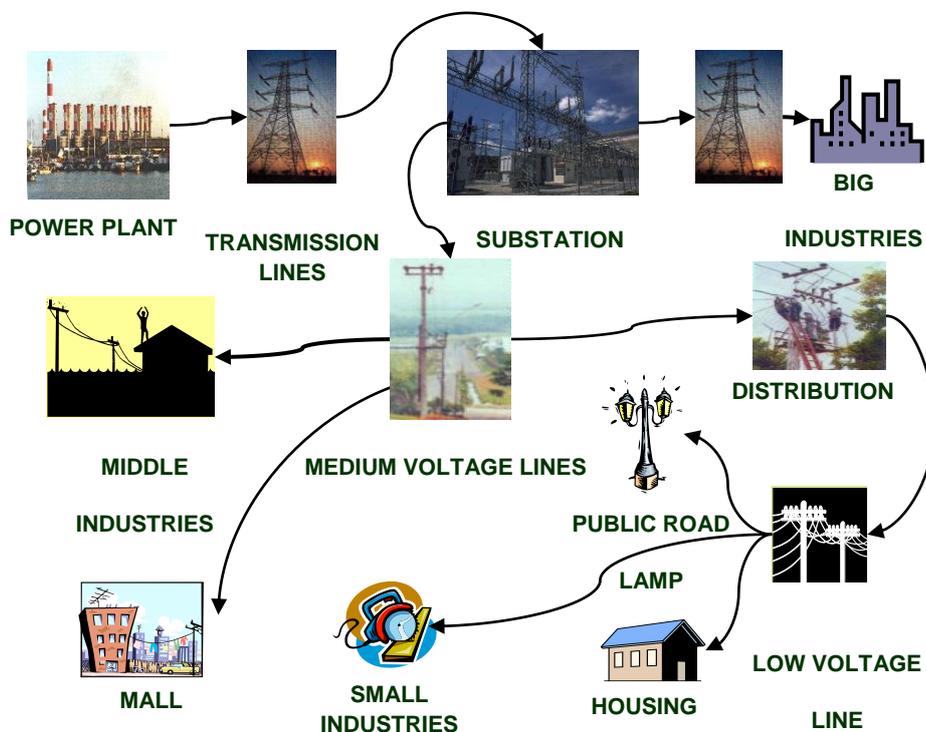


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem Tenaga Listrik dikatakan sebagai kumpulan/gabungan yang terdiri dari komponen-komponen atau alat-alat listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi dan beban yang saling berhubungan dan merupakan satu kesatuan sehingga membentuk suatu sistem.



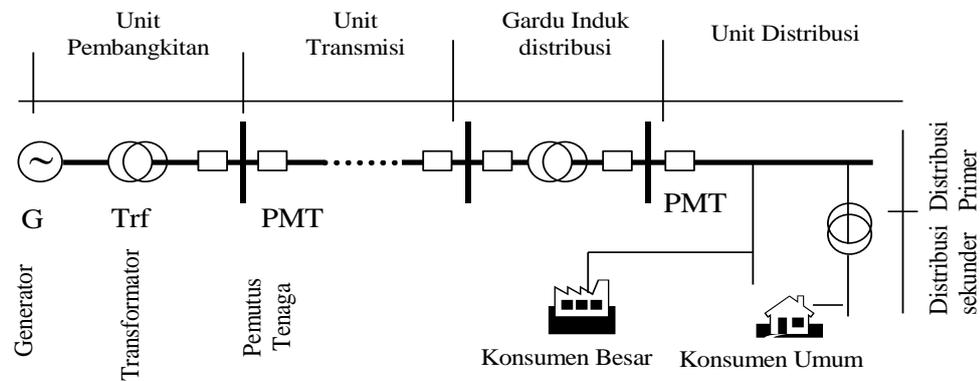
Gambar 2.1 Sistem Tenaga listrik¹

Didalam dunia kelistrikan sering timbul persoalan persoalan teknis, dimana tenaga listrik pada umumnya dibangkitkan pada tempat-tempat tertentu yang jauh dari kumpulan pelanggan, sedangkan pemakai tenaga listrik atau pelanggan tenaga listrik tersebar disegala penjuru tempat. Dengan demikian maka penyampaian tenaga listrik dari tempat dibangkitkannya yang disebut pusat tenaga listrik sampai ke tempat pelanggan memerlukan berbagai penanganan teknis.

¹ PT PLN (Persero). *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, hal. 2



Dengan menggunakan Blok diagram sistem tenaga listrik dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.2 Blok Diagram Sistem Tenaga Listrik²

2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi merupakan bagian dari sistem tenaga listrik. Sistem distribusi ini berguna untuk menyalurkan tenaga listrik dari sumber daya listrik besar (*Bulk Power Source*) sampai ke konsumen. Tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik besar dengan tegangan dari 11 kV sampai 24 kV dinaikkan tegangannya oleh gardu induk dengan transformator penaik tegangan menjadi 70 kV, 154 kV, 220 kV atau 500 kV kemudian disalurkan melalui saluran transmisi.

Tujuan menaikkan tegangan ialah untuk memperkecil kerugian daya listrik pada saluran transmisi, dimana dalam hal ini kerugian daya adalah sebanding dengan kuadrat arus yang mengalir ($I^2.R$). Dengan daya yang sama bila nilai tegangannya diperbesar, maka arus yang mengalir semakin kecil sehingga kerugian daya juga akan kecil pula. Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan lagi menjadi 20 kV dengan transformator penurun tegangan pada gardu induk distribusi, kemudian dengan sistem tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusi mengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya dengan trafo distribusi menjadi sistem tegangan rendah, yaitu 220/380 Volt. Selanjutnya

² PT PLN (Persero). *Sistem Distribusi Tenaga Listrik*. Hal. 3



disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen-konsumen. (Suhadi, dkk. 2008: 11)

Dilihat dari tegangannya sistim distribusi pada saat ini dapat dibedakan dalam 2 macam yaitu:

1. Distribusi Primer, terletak pada sisi primer trafo distribusi, yaitu antara titik sekunder trafo *substation* (GI) dengan titik primer trafo distribusi. Sering disebut Sistem Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dengan tegangan operasi nominal 20 kV/ 11,6 kV
2. Distribusi Sekunder, terletak pada sisi sekunder trafo distribusi, yaitu antara titik sekunder dengan titik cabang menuju beban. Sering disebut Sistem Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dengan tegangan operasi nominal 380 / 220 volt.

Sebelumnya nilai tegangan operasional yang dipergunakan dilingkungan PLN pada level tegangan menengah bervariasi yaitu 6 kV, 12 kV dan 20 kV demikian juga pada level tegangan rendah yaitu 220/127 volt pada repelita 1 pada tahun 1970 dimulai perubahan tegangan yang kita kenal PTR / PTM hal ini dimaksudkan untuk meningkatkan keandalan dan menurunkan susut jaringan.

2.3 Gangguan pada Sistem Jaringan Distribusi

Suatu sistem distribusi tenaga listrik terdiri dari pembangkit, gardu induk, jaringan transmisi dan distribusi. Pada sistem ini setiap gangguan yang terjadi pada salah satu sistem tersebut akan mengganggu semua beban yang ada pada saluran tersebut.

Apabila gangguan tersebut bersifat permanen maka diperlukan perbaikan terlebih dahulu sebelum mengoperasikan kembali sistem tersebut, maka pelanggan yang mengalami gangguan pelayanan jumlahnya relatif banyak. Berdasarkan ANSI (*American National Standards Institute*) / IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) Std. 100-1992 gangguan didefinisikan sebagai suatu kondisi fisis yang disebabkan kegagalan suatu perangkat, komponen atau suatu elemen untuk bekerja sesuai dengan fungsinya. Gangguan hampir selalu ditimbulkan oleh hubung singkat antar fasa atau hubung singkat fasa ke



tanah. Suatu gangguan hampir selalu berupa hubung langsung atau melalui impedansi. Gangguan hubung singkat sendiri dapat didefinisikan sebagai gangguan yang terjadi akibat adanya penurunan kekuatan dasar isolasi antara sesama kawat fasa dengan tanah yang menyebabkan kenaikan arus secara berlebihan. Analisis gangguan hubung singkat diperlukan untuk mempelajari sistem tenaga listrik baik waktu perencanaan maupun setelah beroperasi (Suswanto 2009:245-253).

2.3.1 Jenis-Jenis Gangguan

Pada dasarnya gangguan yang sering terjadi pada sistem distribusi saluran 20 kV dapat digolongkan menjadi dua macam yaitu gangguan dari dalam sistem dan gangguan dari luar sistem. Gangguan yang berasal dari luar sistem disebabkan oleh sentuhan daun/pohon pada penghantar, sambaran petir, manusia, binatang, cuaca dan lain-lain. Sedangkan gangguan yang datang dari dalam sistem dapat berupa kegagalan dari fungsi peralatan jaringan, kerusakan dari peralatan jaringan, kerusakan dari peralatan pemutus beban dan kesalahan pada alat pendeteksi.

Klasifikasi gangguan yang terjadi pada jaringan distribusi dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- Dari jenis gangguanya:
 - ✓ Gangguan dua fasa atau tiga fasa melalui hubungan tanah
 - ✓ Gangguan fasa ke fasa
 - ✓ Gangguan satu fasa ke tanah atau gangguan tanah
- Dari lamanya gangguan:
 - ✓ Gangguan permanen
 - ✓ Gangguan temporer

2.4 Relay Proteksi³

Relay proteksi adalah susunan peralatan yang direncanakan untuk dapat merasakan atau mengukur adanya gangguan atau mulai merasakan tenaga listrik dan segera otomatis memberi perintah untuk membuka pemutus tenaga untuk

³ Samaulah, Hazairin. 2004. *Dasar-Dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*



memisahkan peralatan atau bagian dari sistem proteksi yang terganggu dan memberikan isyarat berupa lampu atau bel.

Relay proteksi dapat merasakan adanya gangguan pada peralatan yang diamankan dengan mengukur atau membandingkan besaran-besaran yang diterimanya, misalnya arus, tegangan, daya, sudut fase, frekuensi, impedansi dan sebagainya, dengan besaran yang telah ditentukan kemudian mengambilnya keputusan untuk seketika ataupun dengan perlambatan waktu membuka pemutus tenaga. Fungsi relay proteksi pada sistem tenaga listrik :

- a. Merasakan, mengukur dan menentukan bagian sistem yang terganggu serta memisahkan secepatnya sehingga sistem lain yang tidak terganggu dapat beroperasi normal.
- b. Mengurangi kerusakan yang lebih parah dari peralatan yang terganggu.
- c. Mengurangi pengaruhnya gangguan terhadap bagian sistem yang tidak terganggu di dalam sistem tersebut serta mencegah meluasnya gangguan.
- d. Memperkecil bahaya bagi manusia.

2.4.1 Relay arus lebih (*over current relay*)⁴

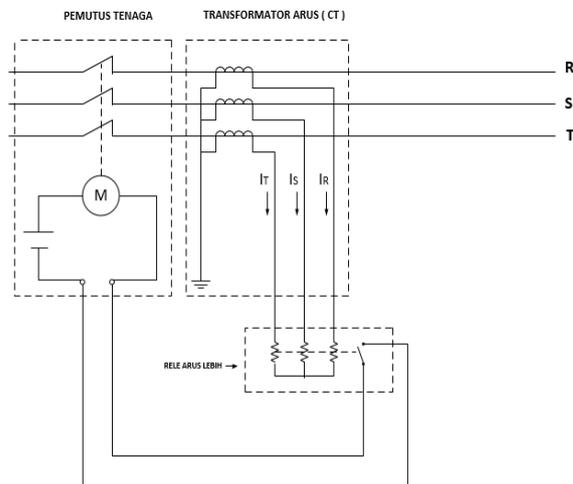
Relay arus lebih adalah suatu relay yang bekerjanya didasarkan adanya kenaikan arus yang melebihi suatu nilai pengaman tertentu dan dalam jangka waktu tertentu, sehingga relay ini dipakai sebagai pola pengaman arus lebih. Keuntungan dan fungsi relay arus lebih :

- a. Sederhana dan murah.
- b. Mudah penyetelannya.
- c. Merupakan relay pengaman utama dan cadangan.
- d. Mengamankan gangguan hubung singkat antara fasa maupun hubungan singkat satu fasa ke tanah dan dalam beberapa hal dapat digunakan sebagai pengaman beban lebih (*overload*).

⁴ Samaulah, Hazairin. 2004. *Dasar-dasar Sistem Proteksi Tenaga Listrik*. Palembang: Universitas Sriwijaya; hal. 56.



- e. Pengaman utama pada jaringan distribusi dan sub transmisi radial.
- f. Pengamanan cadangan untuk generator, trafo tenaga dan saluran transmisi.

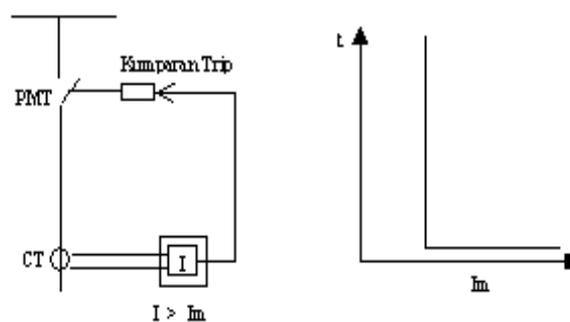


Gambar 2.3 Rangkaian Pengawatan Relay Arus Lebih

Karakteristik Waktu Kerja

- a. Relay arus lebih seketika (*moment*)

Relay arus lebih dengan karakteristik waktu kerja seketika (*moment*) adalah jika jangka waktu relay mulai saat relay arusnya *pick up* sampai selesainya kerja relay sangat singkat (20~ 100 ms) yaitu tanpa penundaan waktu. Relay ini umumnya dikombinasikan dengan relay arus lebih dengan karakteristik waktu tertentu (*definite time*) atau waktu terbalik (*inverse time*) dan hanya dalam beberapa hal terdiri sendiri secara khusus.



Gambar 2.4 Karakteristik relay waktu seketika

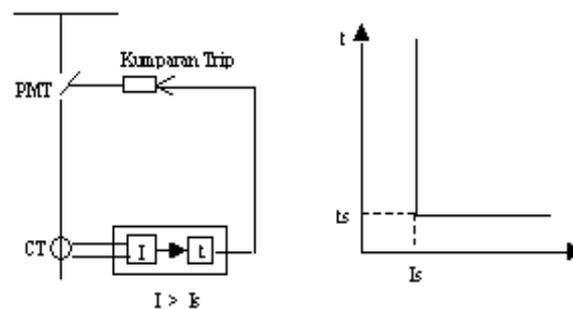


b. Relay arus lebih dengan karakteristik waktu tertentu (*definite time*)

Relay ini akan memberikan perintah pada PMT pada saat terjadi gangguan hubung singkat dan besarnya arus gangguan melampaui settingnya (I_s), dan jangka waktu kerja relay mulai pickup sampai kerja relay diperpanjang dengan waktu tertentu tidak tergantung besarnya arus yang mengerjakan relay.

Keuntungan dan kerugian karakteristik relay ini adalah :

- Koordinasi mudah, hanya dengan peningkatan waktu.
- Tidak terpengaruh dengan kapasitas pembangkit.
- Semakin dekat kesumberwaktu kerja semakin panjang.



Gambar 2.5 Karakteristik relay waktu tertentu

c. Relay arus lebih dengan karakteristik waktu terbalik (*inverse time*)

Relay ini akan bekerja dengan waktu tunda yang tergantung dari besarnya Arus secara terbalik (*inverse time*), makin besar arus makin kecil waktu tundanya.

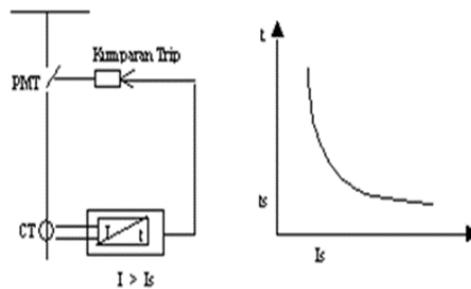
Keuntungan dan kerugian karakteristik relay ini adalah :

- Perlu perhitungan yang teliti terutama untuk kapasitas pembangkit yang berubah-ubah.
- Sebagai pengaman banyak saluran, *inverse time* dapat menekan akumulasi waktu, yang dapat memberikan pengamanan yang cepat baik diujung maupun didekat sumber.
- Sensitif terhadap perubahan pembangkit.



Karakteristik ini bermacam-macam, Setiap pabrik dapat membuat karakteristik yang berbeda-beda ,karakteristik waktunya dibedakan dalam tiga kelompok :

- *Standar invers*
- *Very inverse*
- *extremely inverse*



Gambar 2.6 Karakteristik relay waktu terbalik

Karena ada kemungkinan kegagalan pada sistem pengaman maka arus dapat diatasi yaitu dengan penggunaan pengaman cadangan (*Back Up Protection*). Dengan demikian pengaman menurut fungsinya dapat dikelompokkan menjadi :

- a. Pengaman utama yang pada umumnya selektif dan cepat dan malah jenis tertentu mempunyai sifat selektif mutlak misalnya relay diferensial.
- b. Pengaman cadangan, umumnya mempunyai perlambatan waktu hal ini untuk memberikan kesempatan kepada pengaman utama bekerja terlebih dahulu, dan jika pengaman utama gagal, baru pengaman cadangan bekerja dan relay ini tidak seselektif pengaman utama.

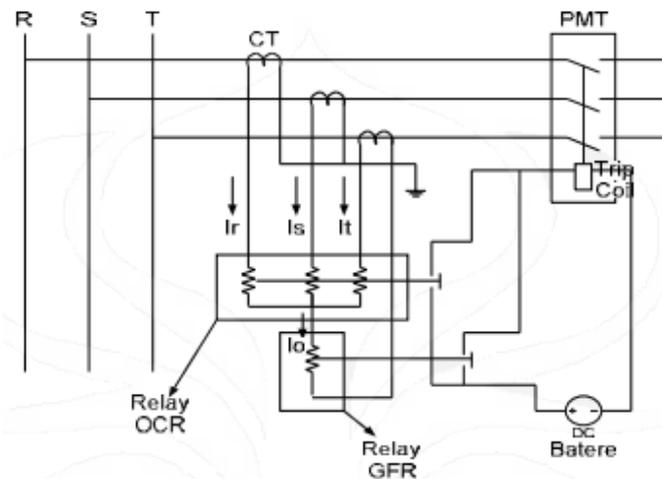
2.4.2 Relai Hubung Tanah (GFR)

2.4.2.1 Pengertian GFR

Rele hubung tanah yang lebih dikenal dengan GFR (Ground Fault Relay) pada dasarnya mempunyai prinsip kerja sama dengan relel arus lebih (OCR) namun memiliki perbedaan dalam kegunaannya. Bila relay OCR mendeteksi



adanya hubung singkat antara fasa, maka GFR mendeteksi adanya hubung singkat ketanah.



Gambar 2.7 Rangkaian Pengawatan Relay GFR

2.4.2.2 Prinsip Kerja GFR

Pada kondisi normal beban seimbang I_r , I_s , I_t sama besar, sehingga pada kawat netral tidak timbul arus dan relay hubung tanah tidak dialiri arus. Bila terjadi ketidakseimbangan arus atau terjadi gangguan hubung singkat ke tanah, maka akan timbul arus urutan nol pada kawat netral, sehingga relay hubung tanah akan bekerja.

2.4.3 Penyetelan Relay Arus Lebih

Untuk melakukan penyetelan relay arus lebih harus diketahui dahulu seberapa besar daya yang disalurkan trafo. Setelah itu didapatlah harga arus nominal, dimana arus nominal disini adalah :

$$I_n = \frac{S}{V_{ph}} \dots\dots\dots(2.1)^5$$

Keterangan :

I_n = Arus nominal (A)

S = Daya semu (VA)

V_{ph} = Tegangan fasa-netral sistem 20 kV = $\frac{20000}{\sqrt{3}}$ (v)



2.4.3.1 Penyetelan arus

Rumus yang digunakan setelan arus untuk relay arus lebih adalah sebagai berikut :

$$I_{set} (pri) = 1.05 \times I_n (\text{beban puncak}) \dots\dots\dots (2.2)^5$$

Nilai tersebut adalah nilai primer, untuk mendapatkan nilai setelan sekunder yang dapat disetkan pada relay arus lebih, maka harus dihitung dengan menggunakan ratio trafo arus (CT) yang terpasang pada sisi sekunder transformator tenaga adalah:

$$I_{set} (\text{sek}) = I_{set} (\text{pri}) \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \dots\dots\dots (2.3)^6$$

2.4.3.2 Perhitungan Setelan *Time Multiple Setting* (TMS)

Setelan *Time Multiple Setting* (TMS) dan setelan waktu rele pada jaringan distribusi mempergunakan standar *inverse*, yang dihitung mempergunakan rumus kurva waktu dan arus, dalam hal ini juga diambil persamaan kurva arus waktu waktu dari *standard British*, sebagai berikut:

$$TMS = \frac{t \times \left(\left(\frac{I_f}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right)}{\beta} = \frac{t \left\{ \left[\frac{I_f}{I_{set}} \right]^{0.02} - 1 \right\}}{0.14}$$

$$\text{Sehingga, } t = \frac{\beta \times TMS}{\left(\left(\frac{I_f}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right)} \dots\dots\dots (2.4)^6$$

Dimana:

TMS = Penyetelan waktu

t = Waktu penyetelan (dt)

I_f = Arus gangguan (A)

I_{set} = Arus penyetelan (A)

α, β = Konstanta

⁵ PT. PLN (Persero). *Teori Hitung Proteksi*. Hal. 14

Tabel 2.1 Faktor α dan β tergantung pada kurva arus V_s waktu

Nama Kurva	α	β
<i>Standar Inverse</i>	0,02	0,14
<i>Very Inverse</i>	1	13,2
<i>Extremely Invers</i>	2	80
<i>Long Inverse</i>	1	120

2.4.4 Penyetelan GFR (Relay Gangguan Tanah)

2.4.4.1 Penyetelan Arus Setting GFR

Untuk setelan arus di penyulang menggunakan pedoman yaitu setelan arus gangguan tanah di penyulang diset 10% x arus gangguan tanah terkecil di penyulang tersebut. Hal ini dilakukan untuk menampung tahanan busur api.

$$I_{set} \text{ (primer)} = 10\% \times (\text{arus gangguan tanah terkecil}) \dots\dots\dots (2.5)^6$$

Nilai tersebut adalah nilai primer, Untuk mendapatkan nilai setelan sekunder yang dapat disetkan pada relay OCR, maka harus dihitung dengan menggunakan rasio trafo arus (CT) yang terpasang pada sisi primer maupun sisi sekunder trafo tenaga

$$I_{set} \text{ (sek)} = I_{set} \text{ (pri)} \times \frac{1}{\text{Ratio CT}} \dots\dots\dots (2.6)^{11}$$

2.4.4.2 Penyetelan Waktu (TMS)

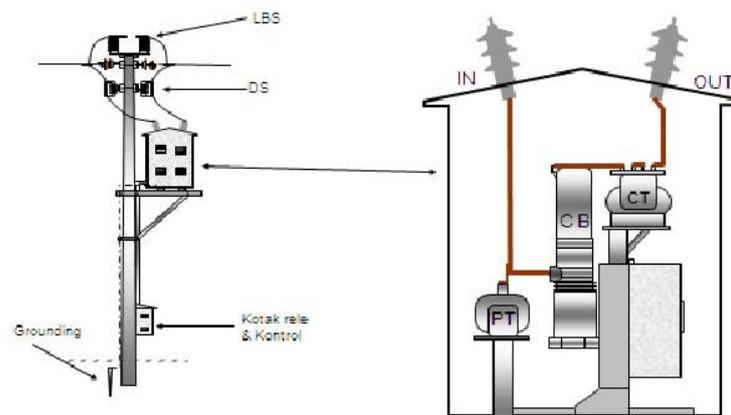
Hasil perhitungan arus gangguan hubung singkat, selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai setelan waktu kerja relay (TMS). Sama halnya dengan relay OCR, relay GFR menggunakan rumus penyetingan TMS yang sama dengan relay OCR. Tetapi waktu kerja relay yang diinginkan berbeda. Relay GFR cenderung lebih sensitif dari pada relay OCR. Untuk menentukan nilai TMS yang akan disetkan pada relay GFR sisi *outgoing* Gardu Induk Talang Kelapa diambil arus hubung singkat 1 fasa ke tanah. (Sarimun, 2012)

⁶ Sarimun, Wahyudi.2012 *Proteksi Sistem Distribusi Tenaga Listrik*



2.5 Pengertian PMCB (*Pole Mounted Circuit Breaker*)

PMCB (*Pole Mounted Circuit Breaker*) adalah sistem proteksi yang terpasang pada tiang jaringan listrik 20 kV untuk semua jenis sistem pentanahan yg efektif, flesibel, murah, sekaligus untuk Alat Pembatas dan Pengukur (APP) pelanggan PT. PLN (Persero), untuk tegangan menengah.



Gambar 2.8 Konstruksi Pemasangan PMCB⁷

Dengan menggunakan PMCB, lingkungannya lebih kecil dan akan melokalisir pemutusan aliran listrik di suatu daerah bila terjadi gangguan, dibandingkan bila pemutusan aliran dari gardu induk. Pengukuran penggunaan listrik untuk pelanggan juga akan lebih akurat dan dapat mendeteksi kebocoran listrik bila terjadi.

Isi dari instalasi PMCB adalah rangkaian saklar beban LBS (*Load Break Switch*), pemutus tenaga yang terhubung paralel serta relay proteksi arus lebih (OCR) dan relay gangguan tanah (GFR). PMCB dilengkapi sarana pemutus tenaga / pembatas beban pelanggan khusus tegangan menengah. PMCB juga dapat dilengkapi sarana pelayanan kendali jarak jauh (SCADA).

2.5.1 Fungsi PMCB

PMCB sebagai pengaman pada jaringan listrik tegangan menengah memiliki beberapa fungsi, yaitu:

⁷PT. PLN. 2003. Ms. Power Point file: *PMCB INOVASI WORKSHOP*



1. Melokalisir gangguan listrik hanya pada daerah yang terganggu saja secara selektif.
2. Sebagai recloser untuk gangguan temporer (sementara).
3. Sebagai alat ukur presisi kWh EXIM (*Export – Import*) perbatasan 2 area kerja.
4. Sebagai alat ukur presisi APP (Alat Pengukur dan Pembatas) Pelanggan.
5. Sebagai sarana *Manual Load Shedding* dengan adanya fasilitas *Master Remote Control*.

2.5.2 Cara Kerja PMCB

Secara umum prinsip kerja dari PMCB sama dengan cara kerja CB/PMT. Yang membedakan kedua peralatan proteksi ini yaitu letak masing-masing protektor, yang mana CB ditempatkan di Gardu Induk (GI) sedangkan PMCB diposisikan di tengah jaringan, tengah beban, di daerah yang sering gangguan, ataupun di daerah yang diprioritaskan, sesuai dengan keperluan dan kebutuhan. PMCB dapat bekerja secara otomatis ketika terjadi gangguan atau secara manual ketika dilakukan perawatan atau perbaikan.

2.5.2.1 Cara Kerja PMCB Secara Otomatis

Trafo arus (CT) 24 kV untuk pengukuran yang mana mentransformasikan besaran yang besar ke besaran yang lebih kecil. Trafo ini juga berfungsi untuk mendeteksi arus dan mengirimkannya ke relay.

Relay proteksi Vamp 40 sebagai alat pembatas dan pengaman dipasang didalam box kontrol, dipasang pada salah satu tiang dibawah PMCB, yang berfungsi untuk memonitor besaran gangguan dan memerintahkan PMCB untuk *open/close*.

Setiap arus yang mengalir pada suatu penghantar di suatu penyulang akan dideteksi dan diukur oleh CT yang kemudian dikirimkan ke relay. Kemudian Relay akan memonitor seberapa besar arus yang dikirim oleh CT. Apabila arus yang dikirim melebihi settingan arus yang telah ditentukan maka akan memerintahkan kontak untuk *open*, setelah kontak *open* arus berhenti. Untuk meminimalisirkan percikan api ketika kontak terbuka digunakan vakum sehingga ketika kontak *open/close* akan terdengar suara dentuman yang keras.

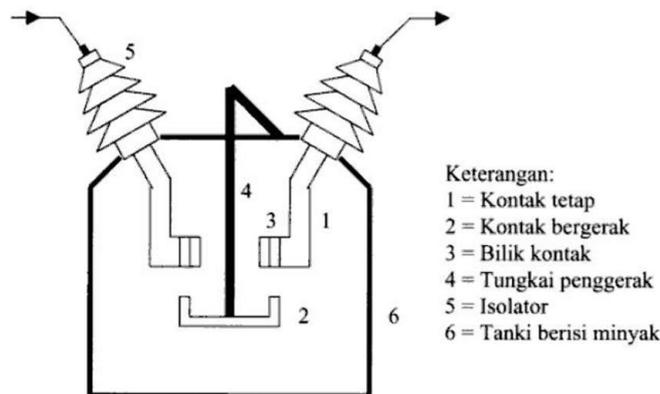


2.5.2.2 Cara Kerja PMCB secara manual

PMCB dapat dioperasikan dalam keadaan normal atau secara manual, yaitu dengan mengengkol VCB atau melalui *box control* dengan menekan tombol ON pada saklar S. Namun, karena VCB ada di dalam box besar, sehingga PMCB secara manual hanya bisa dilakukan dengan menekan tombol ON/OFF yaitu saklar S yang ada pada *box control* PMCB. Saat ditekan tombol ON, maka PMCB akan terhubung (*close*) dan jika menekan tombol OFF, maka PMCB akan memutus (*open*) baik dalam keadaan berbeban dan bertegangan maupun dalam keadaan tidak berbeban dan tidak bertegangan.

2.5.3 Hubungan Rele Dan Pemutus Daya⁸

Konstruksi suatu pemutus daya ditunjukkan pada Gambar 2.9 Bagian utama pemutus daya adalah kontak tetap dan kontak bergerak. Kontak bergerak dapat digerakkan secara manual atau dengan bantuan motor listrik atau system pneumatik. Jika kontak bergerak ditarik ke atas, maka pemutus daya dalam kondisi tertutup. Jika kontak bergerak didorong ke bawah, maka pemutus daya dalam kondisi terbuka.



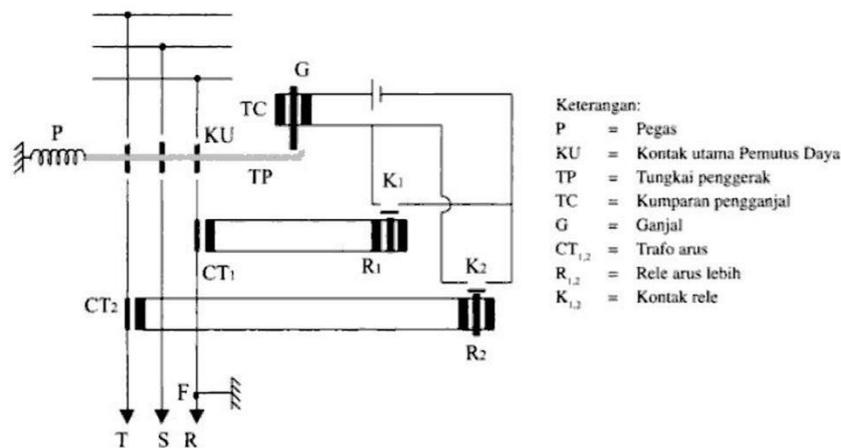
Gambar 2.9 Konstruksi Pemutus Daya

Hubungan kerja pemutus daya dan rele proteksi ditunjukkan pada Gambar 2.10 misalkan hubungan singkat terjadi pada fasa R. Akibatnya arus di fasa R melonjak relatif besar. Arus yang besar ini melalui kumparan primer CT1,

⁸ Tobing, Bonggas L. 2003. *Peralatan Tegangan Tinggi*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama; hal. 15.



akibatnya arus yang mengalir di kumparan sekunder CT1 dan rele R1 juga semakin besar. Jika arus tersebut melebihi setelan arus rele maka rele bekerja menutup kontak K1, akibatnya arus mengalir pada kumparan pengganjal TC sehingga ganjal G tertarik ke atas. Akibatnya tungkai penggerak TP tertarik ke kiri dan kontak utama KU terbuka.



Gambar 2.10 Hubungan Rele Proteksi dan Pemutus Daya

2.6 Sistem Integrasi

Sistem integrasi adalah jaringan tenaga listrik yang terpadu yang meliputi pembangkit-pembangkit tenaga listrik, jaringan transmisi dan jaringan distribusi yang saling terhubung. Sistem yang terintegrasi ini dikenal dengan sistem interkoneksi. Keuntungan adanya interkoneksi adalah diperolehnya produksi yang ekonomis, karena pusat pembangkitan listrik yang berkapasitas besar dan beroperasi pada sistem yang terinterkoneksi dapat mensuplai daerah lainnya yang membutuhkan tenaga listrik yang besar, tetapi hanya mempunyai pembangkit yang berkapasitas kecil.

Semakin banyaknya pusat pembangkitan tenaga listrik yang dioperasikan, maka diperlukan pengaturan beban sistem tenaga listrik. Dalam pengaturan sistem tenaga listrik ini terdapat beberapa permasalahan yang harus diperhatikan, yaitu:

- a. Kecepatan dan kemudahan memperoleh informasi yang diperlukan.
- b. Cara-cara penyajian data informasi bagi pengatur sistem.
- c. Keandalan media data, karena terganggunya media data akan berakibat terganggunya operasi pengaturan sistem.



- d. Kualitas data yang ditampilkan harus yang terbaru.

Berdasarkan faktor-faktor tersebut, maka fasilitas pendukung untuk keperluan pengaturan sistem tenaga listrik adalah:

- a. Sistem telekomunikasi.
- b. Alat-alat pengolah data untuk mengambil, menyimpan dan mengolah data sistem tenaga listrik.
- c. Perangkat lunak untuk mengolah data, agar data dapat ditampilkan dalam pengaturan sistem tenaga listrik.

2.7 Sistem SCADA

Sistem SCADA merupakan singkatan dari *Supervisory Control And Data Acquisition*. Dari segi bahasa berarti sistem pengawasan atau pemantauan kendali terhadap pengiriman dan penerimaan data pada suatu sistem tenaga listrik baik pada sisi pembangkit, transmisi maupun distribusi. Adanya sistem SCADA memudahkan operator untuk memantau keseluruhan jaringan tanpa harus melihat langsung ke lapangan. Sistem SCADA sangat dirasakan manfaatnya terutama pada saat pemeliharaan dan saat penormalan bila terjadi gangguan. Jadi secara umum SCADA adalah suatu sistem yang dapat mendeteksi secara segera dari suatu pusat kontrol apabila di suatu tempat terjadi gangguan yang berakibat pemadaman secara otomatis dengan berfungsi sebagai suatu *remote control*. Sistem SCADA tidak dapat berdiri sendiri, namun harus didukung oleh berbagai macam infrastruktur, yaitu:

1. Telekomunikasi
2. *Master Station*
3. *Remote Terminal Unit*
4. Protokol Komunikasi

Media telekomunikasi yang umum digunakan adalah PLC (*Power Line Communication*), serat optik, dan radio link. Pada awalnya penggunaan radio link dan PLC banyak digunakan, terutama karena penggunaan PLC yang tidak memerlukan jaringan khusus dan cukup menggunakan saluran transmisi tenaga listrik yang ada. Namun pada perkembangannya penggunaan PLC mulai beralih



ke serat optik dikarenakan kecepatan bit per detik yang jauh di atas PLC. Pada kenyataannya ketiga media tersebut di atas digunakan secara bersama-sama, sebagai *main* dan *backup*. *Master station* merupakan kumpulan perangkat keras dan lunak yang ada di pusat kendali (*Control Center*).

Agar dapat melakukan akuisisi data maupun pengendalian sebuah gardu induk maka dibutuhkan suatu terminal yang dapat memenuhi persyaratan tersebut, yaitu *Remote Terminal Unit* (RTU). Penggunaan RTU berawal dari RTU dengan 8 bit, hingga sekarang telah dikembangkan RTU dengan 16 bit, bahkan sudah hampir menyerupai sebuah komputer. RTU tersebut harus dilengkapi dengan panel, *transducer*, dan *wiring*.

Pada masa lampau, RTU dikembangkan oleh produsen secara sendiri-sendiri, juga dengan protokol komunikasi yang tersendiri sehingga tidak ada standarisasi. Sebagai contoh ada RTU dengan protokol komunikasi HNZ, Indactive, dan sebagainya. Penggunaan protokol yang berbeda-beda ternyata menimbulkan masalah di kemudian hari ketika akan dilakukan penggantian. Hal ini dikarenakan produk lama sudah tidak diproduksi lagi, sedangkan produk baru sudah mengikuti standarisasi. Oleh karena itu dalam pembuatan maupun pengembangan sistem SCADA harus mengacu pada standar tersebut.

Saat ini telah disepakati standar untuk protokol komunikasi antara lain sebagai berikut:

1. IEC 60870-5-101
2. IEC 60870-5-103
3. IEC 60870-5-104
4. IEC 61850 (masih dalam pengembangan)

2.7.1 Fungsi Utama Sistem SCADA

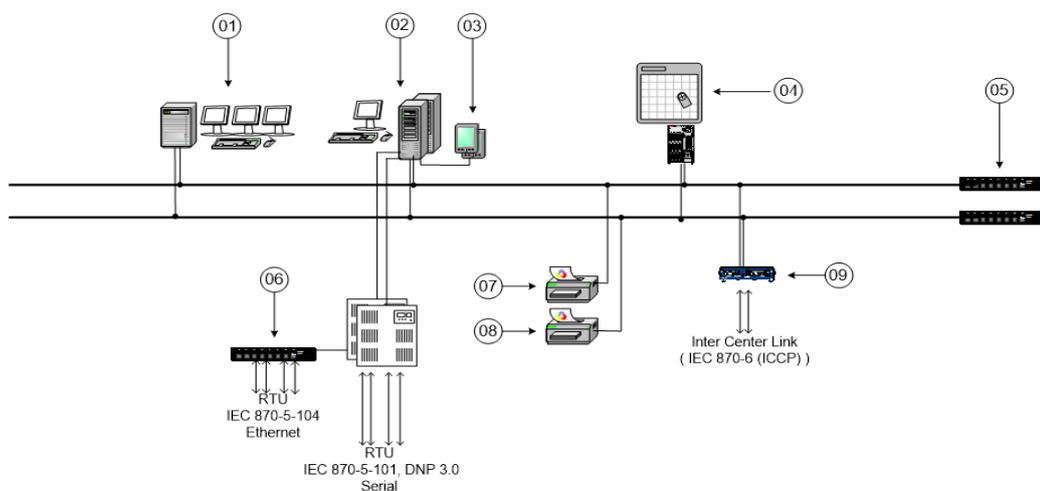
Fungsi-fungsi utama Sistem SCADA adalah:

1. Akuisisi data yang mana merupakan proses penerimaan data dari peralatan di lapangan.
2. Konversi data, yang mana merupakan proses konversi data-data dari lapangan ke dalam format standar.



3. Pemrosesan data, yang mana menganalisa data yang diterima untuk dilaporkan kepada operator.
4. *Supervisory control*, yang memungkinkan operator untuk melakukan pengendalian pada peralatan-peralatan di lapangan.
5. *Tagging*, yang memungkinkan operator untuk meletakkan informasi tertentu pada peralata tertentu. Ini adalah sebagai alat bertukar informasi sesama operator/pemakai sistem SCADA.
6. Pemrosesan *alarm* dan *event*, yang menginformasikan kepada operator apabila ada perubahan di dalam sistem.
7. *Post mortem review*, yang membantu menentukan akibat pada sistem jika ada gangguan besar pada jaringan. (Panjaitan, Bonar. 1999)

Pada gambar 4. dibawah ini dapat kita lihat konfigurasi sistem SCADA yang diterapkan di APD S2JB PT. PLN (Persero) Palembang.



Gambar 2.11 Konfigurasi Sistem SCADA⁹

Keterangan Gambar:

1. *Workstation dispatcher & Enjiner* (1 Set)
2. *Server SCADA, historikal data, sub sistem komunikasi* (1 set redundant)
3. *GPS* (1 set redundant)
4. *Projection multimedia* (1 set)

⁹ SPLN S3.001: 2008. *PERALATAN SCADA*



5. Switch 10/100 Mbps Ethernet LAN
6. Switch 100 Mbps Ethernet LAN
7. Printer laser hitam putih (1 buah)
8. Printer laser berwarna (1 buah)
9. *Router + Firewall* (1 set)

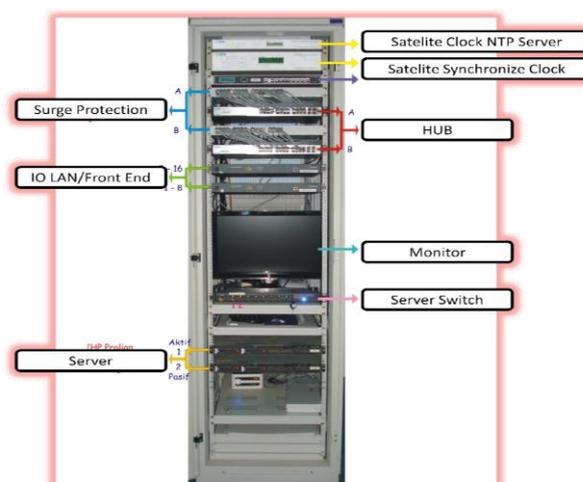
Sistem SCADA terdiri dari tiga komponen (subsistem) utama :

1. Pusat kendali.
2. Remote Terminal Unit (RTU).
3. Jalur komunikasi yang menghubungkan pusat kendali dengan RTU.

2.7.2 Komponen – komponen pada Sistem SCADA

1. Master Station

Master station berfungsi sebagai pusat pengatur seluruh sumber daya sistem seperti data-data yang dikomunikasikan dari masing-masing RTU. Aplikasi server bekerja menggunakan windows server, dan database sehingga mampu menyediakan kontrol manajemen untuk akses secara berurutan, dengan banyak *client*, dalam membagi informasi. Bagian terpenting dari arsitektur ini memungkinkan kesempatan yang sama bagi banyak *client* untuk mengakses *single database*.



Gambar 2.12 INTRANET storage, I/O LAN, server, main radio dan monitor



Master Station terdiri dari beberapa komponen utama yaitu: *Main Komputer* (server), *Human Machine Interface* (HMI), *WS Programing* dan peripheral lainnya yang terdiri dari dua buah yang berfungsi sebagai *redundant master/slave*, sehingga akan tetap beroperasi meskipun komputer master terjadi gangguan.

Fungsi utama dari main komputer adalah:

- 1) Mengatur komunikasi antara dirinya sendiri dengan RTU.
- 2) Mengirim dan menerima data dari RTU kemudian menterjemahkannya ke dalam bentuk informasi yang dapat dimengerti oleh user.
- 3) Mendistribusikan informasi tersebut ke MMI, *Mimic Board* dan *Printer Logger* dan mendokumentasikan informasi tersebut.

3. RTU

Remote Terminal Unit (RTU) adalah mikroprosesor yang bertugas melakukan scanning, pengolahan dan penyimpanan data di memori sementara sebelum diminta oleh pusat kendali dan melakukan aksi atau perintah sesuai permintaan dari pusat kendali. Fungsi RTU antara lain :

- 1) Pembacaan status

Yaitu membaca status pemutus tenaga (*circuit breaker*), LBS atau PMCB yang terhubung kepadanya apakah CB, PMCB, atau LBS itu terbuka atau tertutup atau invalid, selain itu RTU juga dapat melakukan pembacaan status alarm, seperti temperatur RTU, HFD (*Homopolar Fault Detector*), *DC fault*, *AC fault* dan lainnya.

- 2) Pengukuran dan perhitungan.

RTU mengambil dan memroses data tentang nilai arus maupun tegangan yang didapat dari *transducer* yang dihubungkan kepadanya.

- 3) Penyesuaian waktu

RTU menerima setting waktu dari MTU sehingga waktu RTU akan menjadi sama dengan waktu pada *master clock* di MTU.



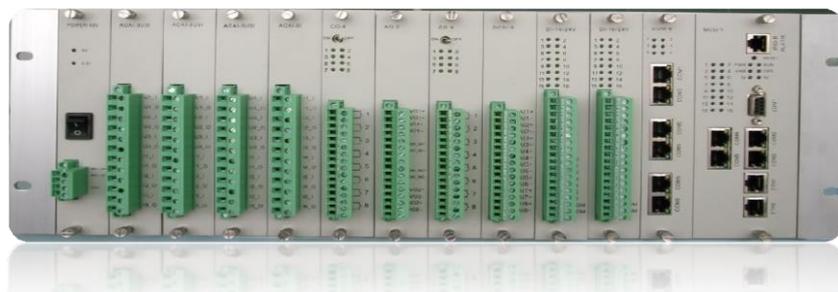
4) Pelaksanaan Komando

RTU akan melaksanakan perintah untuk membuka atau menutup PMCB / LBS yang terhubung kepadanya.

5) Mengirim data ke pusat kendali

Data-data tersebut adalah status saklar, hasil eksekusi jarak jauh, dan besar tegangan, arus, atau frekuensi.

Jenis RTU yang dipakai oleh PT PLN Palembang adalah RTU Dongfang yang dikembangkan sejak tahun 1982 dengan nama DCF-5, hingga sekarang dikenal dengan jenis DF1725IED. RTU memberi banyak keuntungan karena konfigurasi yang fleksibel, bekerja stabil dalam waktu yang panjang, dapat ditingkatkan teknologinya. Perangkat keras yang terstandarisasi baik pada modul I/O, dan beberapa peralatan lain yang dibutuhkan. Struktur yang terbuka dengan berbagai aplikasi untuk pengaturan tegangan menengah (TM) baik pada gardu hubung (GH) maupun pada penyulang.



Gambar 2.13 Antar muka RTU DF 1725IED beserta modul-modul I/O

Pada gambar diatas terdapat MCU, yang berfungsi sebagai pusat pemrosesan data IED, tempat berjalannya protokol, tempat pengiriman data ke *master station*. Terdapat juga modul CO yang berfungsi sebagai keluaran digital ketika melakukan telekontrol untuk melakukan perintah buka/ tutup *load break switch* (LBS) ataupun *dummy breaker*. Terdapat digital input pada modul DI yang berfungsi untuk memberikan informasi status informasi dari peralatan yang dikendalikan untuk dikirimkan datanya melalui MCU.



4. Power Suplay

Power suplay atau *rectifier* digunakan untuk keperluan catu daya pada peralatan Remote Kontrol (RTU, Radio, LBS Motorise, PMCB) digunakan penyearah tegangan/*rectifier* untuk menyearahkan tegangan bolak-balik menjadi tagangan arus searah. Rectifier menyediakan tiga output tegangan 5V,12V dan 24V dc, tegangan 5V dipergunakan untuk catu daya RTU, 12V untuk radio dan 24V untuk *auxiliary* relay dan LBS motorise. Selain untuk keperluan tersebut *rectifier* juga berguna untuk mengisi/*charge* batere.

5. Subsistem Telekomunikasi Data

Untuk menghubungkan dua perangkat yaitu komputer di pusat kendali dengan *Remote Terminal Unit* diperlukan subsistem komunikasi sehingga dua perangkat tersebut dapat saling komunikasi satu dengan yang lain. Apabila dua perangkat sudah terhubung dan dapat berkomunikasi pusat kendali (*master station*) dapat melakukan perintah seperti membuka / menutup LBS / PMT melalui *Remote Terminal Unit* perintah tersebut dapat dieksekusi. *Remote Terminal Unit* dapat melakukan pengiriman status *switch*, alarm dan data pengukuran ke pusat kendali apabila terdapat subsistem komunikasi yang baik yang terdiri dari komponen utama yaitu : media komunikasi, modem (*Modulator Demodulator*), protokol komunikasi, dll. Media komunikasi merupakan sarana fisik yang menghubungkan RTU dengan master station meliputi : *Pilot Cable* (Kabel Kendali), Radio Link.

Di PT PLN (Persero) Palembang, jaringan komunikasi antara RTU dengan master station menggunakan protokol komunikasi IEC60870-5-101 yaitu berupa kanal radio melalui antarmuka COM/ port serial pada RTU, dan IEC60870-5-104 dengan kanal yang berbeda menggunakan antarmuka ethernet. Radio data yang digunakan menggunakan frekuensi 374,050 Mhz dan 379,050 Mhz dengan aturan half-duplex dan antena yagi yang bekerja pada kisaran frekuensi 370-400 Mhz.

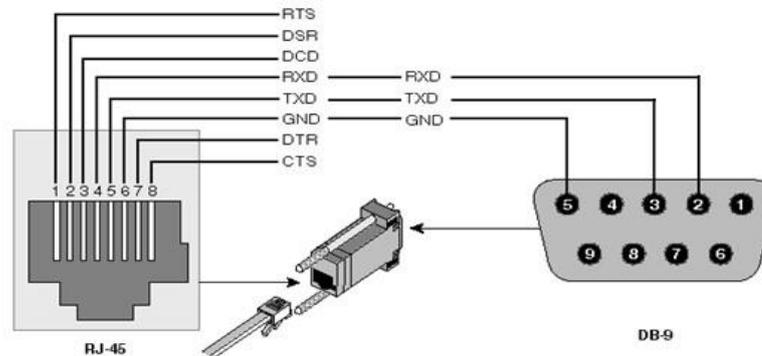


2.7.3 Software SCADA

Sistem SCADA di APD SUMANJALU menggunakan software DF8000, secara umum dapat berfungsi untuk mengintegrasikan proses analisis, simulasi, dan operasi, transmisi, dan distribusi. DF8000 memberikan fungsi supervisi dan kendali, analisis jaringan, keamanan dan instruksi operasi secara ekonomi, manajemen informasi dispatch, simulator pelatihan dispatcher, dan integrasi platform dengan software third party dan komunikasi antara control center lainnya.

DF8000 dikembangkan dibawah kualitas dengan menggunakan keandalan yang tinggi sebagai software sistem otomatis daya listrik tingkat dunia. DF8000 dikembangkan sebagai sebuah modul dan arsitektur client-server. Integrasi solusi DF8000 bekerja secara waktu-nyata pada sistem manajemen kecerdasan kelistrikan untuk memonitor, mengendalikan, simulasi, dan optimasi operasi dari sistem kelistrikan.

2.7.4 Protokol Antarmuka IEC 101 dan IEC 104



Gambar 2.14 *Wiring straight* dari Port Ethernet ke Port Serial

Standar komunikasi dasar untuk melakukan telekontrol adalah komunikasi serial RS-232. Komunikasi serial ini dikenal sebagai protokol IEC 101 pada *application layer* untuk membentuk akses jaringan antara *master station* dengan RTU. Karakteristik dari komunikasi ini pada *application layer* adalah *data acquisition by polling* yang bekerja untuk transmisi tidak seimbang. Transmisi tidak seimbang artinya sebuah kanal/ frekuensi yang sama dipakai untuk semua jalur komunikasi RTU sehingga perlu aturan dalam penggunaan kanal tersebut pada Front End Processor (FEP) yang dimanfaatkan master Station.