

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Sistem Tenaga Listrik

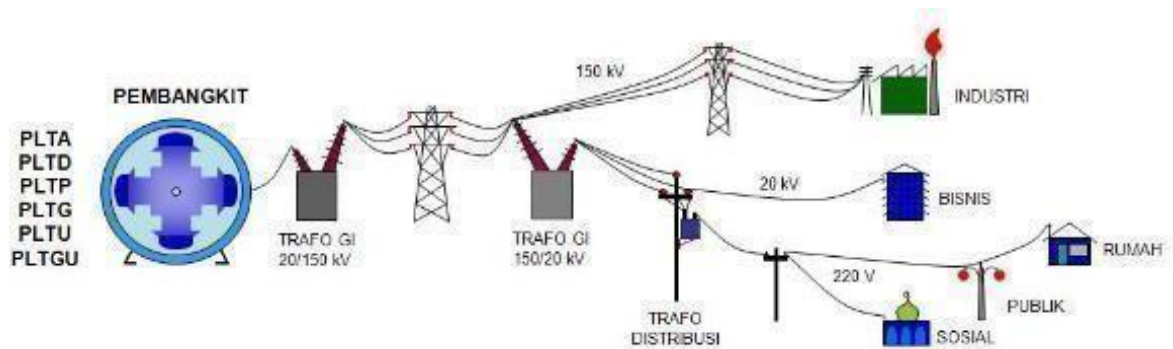
Sistem Tenaga Listrik merupakan suatu rangkaian saling terhubung yang terdiri sejumlah komponen atau peralatan listrik mulai dari membangkitkan dan mendistribusikan Energi Listrik sampai ke titik beban (Pengguna / Konsumen). Suatu Sistem Tenaga Listrik terdapat komponen-komponen atau alat-alat listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi dan beban yang saling berhubungan dan merupakan satu kesatuan sehingga membentuk suatu sistem. Dalam sistem ketenagalistrikan sering timbul persoalan teknis, dimana tenaga listrik dibangkitkan pada Pusat Pembangkit yang umumnya pada tempat-tempat tertentu yang jauh dari lokasi pelanggan, Sehingga perlu Sistem Jaringan Transmisi dan Distribusi yang cukup panjang untuk menjangkau lokasi pelanggan. Penyaluran tenaga listrik dari tempat dibangkitkan disebut Pusat Pembangkit Tenaga Listrik. Tenaga Listrik dibangkitkan di Pusat-pusat Tenaga Listrik seperti PLTA, PLTU, PLTG, PLTGU, PLTP dan PLTD kemudian disalurkan melalui saluran transmisi setelah terlebih dahulu dinaikkan tegangannya melalui transformator penaik tegangan (step up transformer) yang ada di Pusat Listrik. Nama Pembangkitan seperti tersebut diatas didasarkan atas nama Tenaga Penggerak Mula (Prime Mover). Prime Mover menggerakkan Rotor generator yang menghasilkan Tegangan Listrik (V) dan bila dalam satu rangkaian saluran Tertutup (loop) tersambung Beban Pemakaian ($Z = \text{Impedansi}$) maka timbul Arus Listrik (A) . Kedua besaran dalam saluran akan membentuk Daya Semu (VA) dan dengan faktor daya tertentu akan membentuk Daya Aktif dan Daya Reaktif (Watt & Var) . Daya Aktif dan Daya Reaktif bila digunakan dalam waktu tertentu (t) Jam maka akan membentuk Energi Aktif dan Energi Reaktif (Wh dan Varh) atau lazim disebut dengan KWh dan KVarh.

Saluran tenaga listrik yang menghubungkan pembangkitan dengan gardu induk (GI) dikatakan sebagai saluran transmisi karena saluran ini memakai standard tegangan tinggi dikatakan sebagai saluran transmisi tegangan tinggi yang sering disebut dengan singkatan SUTT. Dilingkungan operasional PLN saluran transmisi terdapat dua macam nilai tegangan yaitu saluran transmisi yang bertegangan 70 KV dan saluran transmisi yang bertegangan 150 KV dimana SUTT 150 KV lebih banyak digunakan dari pada SUTT 70 KV. Khusus untuk tegangan 500 KV dalam praktek saat ini disebut sebagai tegangan ekstra tinggi. yang disingkat dengan nama SUTET. Pada saat ini masih ada beberapa saluran transmisi dengan tegangan 70 KV namun tidak dikembangkan lagi oleh PLN. Saluran transmisi ada yang berupa saluran udara dan ada pula yang berupa saluran kabel tanah. Karena saluran udara harganya jauh lebih murah dibandingkan dengan kabel tanah maka saluran transmisi PLN kebanyakan berupa saluran udara. Kerugian dari saluran udara dibandingkan dengan saluran kabel tanah adalah saluran udara mudah terganggu oleh gangguan yang ditimbulkan dari luar sistemnya , misalnya karena sambaran petir, terkena ranting pohon , binatang, layangan dan lain sebagainya Setelah tenaga listrik disalurkan melalui saluran transmisi maka sampailah tenaga listrik di Gardu Induk (GI) sebagai pusat beban untuk diturunkan tegangannya melalui trans - formator penurun tegangan (step down transformer) menjadi tegangan menengah atau yang juga disebut sebagai tegangan distribusi primer. Tegangan distribusi primer yang dipakai PLN adalah 20 KV, 12 KV dan 6 KV. Kecenderungan saat ini menunjukkan bahwa tegangan distribusi primer PLN yang berkembang adalah 20 KV.

Jaringan distribusi primer yaitu jaringan tenaga listrik yang keluar dari GI baik itu berupa saluran kabel tanah, saluran kabel udara atau saluran kawat terbuka yang menggunakan standard tegangan menengah dikatakan sebagai Jaringan Tegangan Menengah yang sering disebut dengan singkatan JTM dan sekarang salurannya masing masing disebut SKTM untuk jaringan tegangan menengah yang menggunakan saluran kabel tanah, SKUTM untuk jaringan tegangan menengah yang menggunakan saluran kabel udara dan SUTM untuk jaringan tegangan menengah yang menggunakan saluran kawat terbuka. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer maka kemudian tenaga listrik diturunkan tegangannya dengan menggunakan trafo distribusi (step down

transformer) menjadi tegangan rendah dengan tegangan standar 380/220 Volt atau 220/127 Volt dimana standar tegangan 220/127 Volt pada saat ini tidak diberlakukan lagi dilingkungan PLN. Tenaga listrik yang menggunakan standard tegangan rendah ini kemudian disalurkan melalui suatu jaringan yang disebut Jaringan Tegangan Rendah yang sering disebut dengan singkatan JTR. Sama halnya pada JTM jenis saluran yang dipergunakan pada JTR dapat menggunakan tiga jenis saluran yaitu SUTR untuk saluran udara tegangan rendah dengan menggunakan saluran kawat terbuka SKUTR untuk saluran udara tegangan rendah dengan menggunakan saluran kabel udara yang dikenal dengan sebutan kabel twisted yang sering disebut dengan singkatan TIC singkatan dari Twisted Insulation Cable SKTR untuk saluran udara tegangan rendah dengan menggunakan saluran kabel tanah Tenaga listrik dari jaringan tegangan rendah ini untuk selanjutnya disalurkan ke rumahrumah pelanggan (konsumen) melalui suatu sarana yang disebut Sambungan Pelayanan atau Sambungan Rumah yang dapat dipisahkan menjadi dalam 2 bagian yaitu Sambungan Luar Pelayanan dan Sambungan Masuk Pelayanan .

Setelah tenaga listrik melalui Jaringan Tegangan Menengah (JTM), Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Sambungan Rumah (SR) maka tenaga listrik selanjutnya dilewatkan alat pembatas daya dan KWH meter di sisi pelanggan. Energi listrik yang dipakai oleh pelanggan tersebut di catat oleh petugas cater sesuai angka di register kWh meter tersebut selanjutnya dicatat di dalam rekening listrik. Rekening listrik pelanggan tergantung kepada daya tersambung serta pemakaian KWH nya, oleh karenanya PLN memasang pembatas daya dan KWH meter. Setelah melalui KWH meter, tenaga listrik kemudian memasuki instalasi rumah yaitu instalasi milik pelanggan. Instalasi PLN pada umumnya hanya sampai dengan KWH meter dan sesudah KWH meter instalasi listrik pada umumnya adalah instalasi milik pelanggan. Dalam instalasi pelanggan tenaga listrik langsung memasuki alat-alat listrik milik pelanggan seperti lampu, setrika, lemari es, radio, televisi dan lain-lain.



Gambar 2. 1 Sistem Tenaga Listrik

2.1.1.1 Pembangkit Tenaga Listrik

Pembangkit tenaga listrik merupakan suatu sistem atau fasilitas yang berfungsi untuk menghasilkan energi listrik melalui proses konversi energi dari sumber tertentu. Energi yang digunakan sebagai sumber pembangkitan dapat berasal dari energi mekanik, energi panas, energi kimia, maupun energi radiasi. Proses konversi energi tersebut bertujuan untuk menghasilkan energi listrik yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat dalam berbagai sektor kehidupan, seperti rumah tangga, industri, transportasi, dan pelayanan publik. Secara teknis, pembangkit tenaga listrik bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Prinsip ini menyatakan bahwa perubahan medan magnet pada suatu penghantar akan menimbulkan arus listrik. Prinsip induksi elektromagnetik ini pertama kali dikemukakan oleh Michael Faraday dan menjadi dasar kerja generator listrik yang digunakan dalam hampir seluruh jenis pembangkit tenaga listrik modern.

Dalam sistem ketenagalistrikan, pembangkit tenaga listrik memiliki peran yang sangat vital karena merupakan titik awal dalam rantai penyaluran energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit kemudian disalurkan melalui sistem transmisi dan distribusi sebelum akhirnya digunakan oleh konsumen. Oleh karena itu, keandalan dan efisiensi pembangkit tenaga listrik sangat menentukan kualitas pasokan listrik secara keseluruhan. Secara umum, prinsip kerja pembangkit tenaga listrik adalah mengubah energi primer menjadi energi listrik melalui beberapa tahapan proses. Energi primer yang digunakan dapat berupa energi air, energi panas, energi angin, atau energi matahari. Energi tersebut kemudian diubah menjadi energi mekanik untuk memutar turbin, yang selanjutnya menggerakkan

generator listrik. Konversi energi merupakan tahapan utama dalam sistem pembangkit tenaga listrik. Energi primer yang berasal dari sumber alam dikonversi menjadi energi mekanik atau energi listrik melalui proses tertentu. Misalnya, pada PLTU energi kimia dari batu bara diubah menjadi energi panas, kemudian menjadi energi mekanik melalui turbin uap, dan akhirnya menjadi energi listrik melalui generator.

Efisiensi proses konversi energi sangat bergantung pada teknologi yang digunakan serta kondisi operasional pembangkit. Semakin tinggi efisiensi konversi energi, semakin besar energi listrik yang dapat dihasilkan dari jumlah energi primer yang sama. Turbin merupakan komponen utama dalam pembangkit tenaga listrik yang berfungsi untuk mengubah energi fluida menjadi energi mekanik. Jenis turbin yang digunakan bergantung pada jenis pembangkit, seperti turbin air pada PLTA, turbin uap pada PLTU, dan turbin gas pada PLTG. Putaran turbin harus dijaga agar tetap stabil untuk menghasilkan listrik dengan frekuensi yang sesuai standar. Oleh karena itu, sistem mekanik dalam pembangkit dilengkapi dengan berbagai pengendali untuk menjaga kestabilan putaran turbin. Generator berfungsi untuk mengubah energi mekanik dari turbin menjadi energi listrik. Generator terdiri dari komponen utama berupa rotor dan stator. Ketika rotor berputar di dalam medan magnet stator, akan timbul arus listrik akibat induksi elektromagnetik. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator kemudian disalurkan ke sistem transmisi dan distribusi. Sebelum disalurkan, tegangan listrik biasanya dinaikkan menggunakan transformator agar dapat dikirimkan dalam jarak jauh dengan kehilangan daya yang minimal. Berdasarkan sumber energinya, pembangkit tenaga listrik dibedakan menjadi pembangkit berbasis energi tidak terbarukan dan pembangkit berbasis energi terbarukan. Pembangkit berbasis energi tidak terbarukan menggunakan sumber energi yang jumlahnya terbatas dan dapat habis, seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Contoh pembangkit ini antara lain Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), dan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD). Sementara itu, pembangkit berbasis energi terbarukan memanfaatkan sumber energi alam yang dapat diperbarui secara alami dan berkelanjutan. Pembangkit jenis ini meliputi Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), dan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP). Pengembangan pembangkit energi terbarukan semakin mendapat perhatian karena

dinilai lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

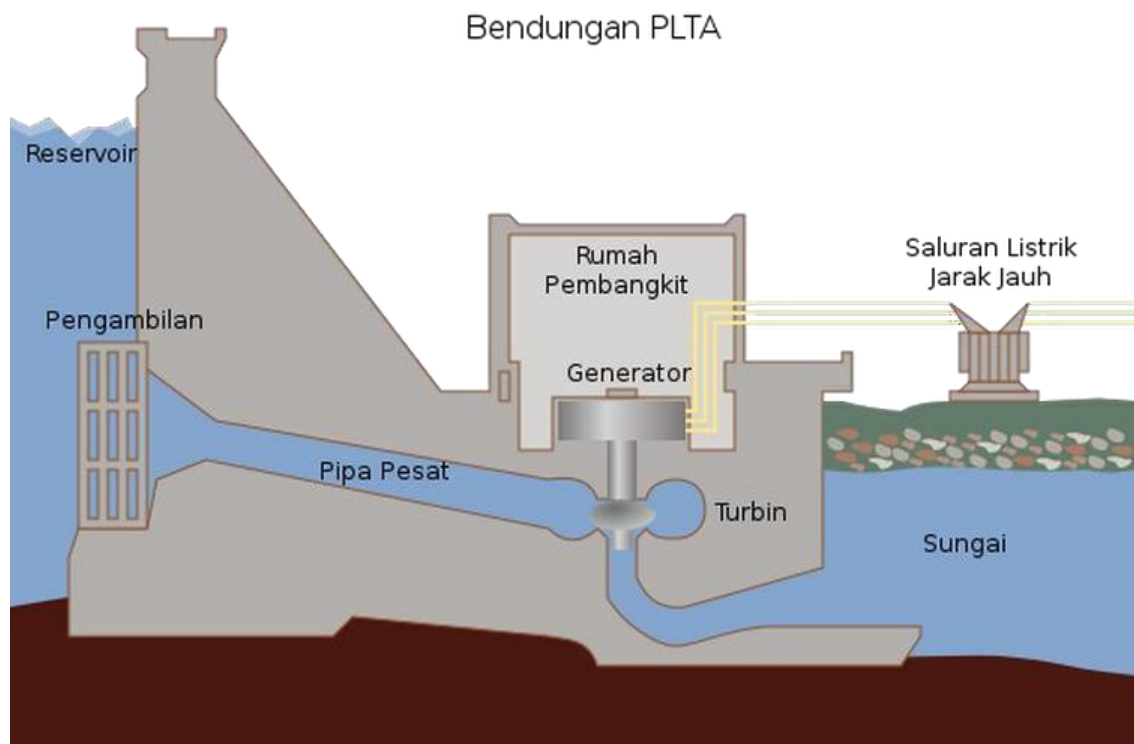
Berikut adalah beberapa jenis pembangkit tenaga listrik energi terbarukan dan energi tidak terbarukan bersama penjelasannya :

- PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air)

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) bekerja dengan cara merubah energi potensial menjadi energi mekanik dan dari energi mekanik dirubah menjadi energi listrik. Pembangkit listrik tenaga air konvensional dengan cara mengalirkan air dari dam ke turbin setelah itu air di buang. Pada saat beban puncak air dalam lowerreservior akan dipompa ke upperreservior sehingga cadangan pada waduk utama tetap stabil. Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) bekerja dengan cara merubah energi potensial(dari dam atau air terjun) menjadi energi mekanik (dengan turbin air) dan dari energi mekanik menjadi energi listrik(dengan bantuan generator). PLTA dapat beroperasi sesuai dengan perencanaan sebelumnya, bila mempunyai daerah aliran sungai yang berpotensi sebagai sumber air untuk memenuhi kebutuhan pengoperasian PLTA tersebut. Pada operasi PLTA tersebut, perhitungan keadaan air yang masuk pada waduk dam tempat penampungan air, beserta besar air yang masuk untuk menggerakkan turbin sebagai penggerak sumber listrik tersebut, merupakan suatu keharusan untuk memiliki, dengan kontrol terhadap air yang masuk maupun yang didistribusikan ke pintu saluran air untuk menggerakkan turbin harus dilakukan dengan baik, sehingga PLTA dapat beroperasi.

Pada prinsipnya PLTA mengolah energy potensial air diubah menjadi energi kinetis dengan adanya head, lalu energy kinetis ini berubah menjadi energy mekanis dengan adanya aliran air yang menggerakkan turbin, lalu energy mekanis ini berubah menjadi energy listrik mealui perputaran rotor pada generator. Jumlah energy listrik yang bisa dibangkitkan dengan sumber daya air tergantung pada dua hal, yaitu jarak tinggi air (head) dan berapa besar jumlah air yang mengalir (debit). Sudah dijelaskan di atas bahwa Pembangkit Listrik Tenaga Air menggunakan tenaga yang dimiliki oleh air untuk dapat beroperasi. Jadi, konsep kerja dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air ini kurang lebih adalah seperti itu. Bagaimana caranya mengubah energi besar yang dimiliki oleh air agar berfungsi untuk memancing

hadirnya energi listrik atau arus listrik. Baling-baling pada turbin, seperti yang telah dijelaskan di atas adalah elemen yang nantinya akan berputar dan menghasilkan energi. Energi yang dihasilkan oleh pergerakan balingbaling turbin berupa energi panas. Energi panas itulah yang kemudian diproses sehingga menjadi energi listrik yang manfaatnya dapat kita rasakan sehari-hari. Itu artinya, pergerakan baling-baling turbin dipengaruhi oleh jumlah air yang ada di waduk atau bendungan. Semakin banyak jumlah air yang terdapat di waduk atau bendungan tersebut, maka energi panas yang dihasilkannya pun otomatis akan semakin besar. Sebaliknya, semakin kecil debit air, maka kekuatan baling-baling berputar pun akan semakin kecil.

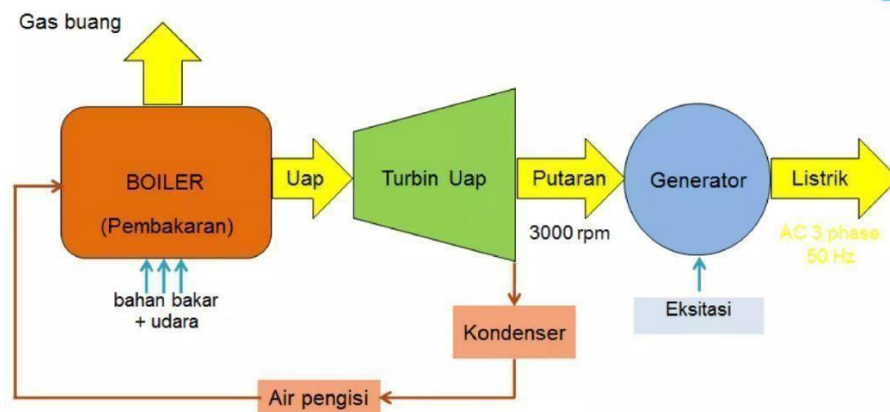


Gambar 2.2 Cara kerja pembangkit listrik tenaga air (PLTA)

- PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap)

Pembangkit Listrik Tenaga Uap atau yang sering disebut dengan PLTU adalah pembangkit yang mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Bentuk utama dari pembangkit listrik jenis ini adalah Generator yang dihubungkan ke turbin yang digerakkan oleh tenaga kinetik dari uap panas/kering. Pembangkit listrik tenaga uap

menggunakan berbagai macam bahan bakar terutama batu bara dan minyak bakar serta MFO untuk start up awal. PLTU menggunakan fluida kerja air uap yang bersirkulasi secara tertutup. Siklus tertutup artinya menggunakan fluida yang sama secara berulang-ulang. Urutan sirkulasinya secara singkat adalah sebagai berikut : Pertama air disalurkan melalui pipa-pipa menuju boiler. Didalam boiler air di dalam pipa pipa tersebut dipanaskan dengan gas panas hasil pembakaran batubara sehingga berubah menjadi uap. Kedua, uap hasil produksi boiler dengan tekanan dan temperatur tertentu diarahkan untuk memutar turbin sehingga menghasilkan daya mekanik berupa putaran. Ketiga, generator yang dikopel langsung dengan turbin berputar menghasilkan energi listrik sebagai hasil dari perputaran medan magnet dalam kumparan.



Gambar 2.3 Prinsip Kerja PLTU

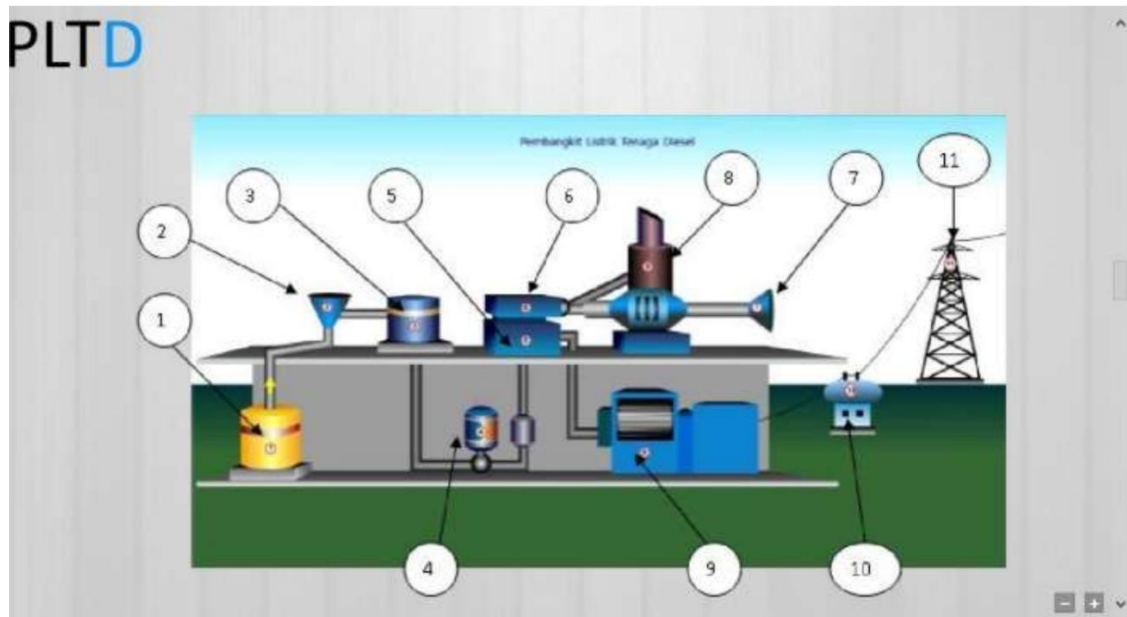
- PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel)

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) ialah Pembangkit listrik yang menggunakan mesin diesel sebagai penggerak mula (prime mover). Prime mover merupakan peralatan yang mempunyai fungsi menghasilkan energi mekanis yang diperlukan untuk memutar rotor generator. Mesin diesel sebagai penggerak mula PLTD berfungsi menghasilkan tenaga mekanis yang dipergunakan untuk memutar rotor generator. Motor diesel dinamai juga motor penyalaan kompresi (compression ignition engine) oleh karena cara penyalaan bahan bakarnya dilakukan dengan menyemprotkan bahan baker kedalam udara bertekanan dan

temperature tinggi, sebagai akibat dari proses didalam ruang baker kepala silinder. Selain motor diesel dikenal juga jenis motor baker lainnya yaitu motor bensin yang biasanya dinamai motor penyalaan bunga api (spark ignition engine) oleh karena cara penyalaan bahan bakarnya dengan pertolongan bunga api (listrik).

Jika dibandingkan dengan motor bensin, gas buang motor diesel tidak banyak mengandung komponen beracun yang dapat mencemari udara. Selain dari pada itu pemakaian bahan baker motor diesel lebih rendah ($\pm 25\%$) dari pada motor bensin, sedangkan harganya pun lebih murah sehingga penggunaan motor diesel umumnya lebih hemat dari pada motor bensin sebagai penggerak mesin industri. Ditinjau dari sisi investasi harga, motor diesel umumnya lebih mahal dari motor bensin karena untuk kapasitas mesin yang sama motor diesel harus dibuat dengan konstruksi dan berat yang lebih besar. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel biasanya digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik dalam jumlah beban kecil, terutama untuk daerah baru yang terpencil atau untuk listrik pedesaan dan untuk memasok kebutuhan listrik suatu pabrik.

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) adalah pembangkit listrik yang menggunakan mesin diesel sebagai penggerak pemula (Primer Mover). Primer mover merupakan alat yang mempunyai fungsi menghasilkan energy mekanis yang diperlukan untuk memotor rotor generator. Pada mesin diesel, energi bahan bakar diubah menjadi energy mekanik dengan proses pembakaran di dalam mesin itu sendiri. PLTD sendiri mempunyai kelebihan dan kekurangan seperti halnya pada pembangkit pembangkit lain. Kelebihannya antara lain Dapat beroperasi sepanjang waktu selama masih tersediannya bahan bakar, dalam operasinya tidak bergantung pada alam seperti halnya PLTA, investasi awal pembangunan PLTD relatif murah dibanding pembangkit listrik lain. Sedangkan kekurangannya adalah Ongkos bahan bakarnya tergolong mahal dan bergantung dengan perubahan harga minyak dunia yang cenderung meningkat dari tahun ke tahun, menimbulkan polusi udara yang ditimbulkan dari pembakaran bahan bakar konvensional yang kadang kurang sempurna, memerlukan pemeliharaan rutin, sistem operasi tidak efisien bahkan tergolong boros pada kondisi beban rendah.



Gambar 2.4 Bagian – Bagian PLTD

Dari gambar di atas dapat kita lihat bagian-bagian dari Pembangkit Listrik Tenaga Diesel, yaitu :

1. Tangki penyimpanan bahan bakar berfungsi menampung sementara bahan bakar.
2. Penyaring bahan bakar berfungsi menyaring kotoran dan air yang terdapat pada bahan bakar agar nantinya tidak menyumbat aliran bahan bakar yang dapat menimbulkan berbagai masalah.
3. Tangki penyimpanan bahan bakar sementara (bahan bakar yang disaring).
4. Pengabut (nozel) berfungsi untuk mengabutkan bahan bakar agar mudah bercampur dengan oksigen sehingga mudah terbakar dalam silinder.
5. Mesin diesel merupakan alat yang menghasilkan energi mekanik melalui proses pembakaran bahan bakar.
6. Turbo charger berfungsi Untuk meningkatkan performa dari mesin diesel
7. Penyaring gas pembuangan berfungsi menyaring gas kotor yang dapat mengganggu kesehatan sebelum dilepas keudara bebas.
8. Tempat pembuangan gas (bahan bakar yang disaring).
9. Generator berfungsi sebagai pengubah energi mekanik menjadi energi listrik.

10. Trafo berfungsi menaikkan atau menurunkan tegangan arus listrik

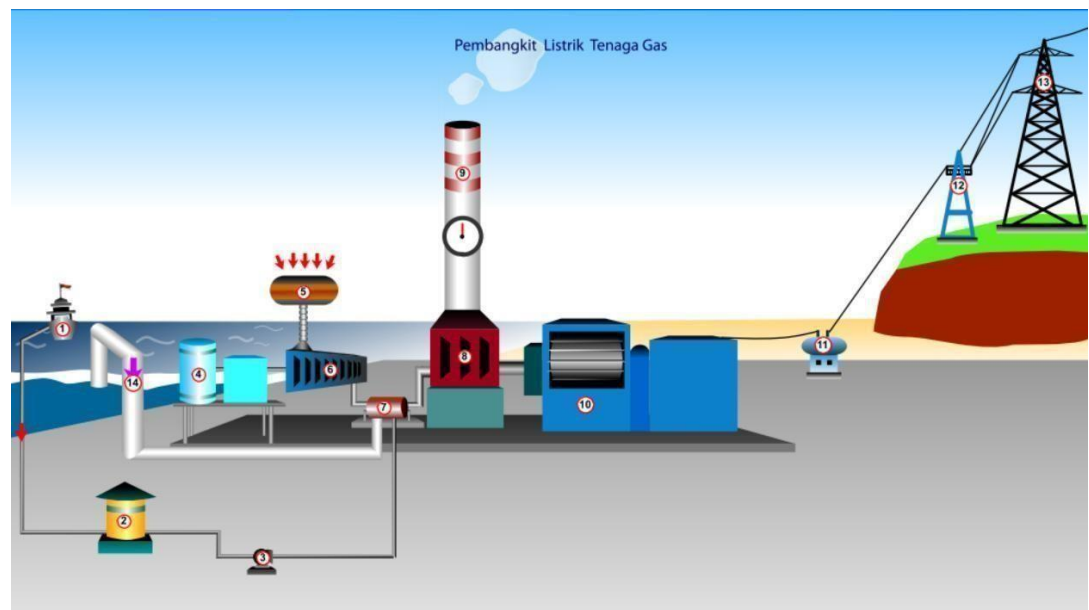
11. Saluran transmisi merupakan media yang digunakan untuk mentransmisikan tenaga listrik dari Generator Station/ Pembangkit Listrik sampai distribution station.

- PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Gas)

Pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) merupakan sebuah pembangkit energi listrik yang menggunakan peralatan/mesin turbin gas sebagai penggerak generatornya. Turbin gas dirancang dan dibuat dengan prinsip kerja yang sederhana di mana energi panas yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar diubah menjadi energi mekanis dan selanjutnya diubah menjadi energi listrik atau energi lainnya sesuai dengan kebutuhannya. Adapun kekurangan dari turbin gas adalah sifat korosif pada material yang digunakan untuk komponen-komponen turbinnya karena harus bekerja pada temperature tinggi dan adanya unsure kimia bahan bakar minyak yang korosif (sulfur, vanadium dll), tetapi dalam perkembangannya pengetahuan material yang terus berkembang hal tersebut mulai dapat dikurangi meskipun tidak dapat secara keseluruhan dihilangkan. Dengan tingkat efisiensi yang rendah hal ini merupakan salah satu dari kekurangan sebuah turbin gas juga dan pada perkembangannya untuk menaikkan efisiensi dapat diatur/diperbaiki temperature kerja siklus dengan menggunakan material turbin yang mampu bekerja pada temperature tinggi dan dapat juga untuk menaikkan efisiensinya dengan menggabungkan antara pembangkit turbin gas dengan pembangkit turbin uap dan hal ini biasa disebut dengan combined cycle. Sistem PLTG menggunakan prinsip siklus Brayton yang dibagi atas siklus terbuka dan siklus tertutup. Pada siklus terbuka, fluida kerja adalah udara atmosfer dan pengeluaran panas di atmosfer karena gas buang dari turbin dibuang ke atmosfer.

Cara kerja PLTG tersebut bisa dijelaskan dalam satu siklus terbuka sebagai berikut: Siklus PLTG berawal melalui udara yang masuk ke kompressor. 9 Kompressor yang berfungsi menaikkan tekanan udara kemudian memasukkan udara ke dalam ruang bakar (Combustion room) bercampur dengan bahan bakar (gas / bbm). Pembakaran di ruang pembakaran menghasilkan gas bersuhu tinggi dan bertekanan sehingga dapat memutar turbin gas. Turbin yang berputar mendrive generator berputar. Luaran sistem tersebut menghasilkan produksi listrik dan setelah itu, gas akan dibuang ke atmosfer

melalui stack (cerobong asap). Udara dengan tekanan atmosfer ditarik masuk ke dalam compressor melalui pintu, udara ditekan masuk ke dalam compressor. Udara ditekan masuk ke dalam ruang bakar dengan tekanan 250 Psi dicampur dengan bahan bakar dan di bakar dalam ruang bakar dengan temperatur 2000–3000°F. Gas hasil pembakaran yang merupakan energi termal dengan temperature dan tekanan yang tinggi suhunya kira-kira 900°C. Dari energi panas yang dihasilkan inilah kemudian akan dimanfaatkan untuk memutar turbin dimana didalam sudu-sudu gerak dan sudu-sudu diam turbin, gas panas tersebut temperature dan tekanan mengalami penurunan dan proses ini biasa disebut dengan proses ekspansi. Selanjutnya energi mekanis yang dihasilkan oleh turbin digunakan untuk memutar generator hingga menghasilkan energi listrik.



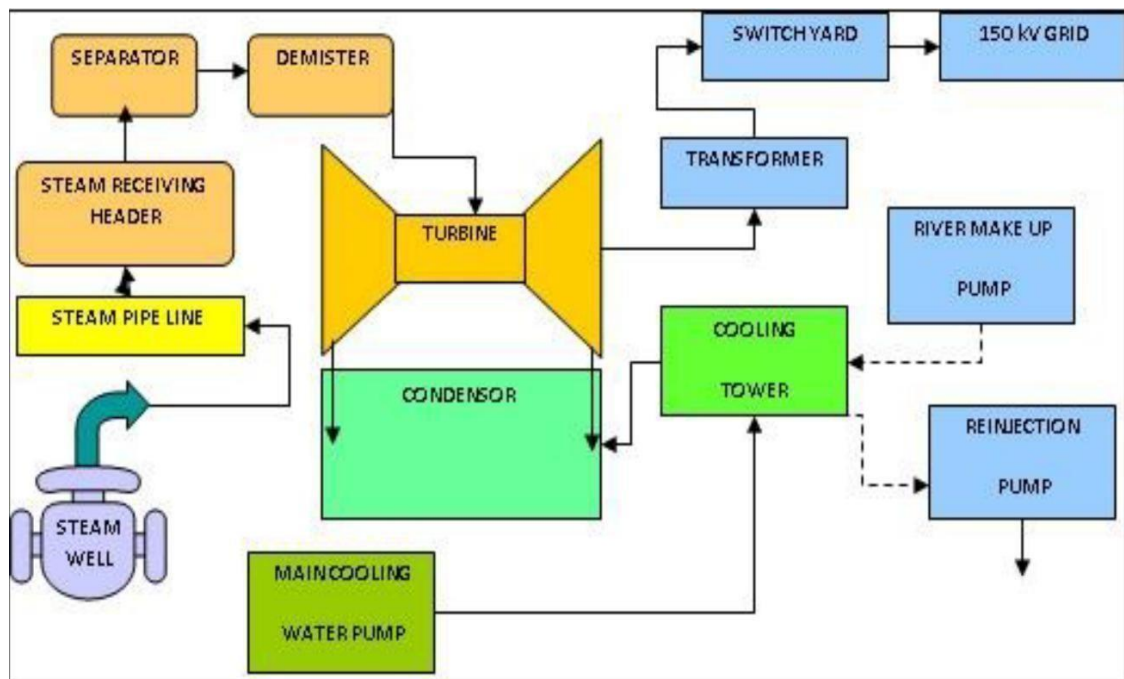
Gambar 2.5 Cara Kerja PLTG

Pembangkit listrik tenaga gas (PLTGas) merupakan sebuah pembangkit energi listrik yang menggunakan peralatan/mesin turbin gas sebagai penggerak generatornya. Adapun kekurangan dari turbin gas adalah sifat korosif pada material yang digunakan untuk komponen-komponen turbinnya karena harus bekerja pada temperature tinggi dan adanya unsur kimia bahan bakar minyak yang korosif (sulfur, vanadium dll), tetapi dalam perkembangannya pengetahuan material yang terus berkembang hal tersebut mulai dapat

dikurangi meskipun tidak dapat secara keseluruhan dihilangkan.

- PLTP (Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi)

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTPB) pada prinsipnya sama seperti Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), hanya pada PLTU uap dibuat di permukaan menggunakan boiler, sedangkan pada PLTPB uap berasal dari reservoir panas bumi. Apabila fluida di kepala sumur berupa fasa uap, maka uap tersebut dapat dialirkan langsung ke turbin, dan kemudian turbin akan mengubah energi panas bumi menjadi energi gerak yang akan memutar generator sehingga dihasilkan energi listrik.



Gambar 2.6 Siklus PLTP

Prinsip Kerja PLTP :

1. Uap di-supply dari sumur produksi melalui sistem transmisi uap yang kemudian masuk ke dalam *Steam Receiving Header* sebagai media pengumpul uap. *Steam Receiving Header* dilengkapi dengan *Rupture Disc* yang berfungsi sebagai pengaman terakhir unit .Bila terjadi tekanan berlebih (*over pressure*) di dalam

Steam Receiving maka uap akan dibuang melalui *Vent Structure*. *Vent Structure* berfungsi untuk *warming-up* di *pipe line* ketika akan start unit dan sebagai katup pengaman yang akan membuang tekanan bila *sudden trip* terjadi.

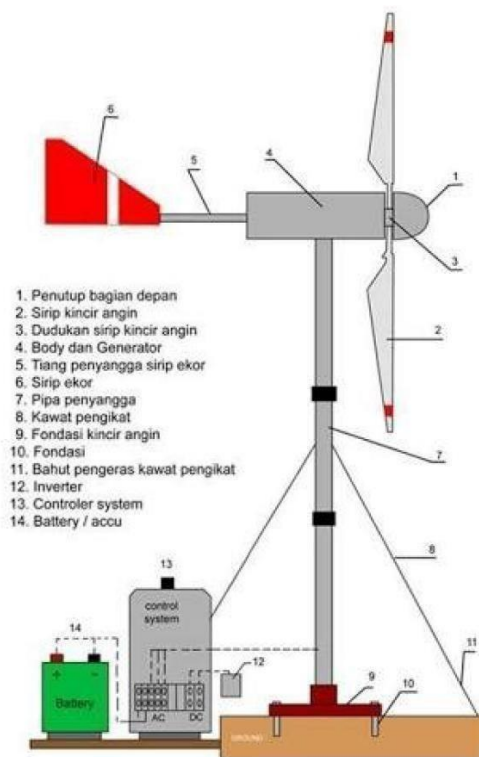
2. Dari *Steam Receiving Header* uap kemudian dialirkan ke *Separator (Cyclone Type)* yang berfungsi untuk memisahkan uap (*pure steam*) dari benda-benda asing seperti partikel berat (Sodium, Potasium, Calsium, Silika, Boron, Amonia, Fluor dll).
3. Kemudian uap masuk ke *Demister* yang berfungsi untuk memisahkan moisture yang terkandung dalam uap, sehingga diharapkan uap bersih yang akan masuk ke dalam Turbin.
4. Uap masuk ke dalam Turbin sehingga terjadi konversi energi dari Energi Kalor yang terkandung dalam uap menjadi Energi Kinetik yang diterima oleh sudu-sudu Turbin. Turbin yang dikopel dengan generator akan menyebabkan generator berputar saat turbin berputar sehingga terjadi konversi dari Energi Kinetik menjadi Energi Mekanik.
5. Generator berputar menghasilkan Energi Listrik (*Electricity*)
6. *Exhaust Steam* (uap bekas) dari Turbin dikondensasikan di dalam Condensor dengan sistem *Jet Spray (Direct Contact Condensor)*.
7. NCG (*Non Condensable Gas*) yang masuk kedalam Condensor dihisap oleh *First Ejector* kemudian masuk ke *Intercondensor* sebagai media pendingin dan penangkap NCG. Setelah dari *Intercondensor*, NCG dihisap lagi oleh *Second Ejector* masuk ke dalam *Aftercondensor* sebagai media pendingin dan kemudian dibuang ke atmosfir melalui *Cooling Tower*.
8. Dari Condensor air hasil kondensasi dialirkan oleh *Main Cooling Water Pump* masuk ke *Cooling Tower*. Selanjutnya air hasil pendinginan dari *Cooling Tower* uap kering disirkulasikan kembali ke dalam Condensor sebagai media pendingin.
9. *Primary Cooling System* disamping sebagai pendingin *Secondary Cooling System* juga mengisi air pendingin ke *Intercondensor* dan *Aftercondensor*.
10. *Overflow* dari *Cold Basin Cooling Tower* akan ditampung untuk kepentingan

Reinjection Pump.

11. *River Make-Up Pump* beroperasi hanya saat akan mengisi *Basin Cooling Tower*.

- PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu)

Pembangkit Listrik Tenaga Angin atau sering juga disebut dengan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) adalah salah satu pembangkit listrik energi terbarukan yang ramah lingkungan dan memiliki efisiensi kerja yang baik jika dibandingkan dengan pembangkit listrik energi terbarukan lainnya. Prinsip kerja PLTB adalah dengan memanfaatkan energi kinetik angin yang masuk ke dalam area efektif turbin untuk memutar baling-baling/kincir angin, kemudian energi putar ini diteruskan ke generator untuk membangkitkan energi listrik. Berdasarkan data dari GWEC, jumlah PLTB yang ada di dunia saat ini adalah sebesar 157.900 MWatt (sampai dengan akhir tahun 2009), dan pembangkit jenis ini setiap tahunnya mengalami peningkatan dalam pembangunannya sebesar 20- 30%. Teknologi PLTB saat ini dapat mengubah energi gerak angin menjadi energi listrik dengan efisiensi rata-rata sebesar 40%. Efisiensi 40% ini disebabkan karena akan selalu ada energi kinetik yang tersisa pada angin karena angin yang keluar dari turbin tidak mungkin mempunyai kecepatan sama dengan nol.



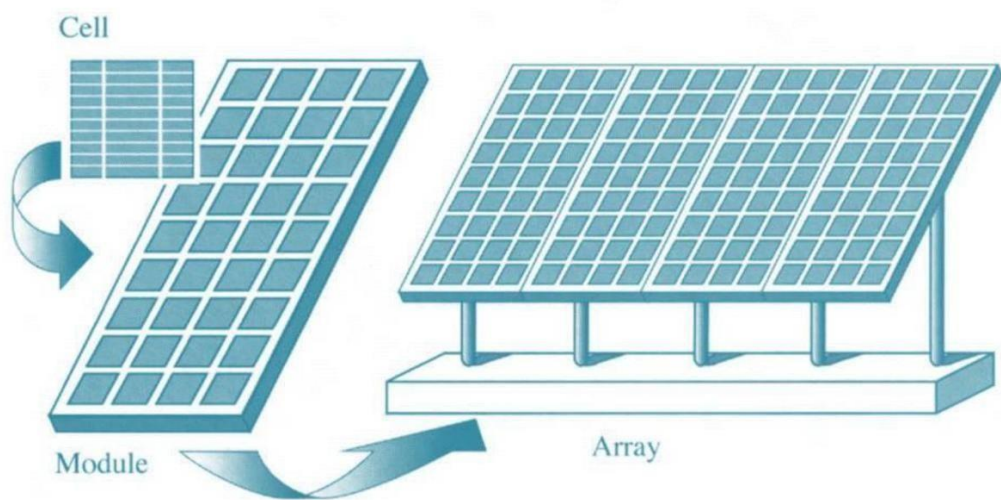
Gambar 2.7 Turbin Angin

Energi angin memutar turbin angin. Turbin angin bekerja berkebalikan dengan kipas angin (bukan menggunakan listrik untuk menghasilkan listrik, namun menggunakan angin untuk menghasilkan listrik) kemudian angin akan memutar sudu turbin, lalu diteruskan untuk memutar rotor pada generator dibagian belakang turbin angin. Generator merubah energi gerak menjadi energi listrik dengan teori medan elektromagnetik, yaitu poros pada generator dipasang dengan material ferromagnetik permanen. Setelah itu di sekeliling poros terdapat stator yang bentuk fisinya adalah kumparan-kumparan kawat yang membentuk loop. Ketika poros generator mulai berputar maka akan terjadi perubahan fluks pada stator yang akhirnya karena terjadi perubahan fluks ini akan dihasilkan tegangan dan arus listrik tertentu. tegangan dan arus listrik yang dihasilkan ini disalurkan melalui kabl jaringan listrik untuk akhirnya digunakan oleh masyarakat. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator ini berupa AC (Alternating Current) yang memiliki bentuk gelombang kurang lebih sinusoidal. Energi listrik ini biasanya akan disimpan kedalam baterai sebelum dimanfaatkan.

- PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya)

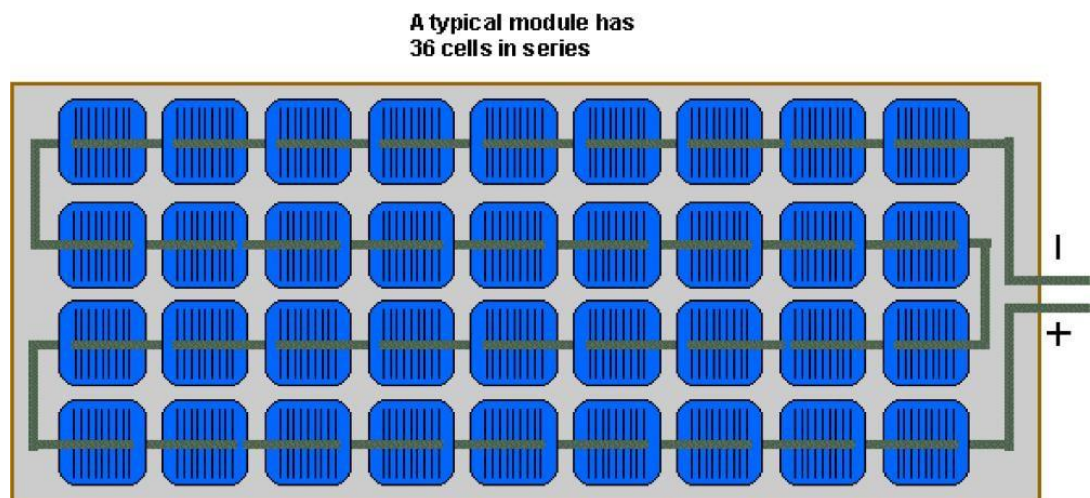
Sebuah teknologi pembangkit listrik yang mengkonversi energi foton dari surya menjadi energi listrik disebut Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Sel – sel fotovoltaik pada panel surya melakukan konversi dari energi foton menjadi energi listrik. Sel fotovoltaik merupakan lapisan tipis dari silikon (Si) murni atau bahan semikonduktor, sehingga apabila bahan tersebut mendapat energi foton akan mengeksitasi elektron dari ikatan atomnya menjadi elektron yang bergerak bebas, dan pada akhirnya akan mengeluarkan tegangan listrik arus searah (Buresh,1983). Prinsip sel surya (fotovoltaik) yaitu apabila dioda semikonduktor bekerja dalam proses tak seimbang dan berdasarkan efek fotovoltaik. Pada saat itu sel surya menghasilkan tegangan 0,5 – 1 Volt tergantung dari intensitas cahaya matahari dan jenis zat semikonduktor yang dipakai. Untuk intensitas energi yang ada dalam sinar matahari yang sampai ke permukaan bumi besarnya sekitar 1000 Watt. Tapi karena daya guna konversi energi radiasi menjadi energi listrik berdasarkan efek fotovoltaik baru mencapai 25%, sehingga produksi listrik maksimal yang dihasilkan sel surya baru mencapai 250 watt per m² .

Sel surya adalah seperangkat modul untuk mengkonversi tenaga matahari menjadi energi listrik. Photovoltaic adalah teknologi yang berfungsi untuk mengubah atau mengkonversi radiasi matahari menjadi energi listrik secara langsung. PV biasanya dikemas dalam sebuah unit yang disebut modul. Dalam sebuah modul surya terdiri dari banyak sel surya yang bisa disusun secara seri maupun paralel. Sedangkan yang dimaksud dengan surya adalah sebuah elemen semi konduktor yang dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik atas dasar efek photovoltaic. Sel surya mulai populer akhirakhir ini, selain mulai menipisnya cadangan energi fosil dan isu global warming. Energi yang dihasilkan juga sangat murah karena sumber energi (matahari) bisa didapatkan secara gratis. Modul surya tersusun dari beberapa lempeng sel surya yang dirangkai dalam hubungan seri dan paralel sehingga didapat daya keluaran sesuai yang diinginkan. Karena secara umum tegangan rangkaian terbuka tiap sel surya adalah sekitar 0,6 V maka untuk menghasilkan tegangan keluaran yang sesuai kebutuhan aplikasi maka sel surya dihubungkan seri yang umumnya terdiri dari 36 atau 72 lempeng untuk memenuhi sistem 12 V dan 24 V.



Gambar 2.8 Dari Sel Surya Menjadi Modul dan Rangkaian Modul (*Array*)

(Sumber: Perencanaan industry sel surya thin-film, 2011)



Gambar 2.9 Modul Surya Tersusun dari 36 Sel Terhubung Seri

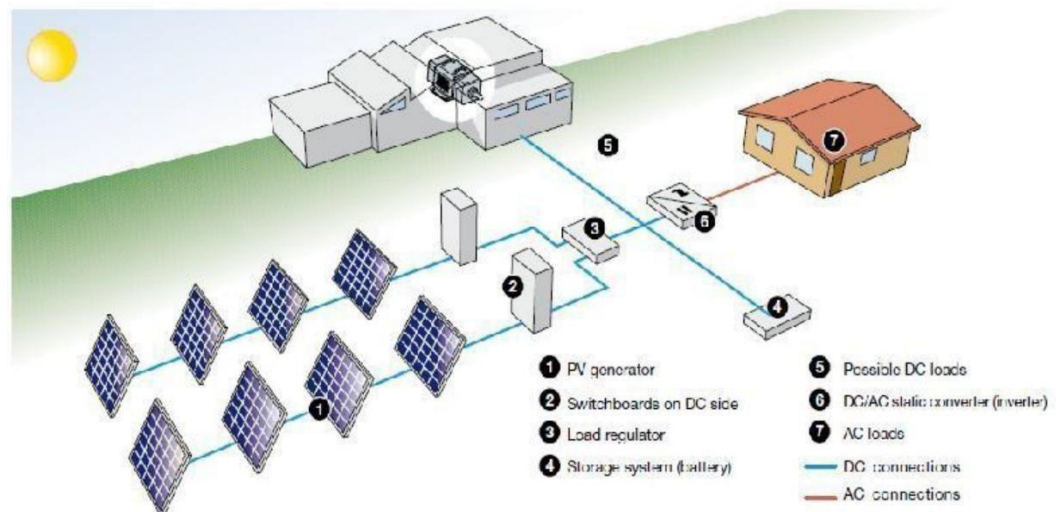
(Sumber: Perencanaan industry sel surya, 2011)

Berdasarkan teknologi yang digunakan PLTS dibagi menjadi dua sistem yaitu sistem PLTS grid-connected dan PLTS Off – Grid (Stand Alone). PLTS grid-connected atau PLTS

terinterkoneksi adalah sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan PLN. Manfaat dari PLTS gridconnected dapat menghasilkan listrik yang bebas emisi dan ramah lingkungan. Sistem ini memberikan nilai tambah pada konsumen karena dapat mengurangi tagihan listrik rumah tangga atau perkantoran. PLTS Off – Grid (Stand Alone) adalah jenis sistem PLTS yang dirancang untuk menghasilkan energi listrik secara mandiri dalam memenuhi kebutuhan beban listrik. PLTS Off – Grid biasanya terdapat pada daerah pedalaman atau pulau-pulau besar yang tidak mendapatkan pasokan listrik.

1. PLTS Off Grid

PLTS Off-Grid merupakan sistem PLTS yang tidak terhubung dengan jaringan. Sistem ini berdiri sendiri, sering disebut stand-alone system. Sistem ini biasanya merupakan sistem dengan pola pemasangan tersebar (distributed) dan dengan kapasitas pembangkitan skala kecil. Untuk sistem ini biasanya dilengkapi dengan sistem penyimpanan (storage) tenaga listrik dengan media penyimpanan baterai. Diharapkan baterai mampu menjamin ketersediaan pasokan listrik untuk beban listrik saat kondisi cuaca mendung dan kondisi malam hari. Berdasarkan aplikasinya sistem ini dibagi menjadi dua yaitu, PLTS Off-Grid Domestic dan PLTS Off-Grid Non-Domestic (IFC, 2012).



Gambar 2.10 Diagram Prinsip PLTS Stand Alone

(Sumber : Panduan Pengoperasian dan Pemeliharaan PLTS, 2017)

Sistem fotovoltaik atau pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) mengubah energi elektromagnetik dari sinar matahari menjadi energi listrik. Pembangkit listrik berbasis energi terbarukan ini merupakan salah satu solusi yang direkomendasikan untuk listrik di daerah pedesaan terpencil di mana sinar matahari melimpah dan bahan bakar sulit didapat dan relatif mahal. Alasan utama menggunakan teknologi fotovoltaik ini adalah sebagai berikut:

- a) Sumber energi yang melimpah dan tanpa biaya,
- b) Sumber energi tersedia di tempat dan tidak perlu diangkut,
- c) Biaya pengoperasian dan pemeliharaan sistem PLTS yang relatif kecil,
- d) Tidak perlu pemeliharaan yang sering dan dapat dilakukan oleh operator setempat yang terlatih,
- e) Ramah lingkungan, tidak ada emisi gas dan limbah cair atau padat yang berbahaya.



Gambar 2.11 Sistem PLTS Terpusat Off Grid dengan Larik (Array)
Fotovoltaik

(Sumber : Panduan Pengoperasian dan Pemeliharaan PLTS, 2017)

2. PLTS Off Grid Domestic

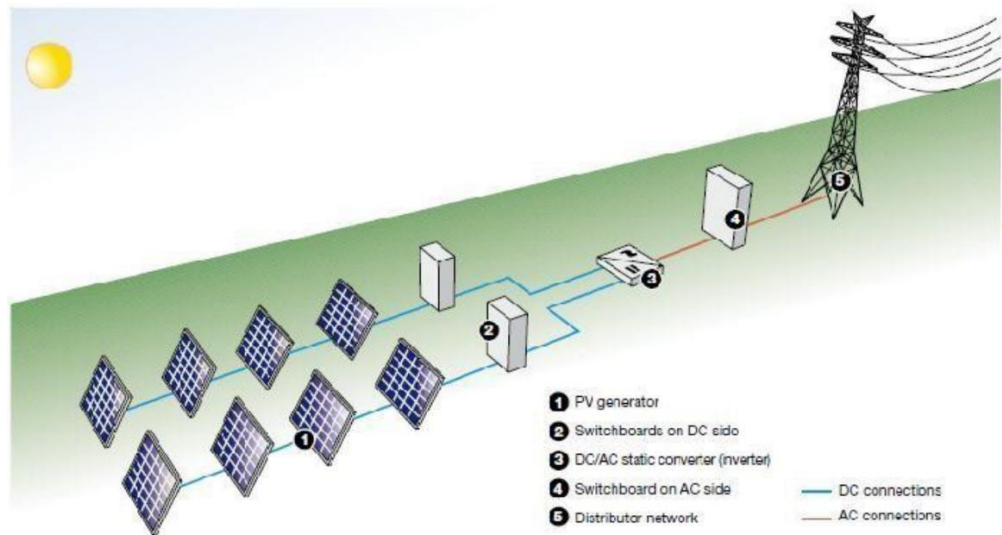
PLTS Off-Grid Domestic merupakan sistem PLTS yang menyediakan daya listrik pada rumah tangga dan pedesaan yang belum terhubung dengan jaringan listrik utilitas, dalam hal ini jaringan listrik PLN. Jenis beban listrik yang dicatu oleh PLTS ini diantaranya beban sistem penerangan dan beban listrik rumah tangga lainnya.

3. PLTS Off Grid Domestic

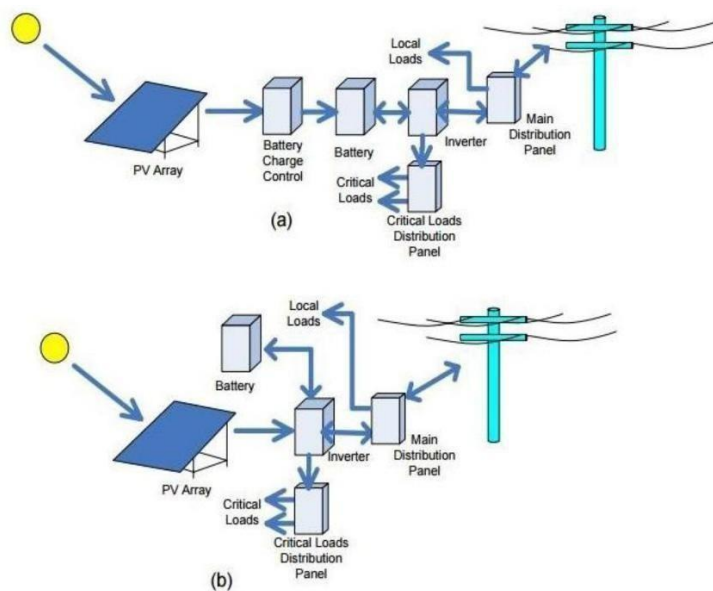
PLTS Off-Grid Non-Domestic merupakan sistem PLTS yang menyediakan daya listrik untuk batas keperluan atau kegunaan yang lebih luas seperti telekomunikasi, penerangan jalan, pompa air, radio repeater, stasiun transmisi untuk observasi gempa dan cuaca, sistem tanda lalu lintas, pelabuhan dan bandara, instalasi periklanan, alat bantu navigasi, dll.

4. PLTS On Grid (Grid Connected PV Plant)

PLTS On-Grid atau Grid-connected PV plant merupakan sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan. Berdasarkan pola operasi penyaluran tenaga listrik sistem ini dibagi menjadi dua yaitu, sistem penyimpanan (storage) atau disebut Grid-connected PV with a battery back up, menggunakan baterai sebagai cadangan dan penyimpanan tenaga listrik dan tanpa baterai atau disebut Gridconnected PV without a battery back up (Dadzie, 2008). Baterai pada PLTS On-grid berfungsi sebagai suplai tenaga listrik untuk beban listrik apabila jaringan atau grid mengalami kegagalan untuk periode tertentu dan sebagai suplai tenaga listrik ke jaringan listrik negara (PLN) apabila ada kelebihan daya listrik (excess power) yang dibangkitkan PLTS. Berdasarkan aplikasinya sistem ini dibagi menjadi dua yaitu, Grid-connected distributed PV dan Grid-connected centralized PV (IFC, 2012).



Gambar 2.12 Diagram Prinsip PLTS Grid Connected
(Sumber : Panduan Pengoperasian dan Pemeliharaan PLTS, 2017)



Gambar 2.13 Sistem PLTS grid Connected dengan penyimpanan (storage), (a) charge control dan inverter charge control terpisah (b) charge control terintegrasi.

(Sumber : Panduan Pengoperasian dan Pemeliharaan PLTS, 2017)

5. PLTS Hybrid

PLTS Hybrid merupakan jenis PLTS yang dalam pengoperasiannya digabungkan dengan jenis pembangkit listrik lain, dengan sumber energi berbeda (dua atau lebih). Dalam upaya menyediakan pasokan tenaga listrik ke suatu sistem, guna mendapatkan kehandalan sistem yang lebih baik, yang berkelanjutan atau kontinyu dan menggunakan manajemen operasi tertentu. Selain itu bertujuan agar dalam pengusahaan energi listrik lebih ekonomis. Contoh PLTS hibrid yaitu, PLTSgenset, PLTS-mikrohidro, PLTS-angin.



Gambar 2.14 Contoh PLTS hybrid, PLTS dengan PLTD

(Sumber : Panduan Pengoperasian dan Pemeliharaan PLTS, 2017)

2.1.1.2 Sistem Jaringan Transmisi Tenaga Listrik

Pada suatu sistem tenaga listrik, energi listrik yang dibangkitkan dari pembangkit listrik ditransmisikan ke pusat-pusat pengatur beban melalui suatu saluran transmisi, saluran transmisi tersebut dapat berupa saluran udara atau saluran bawah tanah, namun pada umumnya berupa saluran udara. Energi listrik yang disalurkan lewat saluran transmisi udara pada umumnya menggunakan kawat telanjang sehingga mengandalkan udara sebagai media isolasi antara kawat penghantar tersebut dengan benda sekelilingnya, dan untuk menyanggah/ merentang kawat penghantar dengan ketinggian dan jarak yang aman bagi manusia dan lingkungan sekitarnya, kawat-kawat penghantar tersebut dipasang pada suatu konstruksi bangunan yang kokoh, yang biasa disebut menara listrik, dikenal dengan SUTT atau SUTET.

Saluran Transmisi merupakan media yang digunakan untuk mentransmisikan tenaga listrik dari Generator Station/ Pembangkit Listrik sampai distribution station hingga sampai pada konsumen pengguna listrik. Tenaga listrik di transmisikan oleh suatu bahan konduktor yang mengalirkan tipe Saluran Transmisi Listrik. Pada sistem tenaga listrik, jarak antara pembangkit dengan beban yang cukup jauh akan menimbulkan adanya penurunan kualitas tegangan yang diakibatkan pada saluran yang mengalami drop tegangan. Dengan demikian sebuah saluran transmisi harus memiliki berbagai komponen untuk menjaga kestabilan kualitas listrik hingga sampai kepada konsumen.

- Sistem Penyaluran Tenaga Listrik

- A. **Pusat Pembangkit Listrik (*Power Plant*)** yaitu tempat energi listrik pertama kali dibangkitkan, dimana terdapat turbin sebagai penggerak mula (*Prime Mover*) dan generator yang membangkitkan listrik. Biasanya dipusat pembangkit listrik juga terdapat gardu induk. Jenis pusat pembangkit yang umum antara lain PLTA (pembangkit Listrik Tenaga Air), PLTU (Pusat Listrik Tenaga Uap), PLTG (Pusat Listrik Tenaga Gas), PLTN (Pusat Listrik Tenaga Nuklir).



Gambar 2.15 Pembangkit Tenaga Listrik

- B. Transmisi Tenaga Listrik Merupakan proses penyaluran tenaga listrik dari tempat pembangkit tenaga listrik (Power Plant) hingga Saluran distribusi listrik (substation distribution) sehingga dapat disalurkan sampai pada konsumen pengguna listrik. Sistem transmisi tegangan tinggi adalah sistem penyaluran listrik yang terdiri dari konduktor yang direntangkan antara tiang-tiang (tower) melalui isolator dengan sistem tegangan tinggi. Komponen utama dari fungsi struktur pada sistem transmisi adalah tiang (menara/tower). Tiang adalah konstruksi bangunan yang kokoh untuk menyangga atau merentang konduktor penghantar dengan ketinggian dan jarak yang aman bagi manusia dan lingkungan sekitarnya dengan sekat insulator.



Gambar 2.16 Tiang Jaringan Transmisi Tegangan Tinggi

- C. Sistem Distribusi Merupakan subsistem tersendiri yang terdiri dari : Pusat Pengatur (Distribution Control Center, DCC), saluran tegangan menengah ,saluran udara atau kabel tanah, gardu distribusi tegangan menengah yang terdiri dari panel-panel pengatur tegangan menengah dan trafo sampai dengan panel-panel distribusi tegangan rendah yang menghasilkan tegangan kerja/tegangan jala-jala untuk industri dan konsumen.



Gambar 2.17 Trafo Distribusi

- Jenis Saluran Transmisi

Berdasarkan kapasitas yang disalurkan, saluran transmisi dibagi menjadi 3 bagian, yaitu :

A. Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET)

Pada umumnya saluran transmisi di Indonesia digunakan pada pembangkit dengan kapasitas 275 Kv atau 500 kV.



Gambar 2.18 Tiang Jaringan SUTET

B. Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT)

Pada saluran transmisi ini memiliki tegangan operasi antara 30kV sampai 150kV.



Gambar 2.19 Tiang Jaringan SUTT

C. Saluran Kabel Tegangan Tinggi (SKTT)

Pada saluran transmisi ini memiliki tegangan operasi antara 30kV sampai 150kV. Berdasarkan letaknya, Kabel Tegangan tinggi dibedakan menjadi Kabel Tanah Tegangan Tinggi dan Kabel Laut Tegangan Tinggi.



Gambar 2.20 Saluran Kabel Laut Tegangan Tinggi

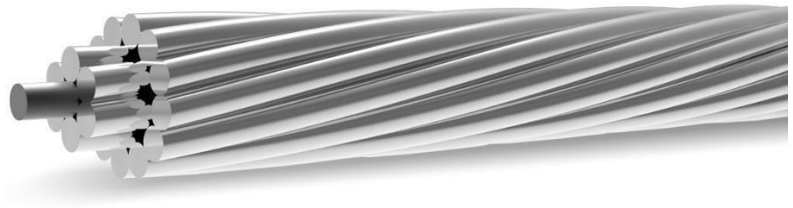
- Komponen Saluran Transmisi

A. Konduktor

Kawat dengan bahan konduktor untuk saluran transmisi tegangan tinggi selalu tanpa pelindung/isolasi kawat. Ini hanya kawat berbahan tembaga atau aluminium dengan inti baja (steel-reinforced aluminium cable/ACSR) telanjang besar yang terbentang untuk mengalirkan arus listrik. Untuk saluran transmisi tegangan tinggi, dimana jarak antara menara/tiang berjauhan, maka dibutuhkan kuat tarik yang lebih tinggi, oleh karena itu digunakan kawat penghantar ACSR. Kawat penghantar aluminium, terdiri dari berbagai jenis, dengan lambang sebagai berikut :

- i. AAC (All-Aluminium Conductor), yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari aluminium.
- ii. AAAC (All-Aluminium-Alloy Conductor), yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran aluminium.

- iii. ACSR (Alumunium Conductor, Steel-Reinforced), yaitu kawat penghantar alumunium berinti kawat baja.
- iv. ACAR (Alumunium Conductor, Alloy-Reinforced), yaitu kawat penghantar alumunium yang diperkuat dengan logam campuran.



Gambar 2.21 Kawat Penghantar ACSR

B. Isolator

Isolator pada sistem transmisi tenaga listrik disini berfungsi untuk menahan bagian konduktor terhadap ground. Isolator disini bisanya terbuat dari bahan porseline, tetapi bahan gelas dan bahan isolasi sintetik juga sering digunakan disini. Bahan isolator harus memiliki resistansi yang tinggi untuk melindungi kebocoran arus dan memiliki ketebalan yang secukupnya (sesuai standar) untuk mencegah breakdown pada tekanan listrik tegangan tinggi sebagai pertahanan fungsi isolasi tersebut. Kondisi nya harus kuat terhadap guncangan apapun dan beban konduktor. Jenis isolator yang sering digunakan pada saluran transmisi adalah jenis porselin atau gelas. Menurut penggunaan dan konstruksinya, isolator diklasifikasikan menjadi :

- a. Isolator Jenis Pasak
- b. Isolator Jenis Pos – Saluran
- c. Isolator Jenis Gantung



Gambar 2.22 Isolator Gantung Porselin

- Konstruksi Saluran Tiang Penyangga

Saluran transmisi dapat berupa saluran udara dan saluran bawah tanah, namun pada umumnya berupa saluran udara. Energi listrik yang disalurkan lewat saluran transmisi udara pada umumnya menggunakan kawat telanjang sehingga mengandalkan udara sebagai media isolasi antar kawat penghantar. Dan untuk menyanggah/merentangkan kawat penghantar dengan ketinggian dan jarak yang aman bagi manusia dan lingkungan sekitarnya, kawat-kawat penghantar tersebut dipasang pada suatu konstruksi bangunan yang kokoh, yang biasa disebut menara/tower. Antar menara/tower listrik dan kawat penghantar disekat oleh isolator. Infrastruktur adalah sarana yang digunakan saluran transmisi sebagai media penyaluran. Secara umum, ada dua jenis penyaluran yaitu :

- a. Tiang Penyangga Saluran transmisi dapat berupa saluran udara dan saluran bawah tanah, namun pada umumnya berupa saluran udara. Energi listrik yang disalurkan lewat saluran transmisi udara pada umumnya menggunakan kawat telanjang dan untuk menyanggah/merentangkan kawat penghantar dengan

ketinggian dan jarak yang aman bagi manusia dan lingkungan sekitarnya, kawat-kawat penghantar tersebut dipasang pada suatu konstruksi bangunan yang kokoh, yang biasa disebut menara/tower. Antar menara/tower listrik dan kawat penghantar disekat oleh isolator.

- b. Saluran Kabel bawah laut, ini merupakan saluran listrik yang melewati medium bawah air (laut) karena transmisi antar pulau yang jaraknya dipisahkan oleh lautan.



Gambar 2.23 Kabel Bawah Tanah

- Gardu Induk

Gardu induk adalah suatu instalasi yang terdiri dari peralatan listrik tegangan tinggi yang berfungsi untuk mentransfer tenaga listrik dari tegangan yang berbeda, pengukuran, pengawasan, pengamanan sistem tenaga listrik serta pengaturan daya. Gardu Induk (GI) PLN adalah instalasi vital dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi sebagai stasiun transit untuk mengubah, mengatur, dan mendistribusikan energi listrik dari pembangkit ke konsumen. GI menaikkan/menurunkan tegangan (kV) untuk efisiensi transmisi, menjaga keandalan pasokan, dan memastikan kestabilan mutu tegangan.

2.1.1.3 Sistem Jaringan Distribusi

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. Jadi fungsi distribusi tenaga listrik adalah sebagai penyalur tenaga listrik ke beberapa tempat (pelanggan) dan sebagai sub sistem tenaga listrik yang langsung berhubungan dengan pelanggan, karena catu daya pada pusat- pusat beban (pelanggan) dilayani langsung melalui jaringan distribusi.

Dari saluran transmisi, tegangan diturunkan 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 380/220Volt. Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke konsumen- konsumen. Dengan ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan. Sistem distribusi tenaga listrik dibedakan menjadi dua yaitu sistem distribusi primer dan sistem distribusi sekunder. Jaringan distribusi 20kV sering disebut sistem distribusi tegangan menengah (primer) dan jaringan distribusi 380/220V sering disebut jaringan distribusi sekunder atau disebut jaringan tegangan rendah.

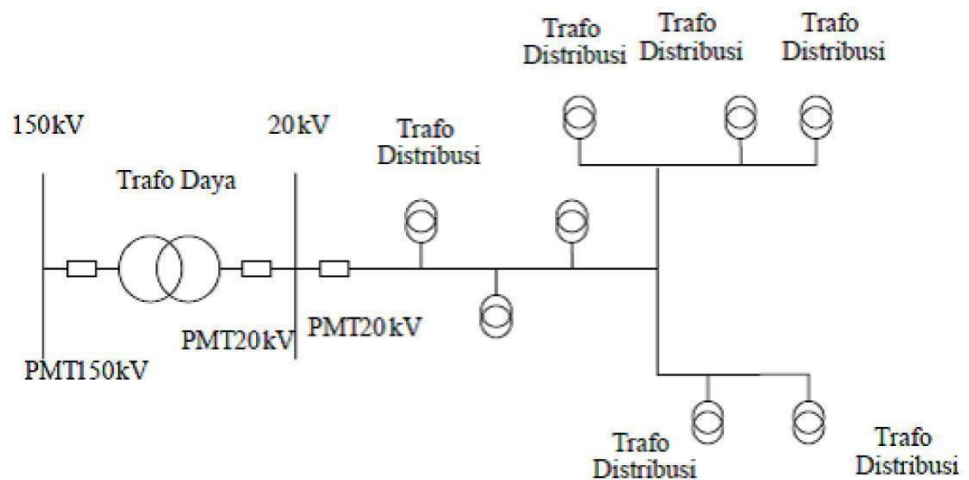
2.1.1.3.1 Jaringan Distribusi Tegangan Menengah (Primer)

Jaringan distribusi primer adalah jaringan distribusi yang berasal dari jaringan transmisi yang diturunkan tegangannya di Gardu Induk (GI) menjadi Tegangan Menengah (TM) dengan nominal tegangan 20 kV yang biasa disebut JTM (Jaringan Tegangan Menengah) lalu disalurkan ke lokasi-lokasi pelanggan listrik kemudian diturunkan tegangannya di trafo pada gardu distribusi untuk disalurkan ke pelanggan. Sistem distribusi primer digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk distribusi ke pusat beban. Sistem ini dapat menggunakan saluran udara, kabel udara, maupun kabel tanah sesuai dengan tingkat keandalan yang diinginkan dan kondisi serta situasi lingkungan. Saluran distribusi ini direntangkan sepanjang daerah yang akan disuplay tenaga listrik sampai ke pusat beban. Terdapat bermacam-macam bentuk

rangkaian jaringan distribusi primer. Berikut adalah beberapa klasifikasi jaringan distribusi primer berdasarkan strukturnya.

1. Jaringan Tipe Radial

Sistem distribusi dengan pola radial adalah sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis. Dinamakan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu, dan dicabang-cabang ke titik-titik beban yang dilayani. Jika terjadi gangguan pada jaringan radial maka akan terjadi black - out atau pemadaman pada seluruh jaringan. Untuk melokalisir gangguan, pada bentuk radial ini biasanya diperlengkapi dengan peralatan pengaman berupa fuse, sectionaliser, recloser, atau alat pemutus beban lainnya, tetapi fungsinya hanya membatasi daerah yang mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah/dibelakang titik gangguan, selama gangguan belum teratasi.



Gambar 2.24 Konfigurasi Jaringan Radial

2. Jaringan Tipe Loop

Bila pada titik beban terdapat dua alternatif saluran yang berasal lebih dari satu sumber maka akan terbentuk jaringan yang tertutup disebut juga bentuk jaringan loop. Susunan rangkaian penyulang membentuk ring, yang memungkinkan titik beban dilayani dari dua arah penyulang, sehingga kontinuitas pelayanan lebih

terjamin, serta kualitas dayanya menjadi lebih baik, karena rugi tegangan dan rugi daya pada saluran menjadi lebih kecil. Bentuk loop ada dua macam, yaitu :

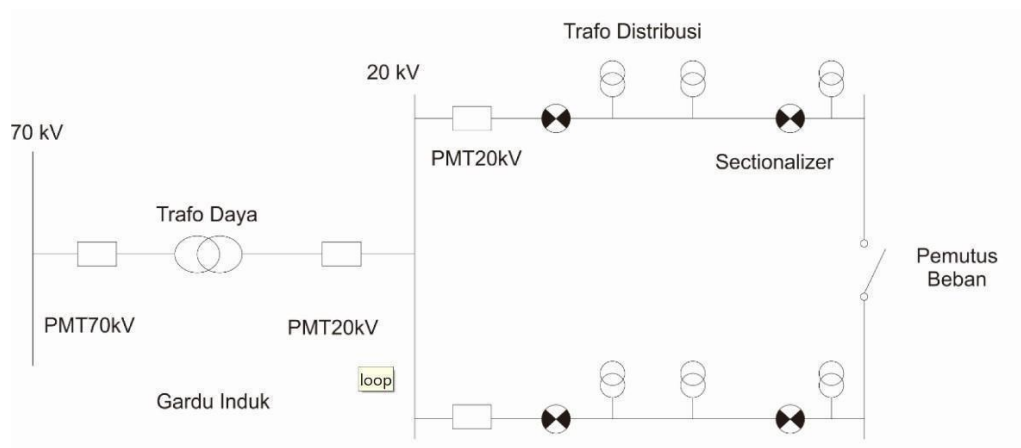
a. Bentuk *Open Loop*

Apabila dilengkapi dengan *normally – open switch*, dalam keadaan normal rangkaian selalu terbuka.

b. Bentuk *Close Loop*

Apabila dilengkapi dengan *normally – close switch*, dalam keadaan normal rangkaian selalu tertutup.

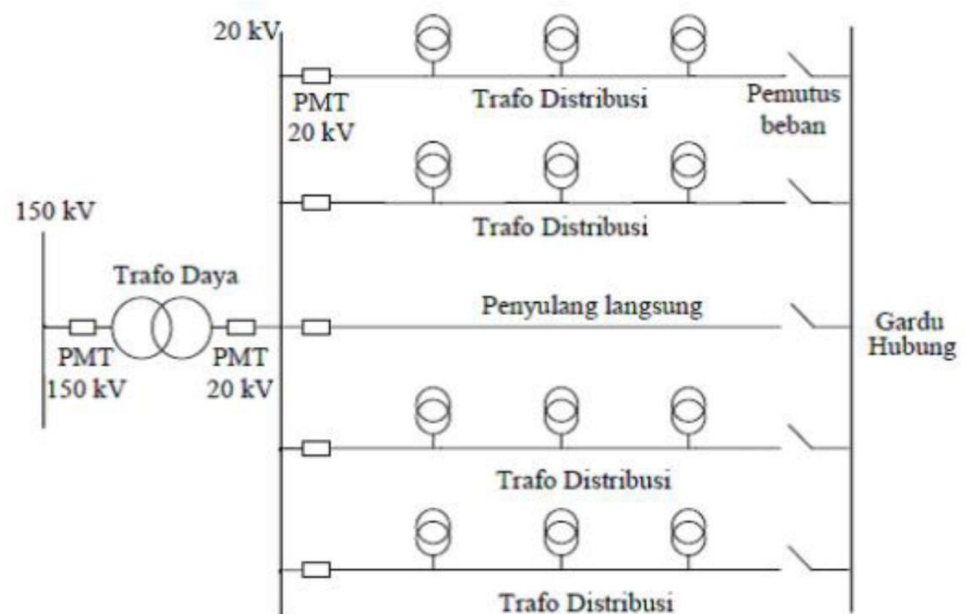
Struktur jaringan ini merupakan gabungan dari dua buah struktur jaringan radial, dimana pada ujung dari dua buah jaringan dipasang sebuah pemutus (PMT), pemisah (PMS). Pada saat terjadi gangguan, setelah gangguan dapat diisolir, maka pemutus atau pemisah ditutup sehingga aliran daya listrik ke bagian yang tidak terkena gangguan tidak terhenti. Pada umumnya penghantar dari struktur ini mempunyai struktur yang sama, ukuran konduktor tersebut dipilih sehingga dapat menyalurkan seluruh daya listrik beban struktur loop, yang merupakan jumlah daya listrik beban dari kedua struktur radial. Jaringan distribusi loop mempunyai kualitas dan kontinuitas pelayanan daya yang lebih baik, tetapi biaya investasi lebih mahal dan cocok digunakan pada daerah yang padat dan memerlukan keandalan tinggi.



Gambar 2.25 Konfigurasi Jaringan Tipe Loop

3. Jaringan Tipe Spindel

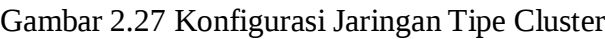
Selain bentuk-bentuk dasar dari jaringan distribusi yang telah ada, maka dikembangkan pula bentuk-bentuk modifikasi yang bertujuan meningkatkan keandalan dan kualitas sistem. Salah satu bentuk modifikasi yang populer adalah bentuk spindle, yang biasanya terdiri atas maksimum 6 penyulang dalam keadaan dibebani, dan satu penyulang dalam keadaan kerja tanpa beban. Saluran 6 penyulang yang beroperasi dalam keadaan berbeban dinamakan *working feeder* atau saluran kerja, dan satu saluran yang dioperasikan tanpa beban dinamakan *express feeder*. Fungsi *express feeder* dalam hal ini sebagai cadangan pada saat terjadi gangguan pada salah satu *working feeder*. Dalam keadaan normal *express-feeder* ini dioperasikan tanpa beban.



Gambar 2.26 Konfigurasi Jaringan Tipe Spindel

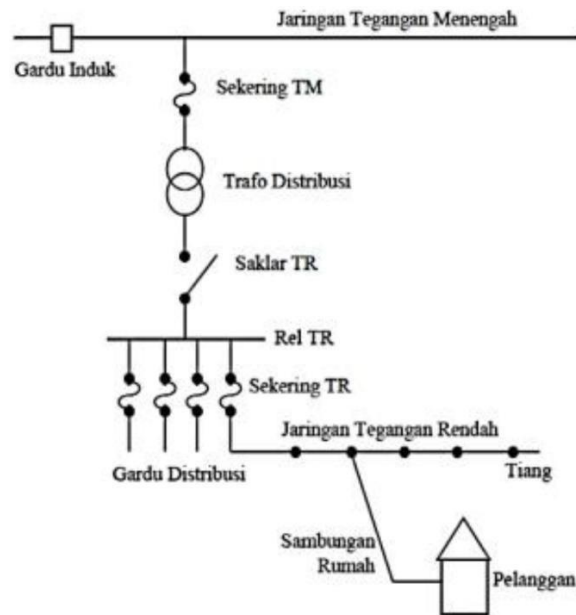
4. Jaringan Tipe Gugus (Cluster)

Jaringan distribusi dengan tipe gugus adalah perkembangan dari jaringan primer sistem spindle karena pada jaringan ini memiliki jaringan cadangan. Perbedaan antara jaringan spindle dan gugus adalah pada jaringan dengan tipe gugus tidak



Jaringan distribusi sekunder adalah jaringan distribusi dari gardu distribusi untuk di salurkan ke pelanggan dengan klasifikasi tegangan rendah yaitu 220 V atau 380 V (antar fasa). Pelanggan yang memakai tegangan rendah ini adalah pelanggan paling banyak karena daya yang dipakai tidak terlalu banyak. Jaringan dari gardu distribusi dikenal dengan JTR (Jaringan Tegangan Rendah), lalu dari JTR dibagi-bagi untuk ke rumah pelanggan, saluran yang masuk dari JTR ke rumah pelanggan disebut Sambungan Rumah (SR). Pelanggan tegangan ini banyaknya menggunakan listrik satu fasa, walau ada beberapa memakai listrik tiga fasa. Konsumen rumah tangga maupun komersial biasanya terhubung dengan jaringan distribusi sekunder melalui sambungan rumah listrik.

Konsumen yang membutuhkan tegangan yang lebih tinggi dapat mengajukan permohonan untuk langsung terhubung dengan jaringan distribusi primer, atau ke level subtransmisi.



Gambar 2.28 Diagram Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan Tegangan Rendah (JTR) berfungsi untuk menyalurkan sisi tegangan rendah transformator distribusi ke konsumen menggunakan jaringan hantaran udara 3 fasa 4 kawat dengan tegangan distribusi sekunder 220 volt (tegangan fasa-netral) atau 380 volt tegangan fasa-fasa). Jaringan Tegangan Rendah ialah jaringan tenaga listrik dengan tegangan rendah yang mencakup seluruh bagian jaringan tersebut beserta perlengkapannya. dari sumber penyaluran tegangan rendah tidak termasuk SLTR. Sedangkan Sambungan tenaga listrik tegangan rendah (SLTR) ialah penghantar di bawah atau di atas tanah termasuk peralatannnya mulai dari titik penyambungan pada JTR sampai dengan alat pembatas dan pengukur (App).

Sistem penyaluran daya listrik pada JTR dapat dibedakan menjadi dua yaitu sebagai berikut:

1. Saluran Udara Tegangan Rendah (SUTR)

Jenis penghantar yang dipakai adalah kabel telanjang (tanpa isolasi) seperti kabel AAAC, kabel ACSR.

2. Saluran Kabel Udara Tegangan Rendah (SKUTR)

Jenis penghantar yang dipakai adalah kabel berisolasi seperti kabel LVTC (Low Voltage Twisted Cable), ukuran kabel LVTC adalah : 2 x 10mm² , 2 x 16mm² , 4 x 25mm² , 3 x 35mm² , 3 x 50mm² , 3 x 70mm² .

Menurut SPLN No.3 Tahun 1987, jaringan tegangan rendah adalah jaringan tegangan rendah yang mencakup seluruh bagian jaringan beserta perlengkapannya, dari sumber penyaluran tegangan rendah sampai dengan alat pembatas/pengukur. Sedangkan STR (Saluran Tegangan Rendah) ialah bagian JTR tidak termasuk sambungan pelayanan (bagian yang menghubungkan STR dengan alat pembatas/pengukur). Sistem ini biasanya disebut sistem tegangan rendah yang langsung akan dihubungkan kepada konsumen/pemakai tenaga listrik dengan melalui peralatan - peralatan sebagai berikut:

- a. Papan pembagi pada trafo distribusi (PHBTR)
- b. Hantaran tegangan rendah (saluran distribusi sekunder)
- c. Saluran Layanan Pelanggan (SLP) (ke konsumen/pemakai)
- d. Alat Pembatas dan pengukur daya (kWH. meter) serta fuse atau pengaman pada pelanggan.

2.1.1.3.3 Gardu Distribusi

Pengertian umum Gardu Distribusi tenaga listrik yang paling dikenal adalah suatu bangunan gardu listrik berisi atau terdiri dari instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Transformator Distribusi (TD) dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik bagi para pelanggan baik dengan Tegangan Menengah (TM 20 kV) maupun Tegangan Rendah (TR 220/380V). Konstruksi Gardu distribusi dirancang berdasarkan optimalisasi biaya terhadap maksud dan tujuan penggunaannya. Secara garis besar gardu distribusi dibedakan atas :

- A. Jenis Pemasangannya :

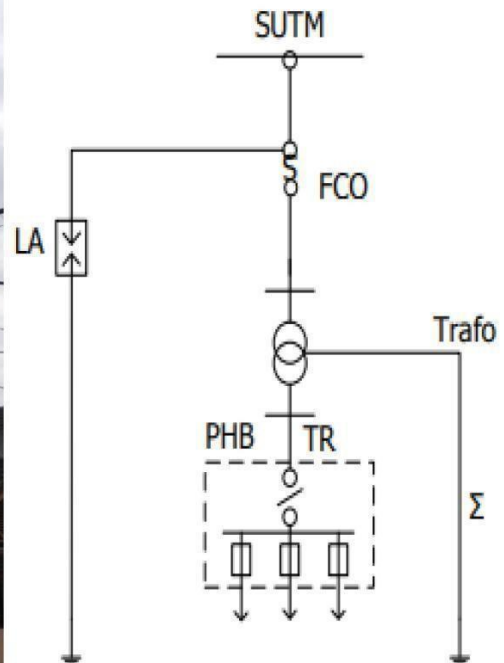
- Gardu pasangan luar : Gardu Portal, Gardu Cantol
- Gardu pasangan dalam : Gardu Beton, Gardu Kios

B. Jenis Konstruksinya :

- Gardu Beton
- Gardu Tiang : Gardu Portal dan Gardu Cantol
- Gardu Kios

1. Gardu Portal

Umumnya konfigurasi Gardu Tiang yang dicatu dari SUTM adalah *T section* dengan peralatan pengaman Pengaman Lebur *Cut-Out* (FCO) sebagai pengaman hubung singkat transformator dengan elemen pelebur (*pengaman lebur link type expulsion*) dan *Lightning Arrester* (LA) sebagai sarana pencegah naiknya tegangan pada transformator akibat surja petir. Gardu portal memiliki konstruksi seperti portal yaitu gardu distribusi diletakkan diantara 2 tiang.



Gambar 2.29 Gardu Portal dan Diagram satu garis Gardu Distribusi

2. Gardu Cantol

Pada Gardu Distribusi tipe cantol, transformator yang terpasang biasanya adalah transformator dengan daya ≤ 100 kVA Fase 3 atau Fase 1. Transformator terpasang adalah jenis CSP (*Completely Self Protected Transformer*) yaitu peralatan switching dan proteksinya sudah terpasang lengkap dalam tangki transformator. Perlengkapan perlindungan transformator tambahan adalah lightning arrester. Pada transformator tipe CSP fasa 1, penghantar pembumian arrester dihubungkan langsung dengan badan transformator. Konstruksi pembumian sama dengan gardu portal. Perlengkapan hubung bagi Tegangan Rendah maksimum 2 jurusan dengan saklar pemisah pada sisi masuk dan pengaman lebur (type NH, NT) sebagai pengaman jurusan. Semua bagian konduktif terbuka dihubungkan dengan pembumian sisi Tegangan Rendah. Nilai pengenal LA 5 kA untuk posisi di tengah jaringan dan 10 kA untuk posisi pada akhir jaringan. Nilai tahanan pembumian tidak melebihi 1 Ohm. Gardu cantol memiliki konstruksi trafo yang dicantolkan pada satu tiang.



Gambar 2.30 Gardu Cantol

3. Gardu Beton

Seluruh komponen utama instalasi yaitu transformator dan peralatan switching/proteksi, terangkai didalam bangunan sipil yang dirancang, dibangun dan difungsikan dengan konstruksi pasangan batu dan beton (*masonrywall building*). Konstruksi ini dimaksudkan untuk pemenuhan persyaratan terbaik bagi keselamatan ketenagalistrikan.



Gambar 2.31 Gardu Beton

4. Gardu Kios

Gardu tipe ini adalah bangunan *prefabricated* terbuat dari konstruksi baja, fiberglass atau kombinasinya, yang dapat dirangkai di lokasi rencana pembangunan gardu distribusi. Terdapat beberapa jenis konstruksi, yaitu Kios Kompak, Kios Modular dan Kios Bertingkat. Gardu ini dibangun pada tempat-tempat yang tidak diperbolehkan membangun Gardu Beton. Karena sifat mobilitasnya, maka kapasitas transformator distribusi yang terpasang terbatas. Kapasitas maksimum adalah 400 kVA, dengan 4 jurusan tegangan rendah. Khusus untuk kios kompak, seluruh instalasi komponen utama gardu sudah dirangkai selengkapny di pabrik, sehingga dapat langsung di angkut kelokasi dan disambungkan pada sistem distribusi yang sudah ada untuk difungsikan sesuai tujuannya.

2.1.2 Drop Tegangan

Drop tegangan adalah suatu kondisi dimana berkurangnya tegangan listrik dari sisi sumber menuju sisi beban akibat adanya hambatan dan reaktansi pada penghantar. Dalam sistem distribusi tenaga listrik, arus yang mengalir melalui konduktor akan menimbulkan rugi-rugi tegangan, sehingga semakin jauh jarak pelanggan dari sumber listrik, semakin besar pula risiko terjadinya drop tegangan.

Jaringan tegangan rendah merupakan jaringan distribusi dengan tegangan 220 / 380 V yang berawal dari trafo distribusi dan melewati kabel JTR hingga akhir nya sampai ke APP pelanggan, maka penurunan atau kenaikan tegangan sangat mempengaruhi peralatan-peralatan elektronik milik pelanggan karena dapat menimbulkan panas berlebihan bahkan sampai merusak peralatan elektronik tersebut. Maka kestabilan tegangan yang disuplai oleh sistem tenaga listrik sampai diterima pelanggan harus dijaga keandalannya. Sesuai SPLN No.1:1995, bahwa kenaikan tegangan yang diizinkan adalah + 5% dan drop tegangan yang dapat ditoleransi adalah sebesar - 10%. Artinya kalau tegangan standar 220 volt, kenaikan tegangan yang diizinkan sebesar 11 volt. Maka $(220 + 5\%) = 231$ Volt dan penurunan tegangan yang diizinkan sebesar 22 volt. Sehingga menjadi $(220 - 10\%) = 198$ volt. Menurut SPLN No.1:1995 juga dijelaskan bahwa rugi tegangan maksimum yang diperkenankan sepanjang penghantar sambungan tenaga listrik tegangan rendah adalah 2 % diperhitungkan dari titik penyambungannya pada JTR.

2.1.2.1. Penyebab tegangan drop

Berikut adalah beberapa penyebab tegangan drop :

a. Kabel Penghantar Terlalu Panjang

Menurut SPLN 56- 1:1993, Jarak antara tarikan pada Kabel Sambungan Rumah (SR) tidak melebihi 30 meter baik dari rumah ke rumah maupun dari rumah ke tiang listrik JTR. Semakin panjang kabel penghantar yang digunakan maka semakin besar losses tegangan yang terjadi.



Gambar 2.32 Kabel Penghantar Panjang

b. Sambungan Kabel Yang Tidak Bagus

Sambungan Kabel yang tidak bagus juga dapat mengakibatkan adanya *loss contact*, sambungan antar kawat tidak rapat sehingga terdapat celah udara yang seharusnya kedap udara dapat menyebabkan padam di sisi pelanggan. Maka dari itu penyambungan kabel JTR maupun kabel SR harus menggunakan konektor press (CCO) yang sesuai dengan luas penampang kabel yang disambung, tidak boleh terlalu besar atau kecil.



Gambar 2.33 Sambungan Kabel Saluran Rumah

c. Saluran Kabel SR Terlalu Banyak

Sambungan rumah adalah titik sambung dari jaringan tegangan rendah hingga sampai APP di sisi pelanggan. Terlalu banyak percabangan saluran SR (tarikan SR) untuk sambungan luar pelanggan (SLP) juga dapat menyebabkan tegangan drop karena semakin panjang kabel dan banyaknya sambungan rumah ke rumah. Hal ini juga mempengaruhi pembebanan trafo distribusi yang mengakibatkan pembebanan antar phasa menjadi tidak seimbang. Menurut SPLN 56- 1:1993 jumlah tarikan SR yang diperbolehkan adalah 4 pelanggan dengan tetap memperhatikan keseimbangan fasa.



Gambar 2.34 Tarikan SR Rentet.

d. Luas Penampang Kabel Penghantar Terlalu Kecil

Semakin besar penampangnya maka drop voltage yang terjadi akan semakin kecil, begitu juga sebaliknya karena

2.2 Penelitian Yang Relevan

1. Berdasarkan Penelitian dari Jurnal (Denny Rusmansyah, Ibnu Hajar, Nurmiati Pasra) dalam Jurnal Ilmiah SUTET yang berjudul **“ANALISIS VOLTAGE DROP PADA JARINGAN TEGANGAN RENDAH DENGAN METODE PECAH BEBAN PADA GARDU KH 007 DI PT PLN (PERSERO) UP3 PAMEKASAN”** menjelaskan bahwa Jatuh tegangan sendiri pada jaringan tegangan rendah atau JTR disebabkan oleh beberapa kondisi, contohnya seperti sambungan antara kabel SR (Sambungan Rumah) dan kabel JTR nya tidak sempurna, jauhnya jarak antara gardu distribusi dengan rumah pelanggan yang disupplay, beban beban yang tinggi pada suatu jaringan, dan juga luas penampang penghantarnya yang terlalu kecil. Berdasarkan SPLN No.1 tahun 1978, tegangan pelayanan memiliki nilai maksimum yaitu diangka 5% atau 231 Volt dan minimum 10% atau 198 Volt dari tegangan nominal jaringan tegangan rendah yaitu 220V. Jatuh tegangan sendiri bisa disebabkan oleh beberapa faktor dan dari hasil analisa pada gardu distribusi KH 007 penyebab utamanya yaitu ada 2, jaraknya yang terlalu jauh yakni 643 m dan juga beban beban tinggi yang ada didaerah tersebut. Karena itu sangat penting dilakukan adanya pecah beban agar tegangan yang disalurkan ke setiap rumah warga bisa menjadi tegangan yang lebih baik yaitu tegangan 220V.
2. Berdasarkan penelitian dari Skripsi Kevin Gilland Haezer (2021), dalam skripsinya yang berjudul **“PERBAIKAN DROP VOLTAGE PADA RUMAH PELANGGAN YANG DI SUPLAI TRAF0 SL 278 DENGAN METODE PERGANTIAN KABEL SR DENGAN JTR”** menjelaskan bahwa Drop Voltage (Jatuh Tegangan) di jaringan tegangan rendah disebabkan oleh berbagai macam hal, seperti sambungan antara kabel Sr dan kabel JTR yang kurang sempurna,beban yang tinggi pada suatu jaringan, jauhnya jarak antara rumah pelanggan dengan gardu distribusi atau trafo, dan luas penampang penghantar yang terlalu kecil. Berdasarkan SPLN No. 1 Tahun 1978, tegangan pelayanan adalah maksimum 5% atau 231 Volt dan minimum 10% atau 198 Volt dan tegangan normal jaringan tegangan rendah adalah 220 Volt (Spln 1-1978 tegangan standar

TR). Berdasarkan analisa yang dilakukan, ternyata drop tegangan yang terjadi pada pelanggan diakibatkan oleh jarak lokasi tersebut berada jauh dari gardu distribusi, yaitu 500 meter dengan kabel SR. Oleh karena itu perlu dilakukan pergantian kabel SR yang berderet menjadi kabel JTR. Hal ini dilakukan karena semakin besar arus yang dibutuhkan maka semakin besar juga diameter kabel penghantar yang diperlukan. Oleh karena itu, pergantian kabel SR perlu dilakukan agar tegangan pada rumah pelanggan menghasilkan nilai tegangan sesuai dengan standar yang telah ditetapkan PT.PLN yaitu 220 V.

3. Berdasarkan penelitian dari Jurnal (Suganda, Iriandi Ilyas, Sugianto, Hendra Yulianto) dalam Jurnal Penelitian dan Pengkajian Sains dan Teknologi yang berjudul **“ANALISIS TEGANGAN DROP JARINGAN TEGANGAN RENDAH DENGAN METODE PEMBAGIAN BEBAN”** menjelaskan bahwa tegangan drop yang terjadi dapat disebabkan oleh beberapa faktor antara lain jarak lokasi pelanggan yang terlalu jauh dari gardu distribusi dan tingginya beban pemakaian pelanggan pada lokasi tersebut. Karena itu perlu dilakukan adanya pecah beban agar tegangan yang disalurkan ke setiap rumah warga bisa menjadi tegangan yang lebih baik.