkaian sekunder lainnya ialah sistem empat kawat berfasa tiga yang dinyatakan dengan 208 Y/120 V atau 480 Y/277 V.

2.2.2 Pengertian Daya

Menurut (Zuhal, 1995. Dasar Teknik Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya) daya adalah energi yang dikeluarkan untuk melakukan usaha. Dalam sistem tenaga listrik, daya merupakan jumlah energi yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha. Daya memiliki satuan watt, yang merupakan perkalian dari tegangan (volt) dan arus (ampere). Daya dinyatakan dalam P, tegangan dinyatakan dalam V, sedangkan arus dinyatakan dalam I. Sehingga besarnya daya dinyatakan:

$$P = \text{Watt}$$

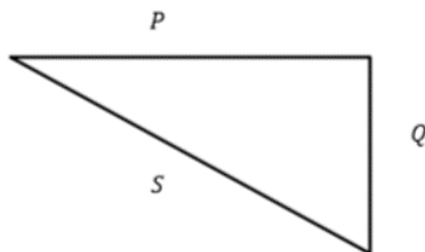
$$P = V \times I$$

$$P = \text{Volt} \times \text{Ampere} \times \cos \varphi \dots\dots\dots$$

(2.1)

2.2.3 Segitiga Daya

Segitiga daya merupakan segitiga yang menggambarkan hubungan antara tipe-tipe daya yang berbeda antara daya semu, daya aktif dan daya reaktif berdasarkan prinsip trigonometri. Berikut adalah gambar hubungan segitiga daya antara daya semu, daya aktif dan daya reaktif:



Gambar 2.1 Segitiga daya

Dimana berlaku hubungan:

$$S = V \times I$$

$$P = S \times \cos \varphi$$

$$Q = S \times \sin \varphi$$

1. Daya Aktif (P)

Daya aktif (*Active Power*) adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya yang dibutuhkan oleh beban listrik. Daya ini digunakan secara umum oleh konsumen dan dikonversikan dalam bentuk kerja. Satuan daya aktif yaitu watt. Adapun persamaan dalam daya aktif sebagai berikut:

$$\text{Satu fasa } P = V \times I \times \cos \varphi \dots\dots\dots$$

(2.2)

$$\text{Tiga fasa } P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \dots\dots\dots$$

(2.3)

2. Daya Semu (S)

Daya semu (*Apparent Power*) adalah daya yang dihasilkan dari perkalian antara tegangan (volt) dan arus (ampere) pada sebuah jaringan dan dinyatakan dalam voltampere (VA)

3. Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif yaitu daya yang diperlukan untuk pembentukan suatu medan magnet dan dari medan magnet tersebut akan menghasilkan fluks medan magnet. Transformator, motor, dan lampu merupakan contoh peralatan listrik yang menimbulkan daya reaktif. Daya reaktif dinyatakan dalam VAR. Adapun persamaan dalam daya reaktif sebagai berikut:

$$\text{Satu fasa } Q = V \times I \times \sin \varphi \dots\dots\dots$$

(2.4)

$$\text{Tiga fasa } Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \varphi \dots\dots\dots$$

(2.5)

2.2.4 Perbaikan Faktor Daya

Perbaikan faktor daya (*Power Factor*) atau $\cos \varphi$ merupakan suatu usaha untuk meningkatkan faktor daya dari sistem tenaga listrik yang memiliki kualitas rendah. Beban-beban motor yang terdapat pada suatu instalasi listrik adalah termasuk beban yang bersifat induktif. Untuk mengubah faktor daya yang tadinya rendah ke faktor daya yang lebih baik pada beban motor yaitu dengan cara menambahkan kapasitor pada beban tersebut yaang dipasang secara paralel.

Faktor daya mempunyai *range* nilai yaitu antara 0-1 dan dapat juga dinyatakan dalam satuan persen. Faktor daya yang baik yaitu apabila besar nilainya mendekati satu. Adapun persamaan dalam perbaikan faktor daya dapat ditulis sebagai berikut:

$$\text{Daya reaktif (Q) = Daya aktif (P) x Tan } \varphi \dots\dots\dots$$

(2.6)

$$\text{Daya reaktif pada pf awal = Daya Aktif x Tan } \varphi_1 \dots\dots\dots$$

(2.7)

$$\text{Daya reaktif setelah pf diperbaiki = Daya Aktif x Tan } \varphi_2 \dots\dots\dots$$

(2.8)

$$\text{Daya reaktif terkoreksi} = \text{Daya Aktif} \times (\tan \varphi^1 - \tan \varphi^2) \dots\dots\dots$$

(2.9)

2.2.5 Sifat Beban Listrik

Pada suatu rangkaian listrik atau sebuah instalasi listrik pasti terdapat sumber dan beban. Dalam sumber listrik DC, sifat beban di dalamnya bersifat resistif murni karena frekuensi sumber pada arus DC adalah nol. Jadi sumber pada arus DC akan menyebabkan beban-beban yang bersifat induktif dan kapasitif tidak akan mempengaruhi rangkaian. Jika pada sumber arus listrik AC beban dibedakan menjadi 3, antara lain:

1. Beban resistif

Beban resistif yaitu beban yang merupakan suatu resistor murni.

Beban jenis ini hanya menyerap daya aktif dan tidak menyerap daya reaktif.

2. Beban induktif

Beban induktif yaitu beban yang mengandung suatu kumparan kawat yang dililitkan pada sebuah inti. Beban jenis ini menyerap daya aktif dan juga menyerap daya reaktif.

3. Beban kapasitif

Beban kapasitif adalah suatu beban yang mengandung suatu rangkaian kapasitor. Beban jenis ini menyerap daya aktif tetapi juga mengeluarkan daya reaktif.

2.2.6 Klasifikasi Beban

Menurut (Daman Susmanto, Sistem Distribusi Tenaga Listrik) berdasarkan jenis konsumen energi listrik, secara garis besar beban dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Beban rumah tangga, pada umumnya beban rumah tangga berupa peralatan-peralatan listrik kecil seperti lampu penerangan, televisi, setrika, kipas angin atau alat rumah tangga lainnya. Siklus pada beban rumah tangga biasanya memuncak di malam hari.
2. Beban komersial, pada jenis beban ini umumnya terdiri dari penerangan, komputer atau mesin-mesin seperti mesin fotocopy dan lain-lain. Beban hotel dan perkantoran termasuk pada jenis beban ini. Siklus pada beban ini biasanya memuncak pada siang hari seiring dengan aktivitas komersial.
3. Beban industri, beban yang paling tinggi dan besar daya pemakaiannya. Mengingat terdapat mesin-mesin industri yang juga ada yang beroperasi 24 jam *non stop*. Waktu puncaknya tergantung pada aktivitas atau produksi suatu industri tersebut.

2.2.7 Karakteristik Umum Beban Listrik

Sistem distribusi tenaga listrik tujuan utamanya yaitu mendistribusikan listrik dari sumber ke beberapa pelanggan atau beban. Dalam perencanaan sistem distribusi, faktor yang paling penting yaitu karakteristik dari berbagai macam beban itu sendiri. Karakteristik beban sangat penting agar sistem tegangan dan pengaruh *thermis* dari pembebanan dapat dianalisis dengan baik. Karakteristik beban juga sangat penting peranannya dalam memilih kapasitas suatu transformator secara tepat dan bernilai ekonomis. Berikut ini adalah faktor-faktor yang menentukan karakteristik beban, antara lain:

1. Faktor beban (*load factor*)

Faktor beban merupakan perbandingan antara beban rata-rata terhadap beban puncak yang diukur dalam suatu periode tertentu. Faktor beban dapat dihitung pada periode tertentu, biasanya dihitung berdasarkan pemakaian harian, bulanan atau tahunan. Beban rata-rata dan beban puncak dinyatakan dalam KW, KVA, ampere dan sebagainya tetapi keduanya harus sama satuannya. Persamaan faktor beban:

$$\text{Faktor Beban} = \frac{\text{beban rata-rata pada periode tertentu}}{\text{beban puncak pada priode tertentu}} \dots\dots\dots$$

(2.10)

2. Beban Harian

Pada faktor beban harian, variasi karakteristik beban ditentukan dari daerah beban tersebut apakah daerah industri, komersial, rumah tangga ataupun gabungan dari berbagai macam pelanggan. Cuaca juga sangat berpengaruh pada faktor beban harian.

3. Faktor Penilaian Beban

Faktor penilaian beban merupakan suatu faktor yang dapat memberikan gambaran mengenai bagaimana karakteristik beban, baik dari segi kuantitas pembebanannya maupun dari segi kualitasnya. Faktor penilaian beban sangat penting untuk mengetahui karakteristik beban di masa yang akan datang atau dalam menentukan efek pembebanan terhadap kapasitas sistem secara menyeluruh. Berikut ini adalah faktor-faktor yang mempengaruhi penilaian beban:

- a. Beban (*Demand*), yaitu besar pembebanan pada saat waktu tertentu.
- b. Beban Maksimum, yaitu beban rata-rata terbesar yang terjadi pada suatu interval beban tertentu.
- c. Beban Puncak (*Peak Load*), yaitu nilai beban terbesar dari pembebanan sesaat pada suatu interval beban tertentu.

- d. Beban Terpasang, yaitu beban terpasang atau jumlah total daya dari seluruh peralatan sesuai dengan daya yang tercantum pada peralatan tersebut.

$$P_L = \sum_{i=1}^n P_i \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana: P_i = rating KVA dari alat i

n = jumlah alat yang terhubung

- e. Faktor Keragaman (*Diversity Factor*), f_{div} yaitu didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah beban maksimum dari masing-masing unit beban yang ada pada suatu sistem terhadap beban maksimum sistem.

$$f_{div} = \frac{D_{max1} + D_{max2} + D_{maxn}}{D_{max}(1+2+\dots+n)} \dots\dots\dots$$

(2.12)

$$= \frac{\sum_{i=1}^n D_{max}}{D_{max}}$$

Dimana: D_{max1} = beban maksimum unit ke i

D_{max} = beban maksimum sistem

- f. Faktor Keserempakan, yaitu merupakan perbandingan antara beban maksimum dari suatu kumpulan beban dari sistem terhadap jumlah beban maksimum dari masing-masing unit beban.

$$f_{cf} = \frac{D_{max}(1+2+\dots+n)}{D_{max1} + D_{max2} + D_{maxn}} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$= \frac{D_s}{\sum_{i=1}^n D_{max i}}$$

$$= \frac{1}{f_i}$$

- g. Faktor Kebutuhan, yaitu perbandingan antara beban puncak pada suatu sistem terhadap beban terpasang yang dilayani oleh suatu sistem.

$$f_d = \frac{P_{max}}{\sum_{i=1}^n P_i} \dots\dots\dots (2.14)$$

- h. Faktor Beban (*Load Factor*), yaitu perbandingan beban rata-rata pada interval tertentu dengan beban puncak pada interval yang sama.

$$f_{Ld} = \frac{P_{av}}{P_{max}} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana: P_{av} = beban rata-rata

P_{max} = beban puncak

- i. Faktor Rugi-Rugi (*Loss Factor*), yaitu perbandingan antara rugi-rugi daya rata-rata terhadap rugi-rugi daya beban puncak pada waktu tertentu.

$$f_{Ls} = \frac{P_{av}}{P_{max}} \dots\dots\dots (2.16)$$

Tabel 2.1 Faktor-faktor karakteristik beban

Jenis Beban	Daya (KW)	Faktor-faktor Beban		
		Faktor Kebutuhan	Faktor Beban	Faktor Diversitas
Domestik	0,4 – 1,5	70 – 100%	10 – 15%	1,2 – 1,3
Komersial	0,5 – 2,0	90 – 100%	25 – 30%	1,1 – 1,2

Industri Besar	100 – 500	70 – 80%	60 – 65%	
Industri Berat	> 500	85 – 90%	70 – 80%	

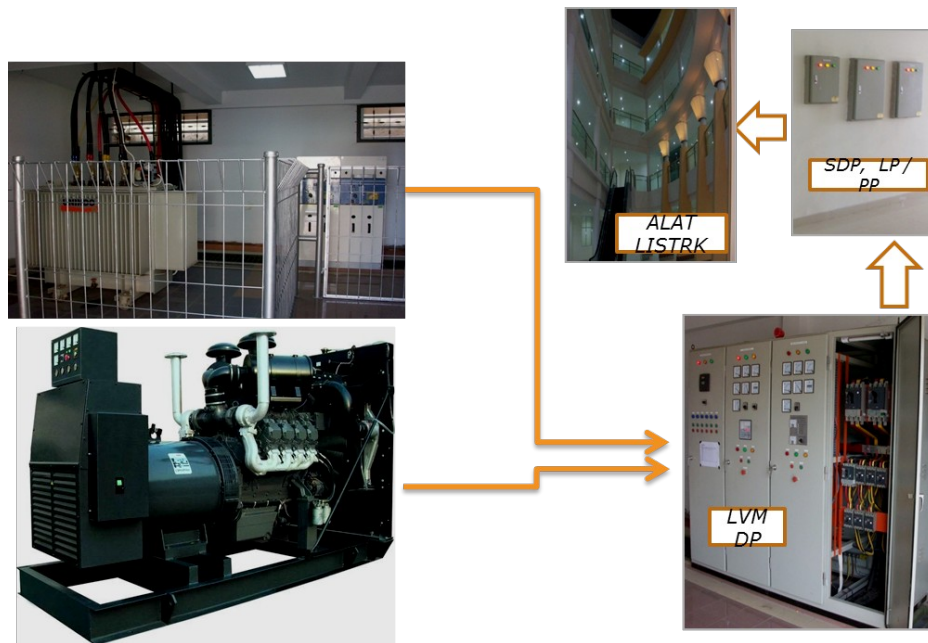
Sumber: A. S. Pabla. Ir. Abdul Hadi; 1994, 6-7

2.2.8 Komponen Distribusi Tenaga Listrik di Gedung Bertingkat

Pada suatu perencanaan instalasi listrik pada gedung bertingkat, sudah pasti di dalamnya terdapat sistem elektrikal. Sistem elektrikal merupakan suatu rangkaian peralatan penyediaan daya listrik untuk memenuhi kebutuhan daya listrik tegangan rendah. Dalam rangkaian peralatan yang disediakan meliputi sarana penyesuaian tegangan listrik (transformator), sarana penyaluran utama (kabel *feeder*) dan panel hubung utama atau LVMDP (*Low Voltage Main Distribution Panel*) dan panel distribusi utama pada setiap gedung (*Sub Distribution Panel*) dan terakhir panel-panel di setiap lantai. Sistem elektrikal yang terdapat pada sebuah instalasi gedung bertingkat antara lain:

- Sistem Distribusi Daya Listrik
- Sistem Pengindra Kebakaran (*Fire Alarm*)
- Sistem Telepon
- Sistem Komunikasi Data (IT)
- Sistem Tata Suara (*Sound System*)
- Sistem Tata Udara (AC)
- Sistem MATV (Master Aerial Television)
- Kamera CCTV
- Sistem Penyalur Petir

Garis besar sistem distribusi listrik pada sebuah gedung bertingkat dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 sistem distribusi pada gedung

Sumber: *Electrical and Mechanical Services in High Rise Building*.

Ir. Agus Jamal, M.Eng.

Berikut ini adalah komponen-komponen yang digunakan untuk keperluan sistem distribusi daya listrik pada gedung bertingkat:

1. Transformator

Transformator yang digunakan yaitu transformator penurun tegangan (*Step Down*) yaitu trafo yang digunakan untuk menurunkan tegangan listrik mengubah dari tegangan primer ke tegangan sekunder. Transformator *step down* mengubah tegangan listrik dari suatu distribusi dari satu tingkat turun ke tingkat yang lebih rendah. Contoh sebuah transformator *step down* dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Transformator *Step Down*
(Sumber: dokumentasi pribadi)

2. Generator Set (Genset)

Generator set (genset) berfungsi sebagai pensuplai daya listrik cadangan yang dapat bekerja apabila daya listrik utama dari PLN terputus atau terjadi pemadaman listrik. Genset terhubung dengan panel khusus yaitu panel kontrol genset (PKG). PKG akan menghidupkan genset dan mensuplai tegangan ke panel distribusi apabila terjadi gangguan pada sumber PLN sehingga akan memberikan pelayanan yang kontinu terhadap ketersediaan sumber tenaga listrik. Contoh generator dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Generator Set (Genset)
(Sumber: dokumentasi pribadi)

3. Panel Listrik

Panel listrik dibedakan menjadi dua, yaitu panel daya dan panel distribusi listrik. Panel distribusi listrik berguna untuk mengalirkan energi

listrik dari pusat atau gardu induk *step down*. Panel daya adalah tempat untuk menyalurkan dan mendistribusikan energi listrik dari gardu induk *step down* ke panel-panel distribusi. Sedangkan yang dimaksud panel distribusi daya adalah tempat untuk menyalurkan dan mendistribusikan energi listrik dari panel daya ke beban panel (konsumen) baik untuk instalasi tenaga maupun untuk instalasi penerangan. Panel distribusi tenaga listrik berfungsi sebagai sistem pendistribusian tenaga listrik yang dihasilkan oleh sumber PLN dan atau diesel generator. Panel daya dan panel distribusi listrik juga digunakan untuk memudahkan pembagian energi listrik secara merata, pengamanan instalasi dan pemakaian, pemeriksaan dan perawatan panel listrik. Panel distribusi terdiri dari beberapa peralatan listrik yang diinstalasi menjadi rangkaian kontrol dan proteksi terhadap sumber tegangan dan beban.

Pada dunia industri umumnya perlengkapan PHB dibagi atas panel untuk penerangan dan untuk tenaga. Pada panel tenaga biasa dipasang pengaman tegangan nol. Panel tenaga dan panel penerangan dipisahkan untuk mengantisipasi terjadi gangguan dari salah satu panel tenaga maupun panel penerangan agar tidak mempengaruhi keduanya. Panel harus dihubungkan ke tanah atau diberi *grounding* untuk memperkecil tegangan sentuh listrik apabila terjadi kebocoran isolasi. Besar penampang harus sesuai dengan PUIL agar mengetahui besar tegangan antar fasa, arus, dan lain-lain. Panel dilengkapi dengan alat ukur volt meter, ampere meter, dan lampu indikator. Pada umumnya panel-panel distribusi yang ada di gedung bertingkat adalah sebagai berikut:

1. MVMDP
2. LVMDP
3. Panel distribusi tiap lantai
4. Panel elektronik
5. Panel kusus genset (PKG)
6. Panel lift
7. Panel pompa
8. Panel penerangan

Berikut ini adalah contoh panel distribusi listrik pada suatu gedung:



Gambar 2.5 Panel listrik
(Sumber: dokumentasi pribadi)

4. *Circuit Breaker*

Panel distribusi membutuhkan peralatan listrik yang berfungsi sebagai pengaman terhadap terjadinya gangguan yang disebabkan oleh hubung singkat (*short circuit*) dan pembebanan yang melebihi kapasitas arus yang terjadi secara cepat (*over loading*). Keandalan dari suatu *breaker* ditentukan dari kecepatan memutus jika terjadi gangguan dan kemampuan untuk menahan arus hubung singkat secara cepat. Dalam

panel distribusi tegangan rendah terdiri dari bermacam-macam *breaker*

sesuai dengan kapasitasnya dan jumlah kutubnya antara lain yaitu:

1. *Miniature circuit breaker* (MCB)
2. *Moulded circuit breaker* (MCCB)
3. *No fuse breaker* (NFB)
4. *NT fuse blast circuit breaker* (ACB)

Dalam memilih kutub *circuit breaker*, hal-hal yang harus diperhatikan yaitu:

1. Karakteristik sistem dimana *circuit breaker* tersebut dipasang.
2. Kebutuhan akan kontinuitas pelayanan sumber daya listrik.
3. Aturan dan standar proteksi yang berlaku.
4. Sistem tegangan.
5. Frekuensi sistem.
6. Arus pengenal.
7. Kapasitas pemutusan.
8. Jumlah *pole*.

Berikut ini adalah salah satu contoh *circuit breaker*:



Gambar 2.6 *Circuit breaker*
(Sumber: directindustry.com)

5. Kontaktor

Kontaktor adalah peralatan listrik yang berfungsi untuk memutus atau menghubungkan rangkaian listrik. Kontaktor terdiri dari tiga bagian pokok yaitu kontak utama, kontak bantu, dan koil magnetik. Prinsip kerja kontaktor berdasarkan induksi elektromagnetik dimana koil magnetik

kontaktor tersebut disuplai sumber tegangan listrik AC / DC, pada kumparan tembaga tersebut terjadi induksi elektromagnetik sehingga dapat menarik bahan *ferro magnetic* yang ada di dekatnya (prinsip magnet buatan). Kapasitas penghubung dan pemutus suatu kontaktor dapat dilihat dari data teknik suatu kontaktor tersebut., jadi jika suatu kontaktor menghubungkan arus listrik yang melebihi kemampuan hantar arusnya (KHA) maka kontaktor tersebut akan leleh dan mengakibatkan hubung singkat. Contoh sebuah kontaktor dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Kontaktor
(Sumber: directindustry.com)

6. Rel Tembaga/Bus Bar

Rel tembaga / bus bar adalah tembaga batangan yang berfungsi untuk memberikan sistem distribusi listrik yang ada pada panel. Sebelum menentukan penampang rel tembaga / bus bar harus diperhitungkan dan ditentukan berapa kemampuan hantar arus (KHA) yang mengalir pada rel tembaga / bus bar tersebut. Rel tembaga / bus bar dapat mempunyai KHA yang lebih besar dari nominalnya jika rel tembaga / bus bar tersebut di cat dan diberi warna. Adapun warna standar yang dipakai sistem PLN yaitu:

Warna merah	fasa L1
Warna kuning	fasa L2

Warna hitam	fasa L3
Warna biru	netral (N)
Warna kuning dan hijau	<i>grounding</i> (PE)



Gambar 2.8 Rel tembaga/Bus bar
(Sumber: dokumentasi pribadi)

7. Sekering (*Fuse*)

Sekering (*fuse*) merupakan suatu peralatan yang umum digunakan untuk memproteksi sistem atau komponen terhadap kerusakan yang disebabkan oleh arus yang berlebihan yang melewati sistem ataupun rangkaian. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pemilihan sekering yaitu:

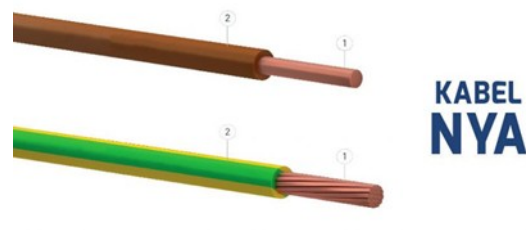
- a. Arus nominal sekering (*current rating*)
- b. Tegangan nominal (*voltage rating*)
- c. *Time current protection*
- d. *Pre arcing time*
- e. *Arcing time*
- f. *Minimumfusing current*
- g. *Fusingfactor*
- h. *Total operating time*
- i. *Category of duty*

8. Kabel Penghantar

a. Kabel NYA

Kabel jenis NYA biasanya digunakan untuk instalasi rumah dan sistem tenaga. Kabel jenis NYA berinti tunggal, berlapis bahan isolasi PVC, dan sering digunakan untuk instalasi kabel udara. Kode warna isolasi yaitu warna merah, kuning, biru dan hitam.

Kabel tipe ini umumnya digunakan di perumahan karena harganya relatif murah.



Gambar 2.9 Kabel NYA
(Sumber: www.alkonusa.com)

b. Kabel NYM

Kabel jenis NYM digunakan untuk instalasi listrik rumah atau gedung dan sistem tenaga. Kabel jenis NYM berinti lebih dari satu, memiliki lapisan isolasi PVC. Kabel NYM juga ada yang berinti 2, 3 atau 4. Kabel jenis NYM memiliki lapisan isolasi dua lapis, sehingga tingkat keamanannya lebih baik dari kabel NYA. Kabel jenis ini dapat digunakan di lingkungan yang kering dan basah, namun tidak boleh di tanam.



Gambar 2.10 Kabel NYM
(Sumber: www.alkonusa.com)

c. Kabel NYY

Kabel jenis NYY memiliki lapisan isolasi PVC, ada yang berinti 2, 3 atau 4. Kabel jenis NYY digunakan untuk instalasi tertanam dan memiliki lapisan isolasi yang lebih kuat dari kabel NYM.



Gambar 2.11 Kabel NYN
(Sumber: www.alkonusa.com)

- d. Kabel NYAF
Kabel jenis NYAF merupakan jenis kabel fleksibel dengan penghantar tembaga serabut berisolasi PVC. Digunakan untuk instalasi panel-panel yang memerlukan fleksibilitas yang tinggi.



Gambar 2.12 Kabel NYAF
(Sumber: www.alkonusa.com)

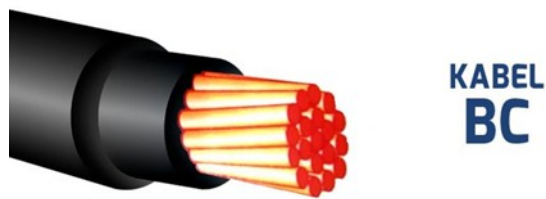
- e. Kabel NYFGbY
Kabel jenis NYFGbY digunakan untuk instalasi bawah tanah (*underground*), di dalam ruangan, di dalam saluran-saluran, dan pada tempat yang terbuka dimana perlindungan terhadap gangguan mekanis dibutuhkan.



Gambar 2.13 Kabel NYFGbY
(Sumber: www.alkonusa.com)

- f. Kabel BC (*Bore Copper*)

Kabel jenis BC ini digunakan untuk pentanahan berupa kabel tanpa isolasi, biasanya disambung dengan elektrode yang ditanam dalam tanah. Perhitungan dan perencanaan penentuan spesifikasi komponen panel.



Gambar 2.14 Kabel BC
(Sumber: www.alkonusa.com)

2.3 Rumus-Rumus Untuk Analisis Data

Berikut ini adalah rumus-rumus yang digunakan untuk menganalisa beban listrik, yaitu:

- Rumus untuk menghitung arus listrik per fasa pada listrik satu fasa

$$I = \frac{P}{V_{ln} \cdot \cos \varphi} \dots\dots\dots$$

(2.17)

Dimana: I = arus listrik (ampere)

P = daya (watt)

V_{ln} = tegangan listrik (*line to neutral*)

$\cos \varphi$ = faktor daya

- Rumus untuk menghitung arus listrik per fasa pada listrik 3 fasa

$$I = \frac{P}{V_i \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi} \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana: I = arus listrik (ampere)

P = daya (watt)

V_i = tegangan listrik (*line to line*)

$\cos \varphi$ = faktor daya

- Rumus untuk menghitung daya semu pada listrik 1 fasa

$$S = V_{ln} \cdot I \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana: S = daya semu (VA)

V_{ln} = tegangan listrik (*line to neutral*)

I = arus listrik (ampere)

- Rumus untuk menghitung daya semu pada listrik 3 fasa

$$S = V_i \sqrt{3} \cdot \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \dots\dots\dots$$

(2.20)

Dimana: S = daya semu (VA)

V_i = tegangan listrik (*line to line*)

I_R = arus fasa R

I_S = arus fasa S

I_T = arus fasa T

- Rumus untuk menghitung kapasitas hantar arus kabel

$$I_{KHA} = I \cdot 125 \quad \dots\dots\dots (2.21)$$

Dimana: I_{KHA} = kapasitas hantar arus minimal kabel

(ampere)

I = arus beban terpasang

Nilai 125% adalah asumsi toleransi sebesar 25% dari arus listrik beban terpasang untuk kapasitas hantar arus minimal kabel.

- Rumus untuk menghitung daya aktif pada beban maksimal normal

$$P_{max} = P_{terpasang} \cdot FK \quad \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana: P_{max} = daya aktif maksimum

$P_{terpasang}$ = daya aktif terpasang

FK = faktor keserempakan (%)

- Rumus untuk menghitung daya semu pada beban maksimal normal

$$S_{max} = S_{terpasang} \cdot FK \quad \dots\dots\dots (2.23)$$

Dimana: S_{max} = beban maksimum

$S_{terpasang}$ = beban terpasang

FK = faktor keserempakan (%)

- Rumus perhitungan kapasitas sumber beban

$$Kapasitas\ transformator = \frac{beban\ normal\ maksimal\ (S)}{pf} \quad (2.24)$$

$$Kapasitas\ genset = \frac{beban\ normal\ maksimal\ (S)}{pf} \quad (2.25)$$