

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Kerangka Teori

2.1.1 Pengertian Analisa

Penelitian terhadap suatu peristiwa atau kejadian (karangan, perbuatan, kejadian, dsb) untuk mengetahui keadaan yang sebenarnya (sebab-musabab, duduk perkaranya dsb) untuk memperoleh pengertian yang tepat dan pemahaman arti keseluruhan dan mendapatkan hasil dari penelitian.³

2.1.2 Pengertian Kubikel

Pada instalasi tenaga listrik dan peralatan elektrik banyak dijumpai panel yang digunakan untuk melindungi peralatan kubikel. Salah satunya adalah peralatan hubung bagi atau yang biasa disebut sebagai kubikel. Perangkat hubung bagi menurut definisi PUIL adalah suatu perlengkapan untuk mengendalikan, membagi tenaga listrik dan melindungi sirkuit serta memanfaatkan tenaga listrik. Fungsi kubikel adalah sebagai pengendali, penghubung dan pelindung serta membagi tenaga listrik dari sumber tenaga listrik⁴. Sebelum tenaga listrik sampai ke peralatan konsumen seperti motor listrik, pemanas, lampu penerangan, AC dan lain-lain, terlebih dahulu listrik dialirkan melalui papan hubung bagi (PHB). Kubikel

³ Kbbi.web.id/analisis, diperoleh 24 Juli 2014

⁴ PUIL 2000 h 226

dibuat untuk kelas 3-30 kV, dan dipakai untuk pusat beban atau pusat daya (*Power Centre*)⁵.

Bentuk kubikel berupa lemari yang tertutup pada semua sisinya, sehingga tidak ada akses untuk kontak dengan bagian yang bertegangan selama pengoperasian. Karena konstruksinya tertutup pada setiap sisi, maka pemasangan PHB jenis ini tidak harus di tempat yang tertutup dan terkunci atau dapat dipasang pada tempat umum pengoperasian listrik. Perangkat hubung bagi merupakan bagian dari suatu sistem suplai. Sistem suplai sendiri secara umum terdiri dari pembangkitan (generator), transmisi (penyaluran tenaga listrik), dan pemindahan daya (transformator). Selain itu kubikel atau alat hubung bagi berfungsi sebagai pembagi beban serta pengukur. Kubikel dimana didalamnya terdapat berbagai alat seperti PMT, PT, CT, Relay, dll. Untuk itu perlu dilakukan pemeliharaan khusus agar tetap sesuai dengan standar kinerjanya. Dalam instalasi tegangan menengah kubikel diperlukan untuk mempermudah pemantauan serta pemeliharaan sehingga peralatan listrik menjadi lebih awet.

2.1.3 Komponen Kubikel

Komponen yang ada dalam kubikel harus dari jenis yang sesuai dengan syarat penggunaannya. Selain itu kemampuan komponen yang dipasang pada panel listrik harus sesuai dengan keperluan

⁵ Arismunandar & Kuwahara, *Tegangan Teknik Tenaga Listrik Jilid III*, (Jakarta; PT Pradnya Paramita, 1975) h 32

distribusi dan instalasi listrik. Komponen-komponen yang ada pada kubikel antara lain adalah:

a. Kompartemen

Kompartemen merupakan rumah dari terminal penghubung, LBS, PMT, PMS, *Fuse*, Trafo ukur, (CT, PT) peralatan mekanis dan instalasi tegangan rendah, sehingga tidak membahayakan operator terhadap adanya sentuhan langsung ke bagian yang bertegangan. Kompartemen berupa lemari / kotak terbuat dari pelat baja yang terbagi kedalam 2 (dua) bagian, bagian atas untuk busbar dan bagian bawah untuk penyambungan dengan terminasi kabel. Pada komponen bawah, bagian depan yang berupa pintu dapat dibuka apabila tegangan sudah dibebaskan dan terminasi kabel sudah ditanahkan.

b. Rel / busbar



Gambar 2.1 Rel *Busbar*

Sumber : Dokumentasi di PT PLN (persero) Area Marunda

Rel atau busbar digunakan untuk mengumpulkan tenaga listrik dengan tegangan 20 kV serta membaginya ke tempat yang diperlukan. Sebagai rel penghubung antara kubikel yang satu dengan lainnya, posisi rel umumnya terletak pada bagian atas kubikel, pada kubikel type RMU (*Ring Main Unit*) rel 20 kV terdapat dalam tabung SF 6 *vacum*. Bentuk rel ada yang bulat dan pipih. *Busbar* harus terbuat dari bahan tembaga atau aluminium, dimana *busbar* aluminium harus dilapisi dengan timah pada titik sambungannya. Busbar dapat pula dilapisi dengan karet silikon atau bahan EPDM (*Ethylene propylene diene monomer*) untuk memenuhi ketahanan pada tingkat isolasinya. Bahan pelapis tersebut tidak mudah terbakar dan apabila bahan pelapis terbuat dari bahan yang mudah terbakar sekalipun, maka api dapat cepat mati dengan sendirinya (*selfextinguishing*). Isolator tonggak dapat dibuat dari bahan porselin atau isolasi lain yang tidak mudah terbakar.

c. Kontak pemutus

Sebagai pemutus / penghubung, kontak pemutus aliran listrik terdiri dari dua bagian yaitu kontak gerak (*moving contact*) dan kontak tetap (*fixed contact*) yang berfungsi sebagai peredam busur api. Pada kubikel jenis LBS atau PMT digunakan media minyak, gas SF₆, *vacum* atau dengan hembusan udara. Selain itu, dalam memperkecil terjadinya busur api maka pembukaan

dan penutupan kontak pemutus dilakukan secara cepat dan mekanis.

d. Sirkuit pembumian

Semua bagian logam PHB bermuatan berbahaya yang bukan merupakan bagian sirkuit utama atau sirkuit bantu harus dihubungkan ke penghantar pembumian. Penghantar tersebut terbuat dari tembaga dan mampu mengalirkan arus sebesar 12,5 kA selama 1 detik tanpa menjadi rusak. Kepadatan arus di sirkuit pembumian tidak boleh melampaui 200 A/mm^2 dengan luas penampang penghantar tidak kurang dari 30 mm^2 . Pada setiap ujung penghantar disambungkan dengan instalasi sistem pembumian melalui baut berukuran M12. Penghantar pembumian ditempatkan sedemikian rupa sehingga tidak merintang tangan untuk mencapai terminal kabel. Selungkup kompartemen harus terselubung di satu titik dengan penghantar bumi. Kontinuitas pembumian antara badan kompartemen dan sekat atau tutup dipasang melalui pemasangan baut dan mur atau cara lain yang dapat diandalkan. Kontinuitas pembumian antara bagian bergerak yang berengsel dengan luas penampang tidak kurang dari 30 mm^2 . Suatu penguat ditambahkan pada pita tersebut untuk melindungi anyaman pita terhadap tegangan mekanis yang tidak semestinya. Bagian sakelar pembumian harus terhubung ke penghantar utama pembumian melalui penghantar tembaga yang kaku dan fleksibel dengan luas

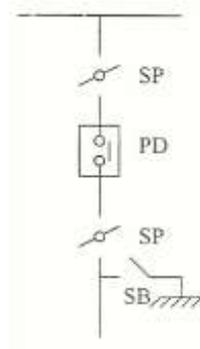
penampangnya tidak kurang dari 30 mm². Setiap kubikel yang dilengkapi sakelar pembumian harus dipasang terminal tembaga untuk pembumian yang dihubungkan ke penghantar pembumian dengan penjepit pembumian sementara.

e. Pemisah Hubung Tanah (Pemisah Tanah)

Disconnecting switch (DS) atau Pemisah (PMS) adalah peralatan pada sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk mengamankan kubikel pada saat tidak bertegangan dengan menghubungkan terminal kabel ke tanah (*grounding*), sehingga bila ada personil yang bekerja pada kubikel tersebut dapat terhindar dari kesalahan operasi yang menyebabkan kabel terisi tegangan⁶. PMS tanah ini biasanya mempunyai sistem interlock dengan pintu kubikel dan mekanik LBS dimana pintu tidak dapat dibuka jika PMS tanah belum masuk, LBS tidak bisa masuk sebelum PMS tanah dibuka.

Posisi buka atau tutup ke tiga pisau sakelar pembumian harus dapat diperiksa melalui lubang pengamatan yang terdapat pada PHB. Sebagai alternatif pisau-pisau sakelar pembumian dapat dipasang indikator untuk menentukan posisi buka atau tutup. Indikator tersebut harus sesuai dengan posisi sebenarnya dari pisau sakelar pembumian tersebut.

⁶ Buku 4 PLN, *Standar Konstruksi Gardu Distribusi dan Gardu Hubung Tenaga Listrik*. (Jakarta; Standar PT PLN Persero, 2007) h 30



Gambar 2.2 Diagram Sistem PMS

Sumber : http://enda-wahyu.blogspot.com/p/pengertian-kubikel_30.html

Keterangan :

SP = Saklar Pemutus

PD = Pemutus Daya

SB = Saklar Bumi

Mekanisme *interlocking* tersebut adalah :

1. PMS tidak dapat ditutup ketika PMT dalam posisi tertutup.
2. Saklar pembumian (*Earthing Switch*) dapat ditutup hanya ketika PMS dalam keadaan terbuka.
3. PMS dapat ditutup hanya ketika PMT dan ES terbuka.
4. PMT dapat ditutup hanya ketika PMS dalam kondisi telah terbuka atau telah tertutup.

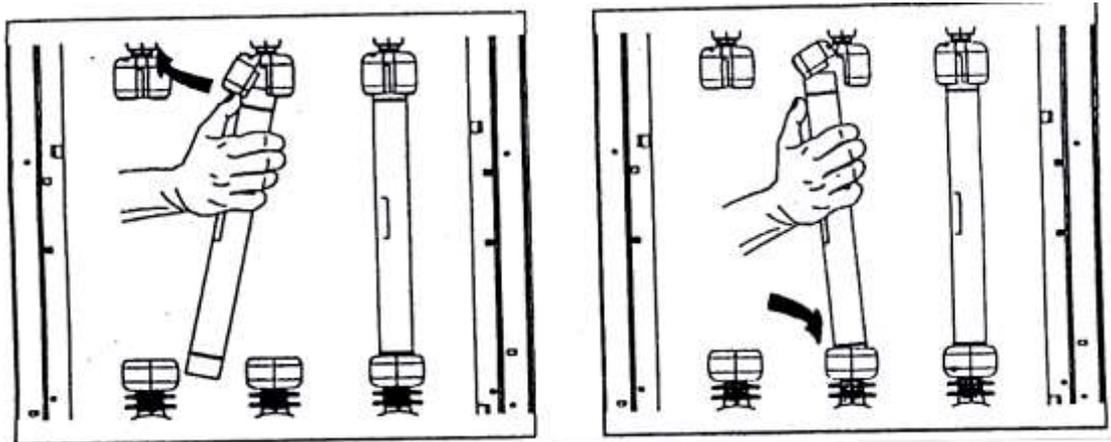
f. Terminal Penghubung

Untuk menghubungkan bagian-bagian kubikel yang bertegangan satu dengan yang lainnya, terdapat beberapa terminal antara lain :

- a. Terminal *busbar*, tempat dudukan busbar
- b. Terminal kabel, tempat menghubungkan kabel incoming dan out going
- c. Terminal PT, tempat menyambung transformator tegangan untuk pengukuran
- d. Terminal CT, tempat menyambungkan transformator arus untuk pengukuran.

g. Fuse Holder

Untuk menempatkan *fuse* pengaman trafo pada kubikel PB atau kubikel PT



Gambar 2.3 *Fuse Holder*

Sumber : http://enda-wahyu.blogspot.com/p/pengertian-kubikel_30.html

h. Mekanik Kubikel

Berfungsi untuk menggerakkan dan merubah posisi membuka / menutup kontak LBS, PMT dan PMS maupun pemisah hubung tanah yang dibuat sedemikian rupa sehingga pada waktu membuka dan menutup kontak pemutus dapat berlangsung dengan cepat.

i. Lampu Indikator

Untuk menandai adanya tegangan (20 kV) pada sisi kabel, baik yang berasal dari sisi lain kabel atau busbar sebagai akibat alat hubung dimasukkan, lampu indikator akan menyala dikarenakan adanya arus kapasitif yang dihasilkan oleh kapasitor pembagi tegangan. Pada kubikel jenis PMT, lampu indikator digunakan untuk menandai posisi alat-hubungnya dengan 2 (dua) warna yang berbeda untuk posisi masuk atau keluar. Sumber listrik untuk lampu indikator berasal dari sumber arus searah (DC) yang dihubungkan dengan kontak bantu yang bekerja serempak dengan kerja poros penggerak alat hubung utama.

j. Pemanas (*Heatter*)

Pemanas berfungsi untuk memanaskan ruang terminal kabel agar kelembabannya terjaga. keadaan ini diharapkan dapat mengurangi efek korona pada terminal kubikel tersebut, besarnya tegangan *heater* 220 V sumber tegangan berasal dari trafo distribusi

k. Pengaman

1. Rele Arus Lebih (OCR)

Rele arus lebih adalah suatu rele yang bekerja berdasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengamanan tertentu dan dalam waktu tertentu, sehingga rele ini dapat dipakai sebagai pola pengamanan arus lebih.

Keutungan dan fungsi rele arus lebih yaitu:

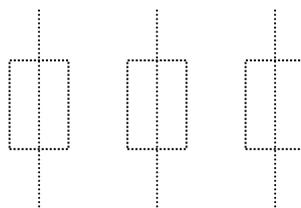
- a)** Sederhana dan murah.
- b)** Mudah menyetelnya.
- c)** Merupakan rele pengaman utama dan cadangan.
- d)** Mengamankan gangguan hubung pendek antara fasa maupun hubung pendek satu fasa ke tanah dan dalam beberapa hal dapat digunakan sebagai pengaman beban lebih (*overload*).
- e)** Pengamanan utama pada jaringan distribusi dan subtransmisi radial.
- f)** Pengaman cadangan untuk generator, trafo tenaga dan saluran transmisi. Sederhana dan murah.
- g)** Mudah menyetelnya.
- h)** Merupakan rele pengaman utama dan cadangan.
- i)** Mengamankan gangguan hubung pendek antara fasa maupun hubung pendek satu fasa ke tanah dan

dalam beberapa hal dapat digunakan sebagai pengaman beban lebih (*overload*).

- j) Pengamanan utama pada jaringan distribusi dan subtransmisi radial.
- k) Pengaman cadangan untuk generator, trafo tenaga dan saluran transmisi.

2. Sekering

Sekering berperan penting dalam suatu alat karena berfungsi sebagai pengaman baik untuk alat itu sendiri ataupun penggunanya. Sekering sering disebut juga dengan pengaman lebur atau fuse. Fungsi sekering adalah mengamankan peralatan atau instalasi listrik dari gangguan hubung singkat. Dalam pemasangannya, sekering dihubungkan pada hantaran phasa yang diketanahkan (R,S,T). Pengaman lebur ini mempunyai karakteristik pemutusan lebih cepat dibandingkan dengan MCB dan hanya dapat dipakai satu kali serta tidak dapat dioperasikan kembali.



Gambar 2.4 Simbol Sekering

Pada kubikel terdapat suatu sekering tegangan menengah yang sering disebut sebagai solefuse. Rating tegangannya bisa mencapai 34 kV dan mampu bekerja pada arus 31.5 kA.



Gambar 2.5 *Solefuse* dalam melindungi trafo tegangan

Sumber : dokumentasi di PT PLN (persero) Area Marunda

Solefuse ini digunakan untuk melindungi trafo tegangan dari gangguan. *Solefuse* terdapat pada bagian bawah kubikel.

1. *Handle* kubikel (tuas operasi)

Handle kubikel adalah sebuah alat yang berfungsi membuka atau menutup posisi kontak hubung : PMT, PMS, LBS, pemisah tanah (grounding) atau pengisian pegas untuk energi

membuka / menutup kontak hubung. Handle kubikel tiap gardu bisa berbeda jika kubikel yang dipakai tidak sama dengan gardu lainnya karena biasanya merek yang digunakan berbeda.

m. Sistem *interlock* dan pengunci

Sistem *interlock* harus lengkap untuk mencegah kemungkinan kesalahan atau kelainan operasi dari peralatan serta menjamin keamanan operasi. Gawai *interlock* harus terbuat dari jenis mekanis dengan standar pembuatan yang paling tinggi, tak dapat diganggu gugat dan mempunyai kekuatan mekanis lebih tinggi dari kontrol mekanisnya. Pada kubikel jenis PMT yang dilengkapi dengan motor listrik sebagai penggerak alat hubung dan dikontrol dengan sistem kontrol listrik arus searah, maka sistem *interlock* pun juga diberlakukan pada sistem kontrol listriknya. Yaitu, apabila posisi komponen kubikel belum pada posisi siap dioperasikan, maka sistem kontrol tidak dapat dioperasikan.

Macam- macam sistem *interlock* pada Kubikel :

1) *Interlock* pintu

- a. Pintu Kubikel harus tidak dapat dibuka jika :
 - Sakelar utama (sakelar tegangan menengah) dalam keadaan tertutup.
 - Sakelar pembumian dalam keadaan terbuka.
- b. Pintu Kubikel harus tidak dapat ditutup jika sakelar pembumian dalam keadaan terbuka.

2) *Interlock* sakelar utama

Sakelar utama (sakelar tegangan menengah) harus tidak dapat dioperasikan jika :

- 1) Pintu Kubikel dalam keadaan terbuka.
- 2) Sakelar pembumian dalam keadaan tertutup.

3) *Interlock* sakelar pembumian

Sakelar pembumian harus tidak dapat ditutup jika sakelar utama dalam keadaan tertutup.

4) Penguncian

Perlengkapan penguncian harus disediakan untuk :

- 1) Sakelar pembumian pada posisi terbuka atau tertutup
- 2) Sakelar utama atau pemutusan tenaga pada posisi terbuka.
- 3) Pintu Kubikel

n. Derajat perlindungan

Derajat perlindungan yang melindungi manusia terhadap bahaya sentuhan dengan bagian bertegangan dan bergerak serta melindungi masuknya binatang kecil harus memenuhi IP3X untuk selungkup IP2X untuk partisi, untuk membuktikannya harus dilakukan pengujian sesuai IEC 520/1989 : Degrees of protection provide by enclosures (Ip Code).

DERAJAT PERLINDUNGAN
(INDEX OF PROTECTION / IP)

ANGKA I	PENJELASAN	ANGKA II	PENJELASAN
0	Tanpa proteksi	0	Tanpa Proteksi
1	Proteksi terhadap masuknya benda padat lebih dari 50 mm	1	Proteksi terhadap tetesan air vertikal
2	Proteksi terhadap masuknya benda padat lebih dari 12 mm	2	Proteksi terhadap tetesan air vertikal dan membuat $< 15^{\circ}$ terhadap horisontal
3	Proteksi terhadap masuknya benda padat lebih dari 25 mm	3	Proteksi terhadap semprotan air sampai $< 60^{\circ}$ terhadap horisontal
4	Proteksi terhadap masuknya benda padat lebih dari 1,0 mm	4	Proteksi terhadap semburan air dari semua arah
5	Proteksi terhadap masuknya debu	5	Proteksi terhadap air bertekanan
6	Debu tidak bisa masuk (Dost Tght)	6	Proteksi terhadap banjir temporer
		7	Proteksi terhadap pengaruh peredaman
		8	Proteksi terhadap pengaruh bawah air

Tabel 2.2 Derajat Perlindungan

2.1.4 Jenis – Jenis Kubikel

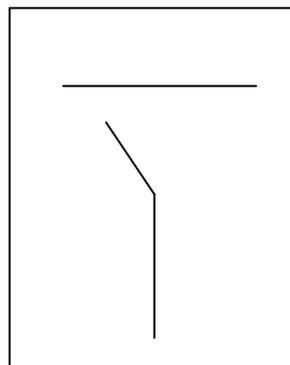
Berdasarkan fungsi dan nama peralatan yang terpasang, kubikel dapat dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu⁷ :

- Kubikel Pemutus Tenaga (PMT = CB)
- Kubikel PMS (Pemisah)
- Kubikel LBS (*Load Break Switch*)
- Kubikel TP (*Transformer Protection*)
- Kubikel PT (*Potential Transformer*)

2.1.5 Fungsi Kubikel

a. Kubikel PMT (Pemutus Tenaga)

Kubikel PMT berfungsi untuk membuka dan menutup aliran listrik dalam keadaan berbeban atau tidak berbeban, termasuk memutus pada saat terjadi gangguan hubung singkat.



Gambar 2.6 Simbol diagram PMT⁸

Kubikel terdiri dari :

1. Satu set busbar fase tiga 400 A, 630 A atau 1250 A

⁷ www.e-bookspdf.org/download/jenis-kubikel-20kv.html

⁸ Wahyudi Sarimun, *Buku Saku Pelayanan Teknik Edisi Kedua* (Jakarta; Garamond, 2011) h 56

2. Dua pemisah tiga kutub dengan arus pengenal 400 A, 630 A atau 1250 A yang dioperasikan secara manual, pemisahan dilakukan dengan penarikan / pencabutan (sistem laci) pemutus tenaga yang ditempatkan dalam kompartemen.
3. Sebuah pemutus tenaga kutub jenis SF6 atau hampa udara dengan pengoperasian melalui energi pegas yang pengisiannya dilakukan secara manual atau motor listrik.
4. Pemutus tenaga tersebut dilengkapi kumparan pelepas (trip) dan indikator yang menunjukkan posisi buka / tutup secara mekanis.
 - a. Arus pengenal 400 A, 630 A atau 1250 A
 - b. Kapasitas pemutus 12,5 kA
 - c. Kapasitas penyambungan 31,5 kA.
 - d. Kapasitas pemutusan transformator dalam keadaan tanpa beban : 16 A
 - e. Kapasitas pemutusan pengisian kabel : 50A
5. Tiga buah transformator arus dengan dua inti yang ditempatkan disaluran keluaran.
 - a. Arus primer sesuai kebutuhan (50, 100, 150, 200 dan seterusnya)
 - b. Arus sekunder : 5-5A
 - c. Kapasitas ketahanan arus hubung singkat : 12,5 kA (1 detik)
 - d. Beban pengenal :Kapasitas transformator arus tersebut harus dapat memenuhi kebutuhan rele yaitu :

- Satu inti 30 VA, kelas 0,5 untuk pengukuran
- Satu inti lainnya 15 VA kelas 10-P-10 untuk proteksi

6. Tiga buah transformator tegangan

- a. Rasio : $20 / \sqrt{3} \text{ kV} // 100 / \sqrt{3} \text{ Volt}$
- b. Beban pengenalan : 50 VA
- c. Kelas ketelitian : 0,5

7. Rele

- a. Satu set rele untuk beban lebih dan gangguan ke bumi, rele harus disambungkan dengan transformator arus diatas. Arus dan waktu dapat diatur terpisah.
- b. Karakteristik rele beban lebih.

Arus pengenalan (I_n)	Waktu pemutusan
1,05 I_n	Sesudah 60 menit
1,2 I_n	Sebelum 20 menit
1,5 I_n	Sebelum 5 menit
4 I_n	Trip sesaat

Tabel 2.2 Karakteristik Rele Kubikel PMT

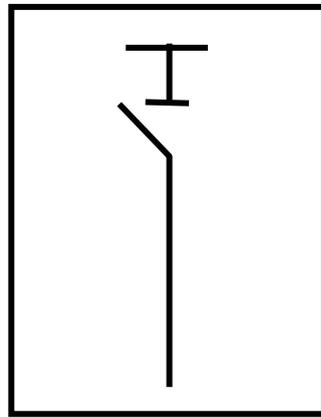
- c. Rele harus dirancang sehingga dapat melepaskan sumber tenaga dengan atau tanpa memerlukan suatu daya dari luar
- d. Rele harus dilengkapi fasilitas untuk pengetesan arus dan pelepasan kontak (trip release).

8. Tiga buah ammeter kebutuhan maksimum dipasang pada panel penunjuk (metering panel).

9. Sistem *interlock*.

b. Kubikel PMS (Pemisah)

Kubikel PMS berfungsi sebagai membuka dan menutup aliran listrik 20 kV tanpa ada beban, karena kontak penghubung tidak dilengkapi alat peredam busur listrik.

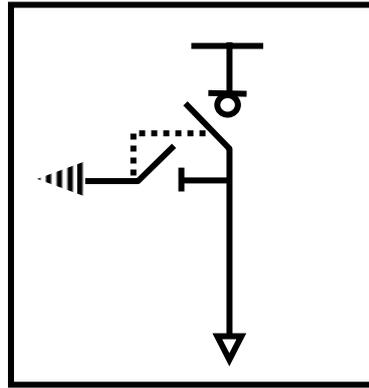


Gambar 2.7 Simbol Diagra PMS⁹

c. Kubikel LBS (*Load Break Switch*)

Kubikel LBS berfungsi untuk membuka dan menutup aliran listrik dalam keadaan berbeban atau tidak .

⁹ Wahyudi Sarimun, *Buku Saku Pelayanan Teknik Edisi Kedua* (Jakarta; Garamond, 2011) h 56



Gambar 2.8 Diagram Sistem LBS¹⁰

Kubikel LBS terdiri dari :

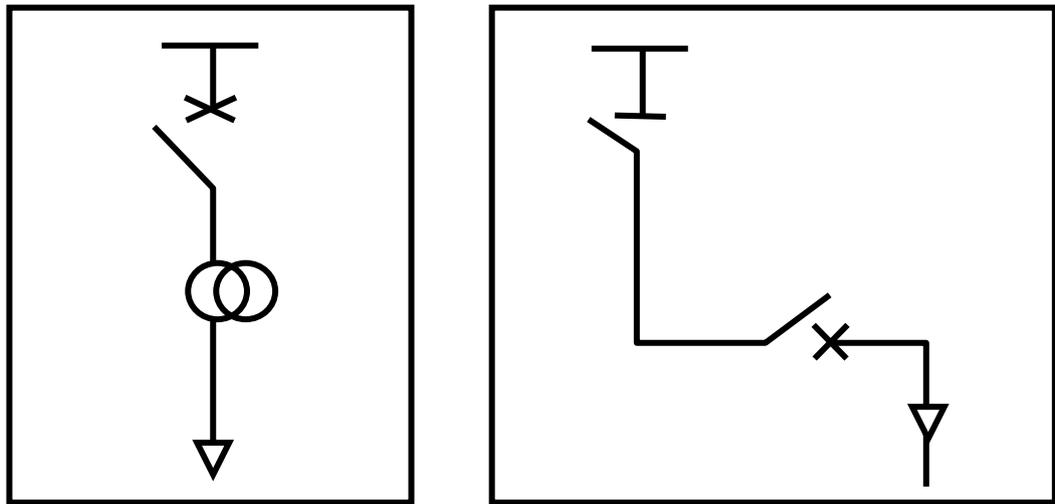
1. Satu set busbar tiga fase 400 A atau 630 A.
2. Sebuah sakelar beban tiga kutub jenis udara, SF6 atau hampa udara dengan operasi secara manual.
 - a. Arus pengenalan 400 A
 - b. Kapasitas penyambung (puncak) 31,5 kA (*making capacity*)
 - c. Kapasitas pemutusan beban aktif (pf ; 0,7) 400 A
 - d. Arus pemutusan pengisian beban 25 A
 - e. Sakelar beban harus dapat dipasang mekanis kontrol elektrik (*electric control mechanism*) tanpa modifikasi yang besar terhadap sakelar tersebut.
 - f. Kapasitas ketahanan arus hubung singkat (1 detik) ; \geq 12,5 kA
3. Sebuah sakelar pembumian 3 kutub dengan pengoperasian secara manual

¹⁰ Wahyudi Sarimun, *Buku Saku Pelayanan Teknik Edisi Kedua* (Jakarta; Garamond, 2011) h 57

4. Tiga buah gawai kontrol tegangan
5. Sistem *interlock*
6. *Busbar* pembumian
7. Harus ada ruang yang cukup dan penunjang kabel bagian bawah kubikel untuk melakukan pemasangan terminasi kabel berisolasi padat, penghantar dari bahan aluminium yang dipilin dengan luas penampang sampai dengan 240 mm².
8. Satu set lengkap terminal kabel (jika diperlukan)

d. Kubikel CB *Out Metering* (PMT)

Berfungsi sebagai pemutus dan penghubung arus listrik dengan cepat dalam keadaan normal maupun gangguan. Kubikel ini disebut juga dengan istilah kubikel PMT (pemutus tenaga) yang dilengkapi dengan relay proteksi *circuit breaker* (PMT, CB) dan dapat di pasang sebagai alat pembatas, pengukuran dan pengaman. Pada pelanggan tegangan menengah *current transformer* yang terpasang memiliki *double secunder* satu sisi untuk mensuplai arus ke alat ukur kwh dan satu sisi lagi untuk menggerakkan relai proteksi pada saat terjadi gangguan.



Gambar 2.9 Simbol Diagram Kubikel CB *OUT Metering* ¹¹

Kubikel terdiri dari :

1. Satu set *busbar* tiga fase 400 A atau 630 A
2. Dua pemisah tiga kutub dengan arus pengenal 400A atau 630 A yang dioperasikan secara manual atau pemisahan dilakukan dengan penarikan / pencabutan pemutus tenaga yang ditempatkan dalam kompartemen (sistem laci)
3. Sebuah pemutus tenaga tiga kutub jenis SF6 atau hampa udara, dengan pengoperasian melalui energi pegas yang pengisiannya dilakukan secara manual atau dengan motor listrik. Pemutus tenaga tersebut dilengkapi kumparan pelepas (trip) dan indikator yang menunjukkan posisi, buka/tutup secara mekanis.

¹¹ Wahyudi Sarimun, *Buku Saku Pelayanan Teknik Edisi Kedua* (Jakarta; Garamond, 2011) h 57

- a. Arus pengenalan 400 A atau 630 A
 - b. Kapasitas pemutusan pada 24 kV adalah 12,5 kA
 - c. Kapasitas penyambungan (puncak) adalah 3,5 kA
 - d. Kapasitas pemutusan transformator dalam keadaan tanpa beban adalah 16 A
 - e. Kapasitas pemutusan pengisian kabel adalah 50 A
4. Tiga buah transformator arus dengan dua inti yang ditempatkan disaluran keluaran :
- a. Arus primer : sesuai kebutuhan (50, 100, 150, 200 atau 400 A)
 - b. Arus sekunder : 5 A
 - c. Kapasitas ketahanan arus hubung singkat (1 detik) : 12,5 kA
 - d. Beban pengenalan
- Kapasitas transformator arus tersebut harus dapat memenuhi kebutuhan rele yaitu :
- Satu inti 30 VA kelas 0,5 untuk pengukuran
 - Satu inti lainnya 15 VA kelas 10-P-10 untuk proteksi.

5. Rele

- a. Satu set rele untuk arus lebih, beban lebih dan gangguan ke bumi. Rele harus dihubungkan dengan transformator di atas. Arus dan waktu dapat diatur secara terpisah.

b. Karakteristik dari rele beban lebih

Arus Pengenal (In)	Waktu pemutusan (tripping time)
1,05 In	Sesudah 60 menit
1,2 In	Sebelum 20 menit
1,5 In	Sebelum 5 menit
4 In	Trip sesaat

Tabel 2.3 Karakteristik CB *Out Metering*

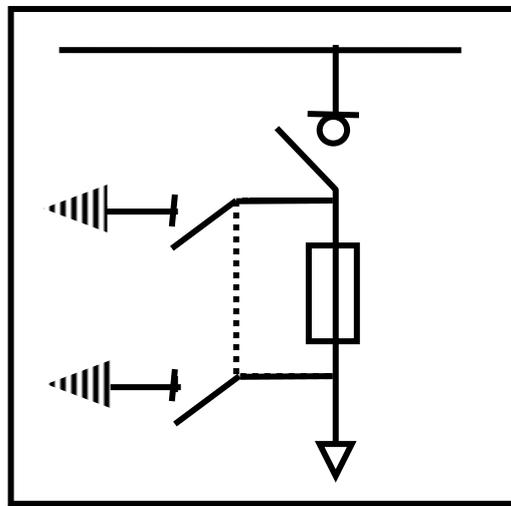
- c. Rele harus dirancang sehingga melepas pemutus tenaga dengan atau tanpa memerlukan sumber daya dari luar.
- d. Rele harus dilengkapi fasilitas untuk pengetesan arus dan pengetesan untuk melepas kontak (trip release)
- e. Tiga buah amperemeter kebutuhan maksimum (maximum demand ammeter), dipasang pada panel penunjuk (metering panel) dan ditempatkan diatas pengaman lebur.

e. **Kubikel TP (*Transformer Protection*)**

Berfungsi sebagai alat pengaman transformator distribusi, dikenal juga dengan istilah kubikel PB (Pemutus Beban) kubikel ini berisi lbs dan *fuse* pengaman trafo dengan ukuran beragam dari 25A, 32 A, 43 A tergantung kapasitas trafo yang akan diamankan.

Ada dua jenis kubikel TP yaitu :

- a. Kubikel TP dilengkapi *shunt trip*, jika *fuse* tm putus ada pin pada *fuse* yang menggerakkan mekanik untuk melepas LBS.
- b. Tidak dilengkapi *shunt trip*, jika *fuse* tm putus LBS tidak membuka sehingga trafo masih mendapat gangguan dari *fuse* lain yang tidak putus.



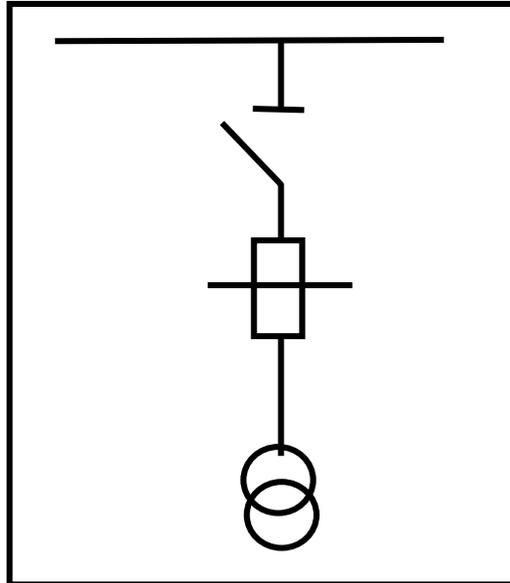
Gambar 2.10 Simbol Diagram Kubikel TP¹²

f. Kubikel PT (*Potensial Transformer*)

Berfungsi sebagai kubikel pengukuran, didalam kubikel ini terdapat pms dan transformator tegangan yang menurunkan tegangan dari 20.000 Volt menjadi 100 Volt untuk mensuplai tegangan pada alat ukur kwh. Kubikel ini kadang kala disebut juga dengan istilah kubikel VT (*Voltage Transformer*). *Handle* kubikel PT harus selalu dalam keadaan masuk dan tersegel.

¹² Wahyudi Sarimun, *Buku Saku Pelayanan Teknik Edisi Kedua* (Jakarta; Garamond, 2011) h 57

Untuk pengamanan trafo tegangan terhadap gangguan hubung singkat maka dipasanglah *fuse* TM



Gambar 2.11 Simbol Diagram Kubikel PT¹³

Kubikel terdiri dari :

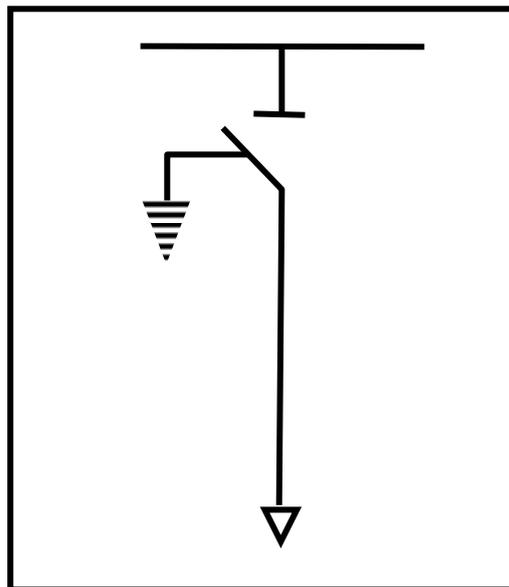
- Satu set busbar fase tiga 400 A atau 630 A
- Satu pemisah tiga kutub dengan arus pengenal, 100 A yang dioperasikan secara manual
- Tiga pengaman lebur dengan kapasitas pemutus arus yang tinggi :
 - a. Arus pengenal : 6,3 A
 - b. Kapasitas pemutus : 12,5 A
- Tiga buah transformator tegangan
 - a. Rasio : $20 / \sqrt{3}$ kV // $100 / \sqrt{3}$ Volt
 - b. Beban pengenal : 50 VA
 - c. Kelas ketelitian : 0,5

¹³ Wahyudi Sarimun, *Buku Saku Pelayanan Teknik Edisi Kedua* (Jakarta; Garamond, 2011) h 57

- Satu buah pengaman lebur tegangan rendah pada setiap fase, pengaman lebur tersebut harus dapat dicapai dari luar kubikel
- Sistem saling mengunci (interlock) harus berfungsi baik.
- Busbar pembumian.

g. Kubikel Terminal *Out Going* (B1)

Berfungsi sebagai terminal penghubung kabel ke pemakaian (pelanggan) berisi pms, dan bila mana posisi membuka maka kontak gerak terhubung dengan pertanahan.



Gambar 2.12 Simbol diagram kubikel terminal out going¹⁴

Kubikel terdiri dari :

- a. Satu set busbar fase tiga 400 A atau 630 A
- b. Satu sakelar pembumian tiga kutub dan penghubung singkat yang dioperasikan secara manual.

¹⁴ Wahyudi Sarimun, *Buku Saku Pelayanan Teknik Edisi Kedua* (Jakarta; Garamond, 2011) h 57

- c. Tiga buah gawai kontrol tegangan
- d. Busbar pembumian
- e. Disediakan ruang yang cukup dibagian bawah kompartemen dan disediakan penunjang kabel untuk pemasangan terminasi kabel tiga inti berisolasi padat. Konduktor dari aluminium dengan luas penampang sampai dengan 150 mm²

2.1.6 Korona

Korona merupakan proses dimana arus, mungkin diteruskan, muncul dari sebuah elektroda berpotensi tinggi di dalam sebuah fluida yang netral, biasanya udara, dengan mengionisasi fluida hingga menciptakan plasma di sekitar elektroda¹⁵. Ion-ion yang dihasilkan akhirnya akan melampaui muatan listrik menuju area-area berpotensi rendah terdekat, atau bergabung kembali untuk membentuk molekul-molekul gas netral. Elektron yang bebas bergerak di udara umumnya berasal dari radiasi radio-aktif yang terdapat di alam bebas dan sinar kosmik. Elektron yang posisinya dekat dengan kawat transmisi dipengaruhi oleh adanya medan listrik yang menuju ke atau menjauhi kawat tersebut.

Selama gerakannya ini, elektron yang melewati gradient medan listrik akan bertubrukan dengan molekul dari udara, yang kemudian terjadi ionisasi pada molekul tersebut. Karena adanya

¹⁵ www.wikipedia.org/wiki/lucutankorona

ionisasi tersebut, maka akan terdapat ion positif dan elektron yang bebas, yang akan mendorong terjadinya ionisasi lanjutan. Proses ini akan berkelanjutan dan kemudian membentuk banjir elektron. Apabila banjir elektron ini melintasi dua kawat yang sejajar, maka ia akan menyebabkan terjadinya perubahan pembagian gradient tegangan dari udara diantara kedua kawat tersebut dan penataan kembali dari gradient ini dapat menyebabkan harga tegangannya melampaui kekuatan (tegangan *breakdown*) dari udara. Ini akan menyebabkan terjadinya kegagalan dari sifat isolasi yang dimiliki oleh udara yang terletak disekitarnya. Apabila penataan kembali ini hanya menyebabkan sebagian perubahan potensial gradient dari udara, misalnya hanya daerah sekitar kawat saja yang mengalami perubahan, maka perubahannya terbatas hanya pada satu kawat saja.

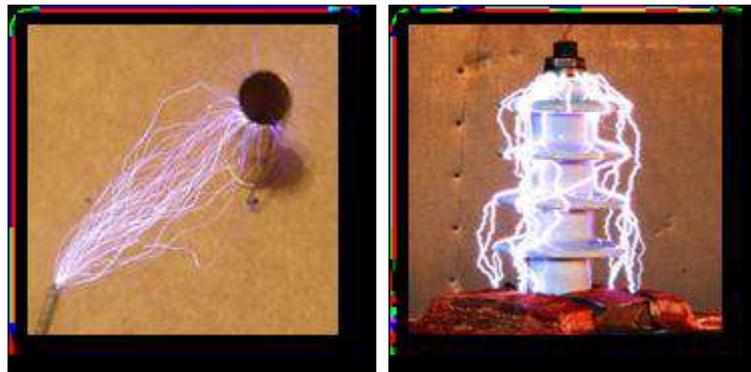
Oleh karena itu **korona** disifatkan sebagai: *“Terjadinya suatu pelepasan muatan yang bermula pada permukaan dari suatu kawat bila nilai medan listrik pada permukaan kawat itu melampaui nilai tertentu”*

Sedangkan nilai tertentu tersebut adalah harga medan listrik dimana pada saat itu mulai terjadi pelepasan muatan ke udara sekitarnya. Gejala ini dapat terjadi pada segala macam kawat, tidak peduli seberapa besar diameter kawat tersebut, asalkan diberi tegangan yang cukup tinggi. Didalam prakteknya, hal ini akan terjadi bila tegangan antara kawat fasa melebihi 100 kV. Namun

bisa saja pada tegangan dibawah itu dapat terjadi korona, asalkan syarat-syarat untuk terjadinya korona sudah terpenuhi.

2.1.7 Kegagalan Listrik Dalam Gas

Bahan isolasi berfungsi untuk memisahkan dua penghantar listrik atau lebih yang bertegangan sehingga dapat mencegah terjadinya lompatan listrik (*flashover*) dan percikan listrik (*sparkover*). Salah satu bahan yang sering digunakan sebagai bahan isolasi peralatan tenaga listrikan adalah gas atau udara karena pada kondisi normal udara hanya terdiri dari molekul-molekul netral.



Gambar 2.13 (a) *Sparkover* pada kumparan Tesla;¹⁶

(b) *Flashover* pada permukaan isolator¹⁷.

Akan tetapi, dapat pula terjadi kegagalan dalam isolasi gas atau udara yang berupa pelepasan muatan. Pelepasan udara itu terjadi karena tegangan yang digunakan sangat tinggi dan sudah melewati kemampuan bahan isolasi. Proses pelepasan muatan tersebut dapat terjadi karena proses ionisasi bias yang disebabkan oleh beberapa faktor seperti karena tabrakan ion-on

¹⁶ Faiz Husnayain, Skripsi “ Studi Pengaruh Korona Pada Kubikel Model Terhadap Distorsi Harmonisa Arus Dan Tegangan Sumber Listrik AC”, Universitas Indonesia,2010, hal 19

¹⁷ Ibid

dan elektron-elektron, cahaya, emisi elektron. Proses kegagalan dalam gas ditandai dengan adanya percikan secara tiba-tiba, percikan ini dapat terjadi karena adanya pelepasan yang terjadi pada gas tersebut. Proses dasar yang paling penting dalam kegagalan gas adalah proses ionisasi karena benturan, tetapi proses ini tidak cukup untuk menghasilkan kegagalan. Proses lain yang terjadi dalam kegagalan gas adalah proses atau mekanisme primer dan proses atau mekanisme sekunder. Proses yang terpenting dalam mekanisme primer adalah proses katoda, pada proses ini diawali dengan pelepasan elektron oleh suatu elektroda yang diuji, peristiwa ini akan mengawali terjadinya kegagalan percikan (*spark breakdown*). Elektroda yang memiliki potensial rendah (katoda) akan menjadi elektroda yang melepaskan elektron. Elektron awal yang dibebaskan (dilepaskan) oleh katoda akan memulai terjadinya banjir elektron dari permukaan katoda. Jika jumlah elektron yang dibebaskan makin lama makin banyak maka terjadi peningkatan banjir.

1) Ionisasi Dalam Udara atau Gas

Pada kondisi normal, gas atau udara terdiri dari molekul-molekul normal. Akan tetapi, pada kenyataannya pada udara terdapat ion-ion dan elektron-elektron bebas. Ion dan elektron bebas itu dapat menyebabkan udara mengalirkan arus listrik walaupun dalam jumlah yang terbatas. Banyaknya elektron dan

ion bebas di udara mempengaruhi terjadinya kegagalan listrik. Apabila diantara dua elektroda yang terpisah oleh udara diterapkan tegangan tinggi, maka akan timbul medan listrik. Dalam medan listrik tersebut, elektron dan ion-ion bebas di udara akan mendapat energi yang cukup kuat, sehingga dapat memicu terjadinya proses ionisasi

2) Ionisasi karena panas

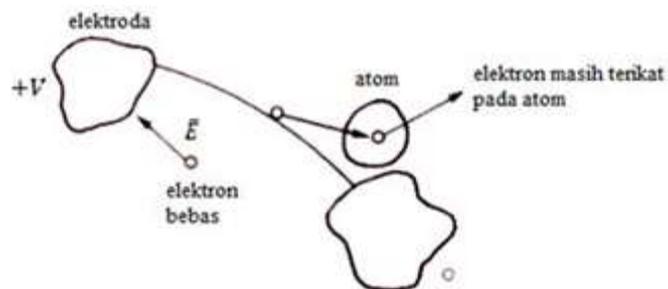
Pada proses ionisasi ini, pemanasan yang mencapai suhu cukup tinggi akan mengakibatkan banyak atom netral memperoleh energi yang dibutuhkan untuk mengionisasikan atom yang mereka tumbuk.

Ionisasi akibat pemanasan (*thermal*) meliputi ionisasi akibat benturan antar molekul atau atom gas yang bergerak dengan kecepatan tinggi akibat suhu yang tinggi dan ionisasi yang terjadi akibat panas dan benturan elektron.

2.1.8 Proses dasar ionisasi

Ion merupakan atom atau gabungan atom yang memiliki muatan listrik, ion terbentuk apabila pada peristiwa kimia suatu atom unsur menangkap atau melepaskan elektron. Proses terbentuknya ion dinamai dengan ionisasi. Jika diantara dua elektroda yang dimasukkan dalam media gas diterapkan tegangan V maka akan timbul suatu medan listrik E yang mempunyai besar dan arah tertentu yang akan mengakibatkan elektron bebas mendapatkan

energi yang cukup kuat menuju kearah anoda sehingga dapat merangsang timbulnya proses ionisasi .



Gambar 2.14 Proses Ionisasi antara elektroda - elektroda¹⁸

2.1.9 Ionisasi karena Benturan Elektron

Jika gradien tegangan yang ada cukup tinggi maka jumlah elektron yang diionisasikan akan lebih banyak dibandingkan dengan jumlah ion yang ditangkap oleh molekul oksigen. Tiap-tiap elektron ini kemudian akan berjalan menuju anoda secara kontinu sambil membuat benturan-benturan yang akan membebaskan elektron lebih banyak lagi. Ionisasi karena benturan ini merupakan proses dasar yang penting dalam kegagalan udara atau gas.

2.1.10 Proses Terjadinya Korona

Bila dua elektroda yang penampangnya kecil (dibandingkan dengan jarak antara kedua elektroda tersebut) diberi tegangan bolak balik, maka akan mungkin terjadi fenomena korona. Pada tegangan yang cukup rendah, tidak akan terjadi apa-apa. Bila tegangan tersebut dinaikan, maka akan terjadi korona secara bertahap. Pertama-tama, pada elektroda akan kelihatan bercahaya, mengeluarkan suara-suara

¹⁸ Husnayain, *Loc. Cit.*, hal 21

mendesis (*hissing*), dan berbau ozon. Warna cahaya yang terlihat adalah ungu muda (*violet*). Apabila tegangan dinaikkan secara terus menerus, maka proses yang terjadi tadi akan semakin jelas terlihat, terutama pada bagian yang kasar, runcing, atau kotor. Cahaya akan bertambah besar dan terang. Apabila tegangan tersebut naik maka akan muncul busur api. Korona akan mengeluarkan panas, hal ini dapat dibuktikan dari pengukuran menggunakan watt meter. Pada keadaan udara lembab, korona menghasilkan asam nitrogen (*nitrous acid*), yang menyebabkan elektroda berkarat dan bisa mengakibatkan kehilangan daya cukup besar.

Apabila tegangan yang digunakan adalah tegangan searah, maka pada elektroda positif korona akan menampakkan diri dalam bentuk cahaya yang seragam pada permukaan elektroda, sedangkan pada elektroda negatifnya hanya pada tempat tertentu saja.

Korona terjadi disebabkan karena adanya ionisasi dalam udara, yaitu terjadinya kehilangan elektron dari molekul udara. Karena terjadi ionisasi molekul dalam udara, maka molekul netral dalam udara bebas mendapatkan energi foton yang cukup dan besarnya melebihi energi yang diperlukan untuk membebaskan elektron dari molekul gas atau udara. Kelebihan energi foton akan dilimpahkan pada elektron yang kemudian dibebaskan dalam bentuk energi kinetik.

Karena adanya medan listrik yang berada di sekitar elektroda penghantar yang mempercepat gerak elektron hasil ionisasi tersebut,

maka elektron tersebut akan menumbuk molekul-molekul gas atau udara disekitarnya.

Karena hal ini terjadi secara terus menerus, maka jumlah ion dan elektron bebas menjadi berlipat ganda. Apabila terjadi eksitasi elektron atom gas, yaitu berubahnya kedudukan elektron gradien tegangan menjadi cukup besar maka akan timbul fenomena korona. Selain menyebabkan terjadinya ionisasi molekul, tumbukan elektron juga menyebabkan orbital awalnya ke tingkat orbital yang lebih tinggi. Pada saat elektron berpindah kembali ke tingkat orbital yang lebih rendah, maka akan terjadi pelepasan energi berupa cahaya radiasi dan gelombang elektromagnetik berupa suara bising.

2.1.11 Jenis – Jenis Korona

a. Korona Positif

Dengan elektroda titik positif, suatu elektron akan terbentuk di celah, bergerak ke arah titik, berbaris dalam daerah medan yang kuat, mulai terionisasi dan terbentuk banjir elektron. Tegangan antar elektroda bertambah secara perlahan sampai terbentuk korona. Saat banjir elektron ini mencapai elektroda titik, ion positif dalam celah bergerak perlahan ke arah elektroda berlawanan. Dekat elektroda positif (titik) akan terbentuk muatan ruang. Kehadiran muatan ruang positif mengurangi kuat medan di sekitar titik dan sedikit menambah diruang bagian luar. Hal ini menyebabkan ionisasi yang jauh

dari sekitar titik akan menjadi lemah dan membuat korona menjadi lebih sulit.

b. Korona negatif

Dengan polaritas negatif pada elektroda titik, elektron-elektron secara cepat akan terbentuk dalam medan yang kuat dan membentuk banjiran yang bergerak ke arah elektroda bidang. Ketika banjiran elektron menjauhdari daerah medan yang kuat, banjiran itu akan berhenti menghasilkan ionisasi dan mengurangi kecepatan pergerakan ke arah anoda. Sebagian mencapai anoda dan dinetralisir disana, sebagian lagi akan ditangkap oleh atom-atom oksigen dan membentuk ion negatif. Ion-ion positif akibat banjiran, secara berangsur bergerak ke arah konduktor (penghantar). Oleh karena pergerakan dari ion-ion positif tersebut lambat, maka di daerah sekitar konduktor selalu terjadi muatan ruang positif. Muatan ruang positif tersebut akan menaikkan kuat medan pada daerah konduktor sehingga mempermudah terjadinya proses korona.

2.1.12 Faktor yang mempengaruhi korona

Korona yang terjadi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya keadaan lingkungan yang meliputi cuaca, kelembaban udara, suhu, dan tekanan udara¹⁹. Keadaan lingkungan sekitar penghantar dapat mempengaruhi gradien awal terjadi korona dan isolasi udara.

¹⁹ Ejournal.undip.ac.id

a. Bentuk Elektroda

Bentuk elektroda yang terdapat pada kubikel merupakan salah satu hal penting yang mempengaruhi korona yang terjadi pada kubikel. Semakin kecil jari-jari elektroda menyebabkan semakin tidak seragamnya medan sehingga korona akan lebih mudah terjadi.

b. Faktor Cuaca

Faktor cuaca yang amat menentukan adalah hujan. Jarum es (*hoarfrost*) dan kabut akan menyebabkan harga hilang korona yang tinggi. Salju sedikit menyebabkan kenaikan rugi korona.

Nilai g_0 (gradien tegangan kritis) berbeda untuk kondisi cuaca baik dan basah. Pada saluran transmisi untuk cuaca baik nilai g_0 adalah 21.1 kV/cm, sedangkan untuk cuaca basah adalah 16.9 kV/cm. Dengan demikian, pada kondisi cuaca yang kurang baik tegangan awal korona lebih rendah dibandingkan pada kondisi cuaca yang baik.

Tekanan udara juga mempengaruhi korona. Pada proses ionisasi, ion-ion bergerak dalam gas dengan kecepatan yang berbeda-beda tergantung pada kuat medan listrik dan kerapatan udara yang dilalui. Semakin besar tekanan maka kerapatan udara semakin besar.

Partikel-partikel di udara juga merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi korona. Udara tidak hanya terdiri dari gas, tetapi juga mengandung partikel seperti butir debu dan uap air.

Apabila partikel tersebut mendekati elektroda kubikel, maka akan timbul pelepasan yang berasal dari elektroda ke partikel yang berakibat terjadinya perubahan medan listrik. Partikel yang mendekati elektroda akan terinduksi oleh medan listrik dan menimbulkan distribusi muatan pada ujung partikel. Dengan demikian, medan listrik akan semakin diperkuat dan memungkinkan terjadinya pelepasan.

c. Faktor Kelembaban Udara

Percobaan untuk menguji pengaruh kelembaban udara terhadap tegangan kritis perusakan pada kubikel pernah dilakukan oleh Kurt Feser. Percobaan dilakukan dengan menggunakan tegangan awal sumber dc dan ac dengan variasi tipe lintas cetus api (*spark gap*), jenis elektroda, dan jarak celah. Percobaan pertama dilakukan dengan menggunakan tegangan awal dc dan ac dengan lintas cetus api batang bidang 30 cm, dengan tipe elektroda tumpul beradius 2 mm. Melalui percobaan diperoleh hasil bahwa terjadi penurunan besar tegangan kritis awal korona dengan meningkatnya kelembaban²⁰.

Percobaan berikutnya dilakukan dengan lintas cetus api silinder dengan spesifikasi diameter luar 20 cm, konduktor dalam 6 mm, panjang silinder luar 60 cm. Hasilnya adalah sama yaitu terjadi penurunan tegangan kritis awal korona dengan kenaikan kelembaban.

²⁰ Kurt feser, *Influence of Humidity on The Breakdown Voltage Of D.C and A.C Voltage In Air*, *Bulletin ASE 63, 1972* : hal 278-281

2.2 Kerangka Berpikir

Semakin besar kebutuhan masyarakat akan listrik semakin besar pula kinerja PT. PLN (Persero) dalam memberikan kualitas listrik yang terbaik. Untuk mendapatkan suatu kualitas listrik yang baik atau stabil diperlukan perawatan serta pengecekan jaringan gardu-gardu distribusi secara kontinyu. Pengecekan serta perawatan diharapkan dapat memperkecil kerugian yang terjadi pada kubikel distribusi serta pada jaringan distribusinya. Semakin kecil kerugian yang terjadi pada suatu jaringan distribusi maka akan semakin besar efisiensi yang terjadi pada jaringannya.

Penelitian dalam analisa hubungan usia kubikel 20 kV terhadap korona yang dilakukan di setiap gardu distribusi pada Penyulang Gambu di PT. PLN (Persero) Area Marunda.

Dari hasil pengukuran tingkat kebisingan dan tingkat suhu di setiap gardu pada penyulang Gambu, maka akan dibagi kedalam kelompok usia kubikel, yaitu kubikel yang berusia muda tahun pembuatan 1980 sampai 1995, kubikel berusia sedang yaitu tahun pembuatan 1996 sampai 2005 dan kubikel yang berusia tua yaitu tahun pembuatan 2006 sampai 2013.

Pengukuran tingkat kebisingan dan tingkat suhu kubikel pada setiap gardu distribusi di Penyulang Gambu dilakukan setiap bulan selama 4 bulan.

Setelah pengelompokkan usia kubikel selanjutnya dilakukan perbandingan dari data yang diperoleh dari setiap kubikel pada gardu distribusi Penyulang Gambu. Selanjutnya data tersebut digabungkan dengan data hasil pengukuran tingkat kebisingan dan tingkat suhu untuk mengukur adanya korona pada setiap kubikel.

Hasil analisa akan dipresentasikan dalam tabel serta grafik yang akan menunjukkan adanya hubungan usia kubikel 20kV terhadap korona.