

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

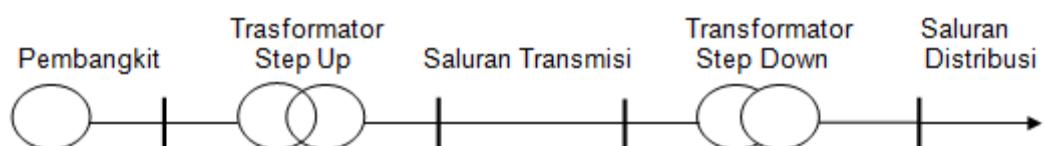
#### **2.1. Tinjauan Pustaka**

Menurut Stevenson[1], Sistem tenaga listrik adalah suatu Sistem yang berfungsi untuk membangkitkan, mentransmisikan, dan mendistribusikan energi listrik dari pusat pembangkit ke konsumen. Komponen utama dari Sistem tenaga listrik adalah pembangkit, transmisi, dan distribusi. Pembangkit adalah tempat mengkonversikan energi primer menjadi energi listrik. Energi primer ini dapat berupa uap, air, gas, diesel, angin, gas, matahari ataupun sumber-sumber lainnya. Untuk mempresentasikan suatu saluran transmisi kedalam bentuk rangkaian simulasinya, tergantung pada panjang dari saluran transmisi serta ketelitian yang diinginkan. Menurut panjangnya, saluran transmisi dapat digolongkan menjadi 3, yaitu:

- a) Saluran transmisi pendek (*short line*), merupakan saluran transmisi yang panjangnya kurang dari 80 km (50 mil).
- b) Saluran transmisi menengah (*medium line*), merupakan saluran transmisi yang panjangnya antara 80 km dan 250 km ( 50 mil sampai 150 mil).
- c) Saluran transmisi panjang (*long line*), merupakan saluran transmisi yang panjangnya lebih dari 250 km (lebih dari 150 mil).

Pembangkit umumnya menghasilkan tenaga listrik dengan tegangan antara 6-20 kV yang kemudian, dengan bantuan transformator menaikkan tegangan (Step Up), tegangan tersebut dinaikkan menjadi 150-500 kV. Hal ini bertujuan untuk mengurangi rugi-rugi yang dapat terjadi selama proses transmisi tenaga listrik. Beberapa Sistem tenaga menurunkan level tegangan, dengan bantuan transformator penurun tegangan (*step down*), menjadi tegangan subtransmisi sebesar 70 kV. Penurunan tegangan bertujuan untuk mengurangi resiko yang dapat ditimbulkan oleh tegangan yang terlalu tinggi ketika saluran transmisi sudah mendekati pemukiman penduduk. Tegangan ini kemudian akan diturunkan lagi menjadi level tegangan distribusi primer sebesar 20 kV, yang kemudian akan disalurkan ke konsumen-konsumen besar. Setelah

energi listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer, maka tegangannya akan diturunkan dalam gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah dengan besar tegangan 380/220 volt. Proses penyaluran energi listrik melalui pusat pembangkit sampai kepada konsumen dapat digambarkan dalam diagram satu garis seperti terlihat pada gambar 2.1 dibawah :



Gambar 2.1 Diagram satu Garis Sistem Tenaga Listrik

## 2.2. Landasan teori

### 2.2.1. Sistem Tenaga Listrik

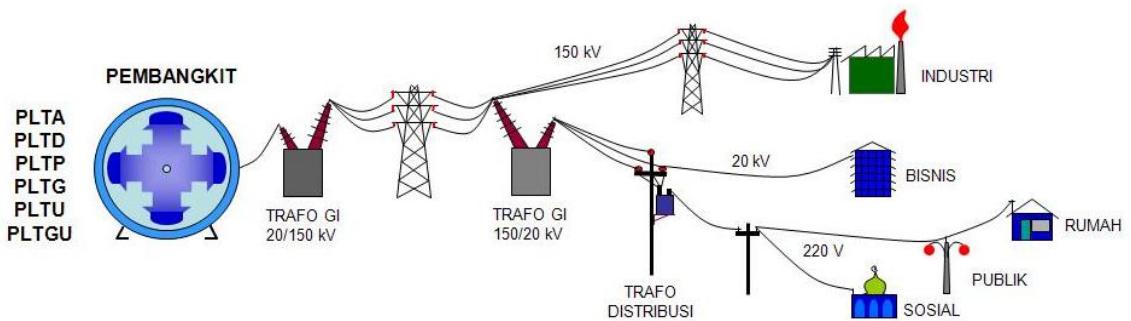
Karena berbagai persoalan teknis, tenaga listrik hanya dibangkitkan pada tempat-tempat tertentu. Sedangkan pemakai tenaga listrik atau pelanggan tenaga listrik tersebar diberbagai tempat, maka penyampaian tenaga listrik dari tempat dibangkitkan sampai ketempat pelanggan memerlukan berbagai penanganan teknis.

Tenaga listrik dibangkitkan dalam pusat-pusat listrik seperti PLTA, PLTU, PLTG, PLTP dan PLTD kemudian disalurkan melalui saluran transmisi setelah terlebih dahulu dinaikkan tegangannya oleh transformator penaik tegangan (step up transformator) yang ada di pusat listrik. Hal ini digambarkan oleh gambar 2.2. saluran transmisi tegangan tinggi di PLN kebanyakan mempunyai tegangan 66 kV, 150 kV, 275 kV dan 500 kV. Saluran transmisi ada yang berupa saluran udara dan ada pula yang berupa kabel tanah.

Setelah tenaga listrik disalurkan melalui saluran transmisi maka sampailah tenaga listrik ke gardu induk (GI) untuk diturunkan tegangannya melalui transformator 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 setelah keluar biasa disebut jaringan distribusi, sedangkan jaringan antara pusat listrik dengan GI biasa disebut jaringan transmisi, setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer maka kemudian tenaga listrik diturunkan tegangannya dalam gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah



Gambar 2.2 Bagan penyampaian tenaga listrik hingga ke pelanggan

### 2.2.2. Pembangkitan Tenaga Listrik

Pembangkitan tenaga listrik adalah salah satu bagian dari sistem tenaga listrik, pada pembangkitan tenaga listrik terdapat peralatan elektrikal, mekanikal dan bangunan kerja. Terdapat juga komponen-komponen utama pembangkitan yaitu generator, turbin yang berfungsi untuk mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik. Energi potensial menggerakkan turbin kemudian putaran turbin yang merupakan energi mekanik digunakan untuk memutar generator listrik. Generator mengkonversi energi mekanik menjadi energi listrik.

Adapun pembangkit eksisting yang ada di sistem Aceh yaitu PLTMG, PLTU dan PLTD.

#### **2.2.2.1. Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU)**

Pembangkit listrik tenaga uap adalah pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar batu, minyak, atau gas sebagai sumber energi primer. Konversi energi tingkat pertama yang berlangsung dalam PLTU adalah konversi energi primer menjadi energi panas (kalor). Hal ini dilakukan didalam ruang bakar dari ketel uap PLTU. Sehingga secara prinsip PLTU adalah alat yang diciptakan dengan memanfaatkan panas yang dapat diubah menjadi uap untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan energi listrik PLTU merupakan salah satu teknologi dasar bagi pembangkitan listrik. Teknologi PLTU sistem dipakai oleh semua pembangkit barbasis termal (thermal).

Proses utama dalam konversi energi di PLTU, yaitu :

##### **1. Proses menghasilkan uap**

Tangki baoiler diisi dengan air atau cairan lainnya. Kemudian dilakukan proses pemanasan dengan energi primer yang dipilih, bisa batubara atau energi primer lainnya. Pemanasan dilakukan untuk menghasilkan uap yang diinginkan.

##### **2. Proses konversi energi panas menjadi energi mekanik**

Uap hasil dari proses produksi uap, dengan tekanan dan temperatur tertentu dialirkan ke turbin. Uap terus dialirkan sehingga mampu menggerakkan turbin. Disinilah terjadi proses konversi menjadi energi mekanik.

##### **3. Proses konversi mekanik menjadi energi listrik**

As turbin yang dihubungkan langsung kepada as generator berputar. Di dalam generator, perputaran medan magnet dalam kumparan dapat menghasilkan listrik yang kemudian dialirkan ke terminal output generator.

##### **4. Proses kondensasi**

Uap bekas penggerak turbin masuk ke pendingin atau kondensor untuk menghasilkan air yang disebut air kondensat. Pendinginan dapat menggunakan air dingin yang didapat dari air laut, air danau, atau waduk. Dibutuhkan air dalam jumlah besar agar proses

pendinginan dapat terjadi secara efektif. Air kondesat ini kemudian digunakan lagi untuk mengisi boiler.

Setelah proses ke-4 selesai, maka prosesnya kembali ke-1. Begitulah siklus pembangkitan tenaga listrik pada PLTU yang dilakukan secara berulang.



Gambar 2.3 PLTU Nagan Raya 2x110 MW

#### 2.2.2.2. Pusat listrik tenaga mesin gas (PLTMRG)

Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas atau Gas *Engine For Power Generation*, merupakan mesin jenis Torak (*reciprocating*) yang memiliki prinsip kerja Siklus Otto Empat langkah. Secara Mekanik Tidak terdapat perbedaan jauh dengan Mesin Diesel yang kita kenal PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel) yang mana kita tahu berbahan bakar *High Speed Diesel* (HSD).

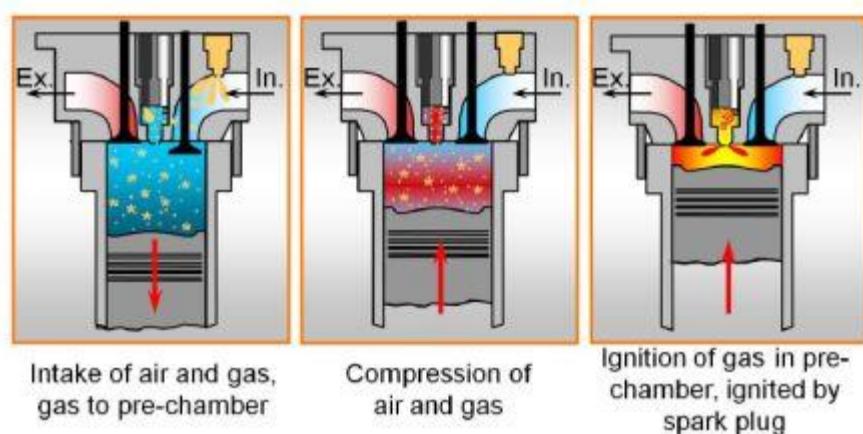
Komponen komponen Sistim pembakaran pada Mesin PLTMRG antara lain :

- *Cyl Liner Head and Valve.*

- *Combustion Liner*
- *Piston And Connecting Rod*
- *Air and Gas Feed*
- *Gas Actuating Valve (SOGAV)*
- *Coil and Spark plug*
- *Prechamber.* sebagai peralatan pembakaran mula.

Pada PLTMG, Bahan bakar gas dan udara masuk secara bersamaan kedalam ruang bakar dimana *flow gas* diatur oleh *Solenoid actuating gas valve* dan pada sisi lain sebagian kecil gas masuk ke ruang *pre-chamber*, busi memberikan pengapian yang diatur oleh *coil drive* pada prechamber pada saat kompresi TDC piston sehingga terjadi pembakaran pada udara dan gas yang terkompresi.

Berikut Diagram gambar sederhana proses pembakaran pada Mesin PLTMG



Gambar 2.4 Prinsip kerja PLTMG

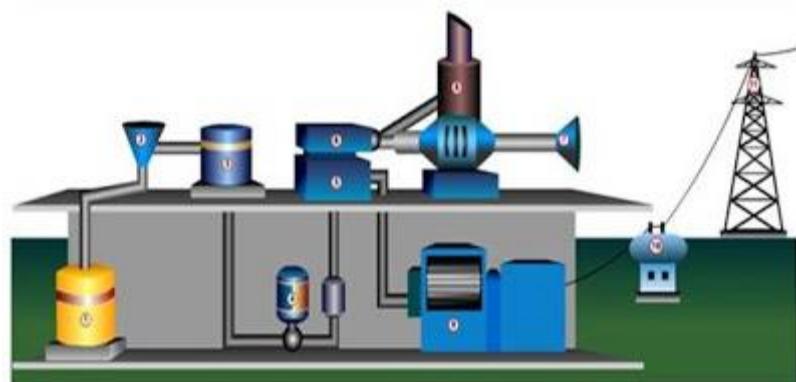
Gambar diatas merupakan Gambar sederhana prinsip kerja pembangkit listrik tenaga mesin gas (PLTMG).



Gambar 2.5 Gambar PLTMG Arun 184 MW

#### 2.2.2.3. Pusat listrik tenaga Diesel (PLTD)

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.



Gambar 2.6 Bagian-bagian PLTD

Dari gambar di atas dapat kita lihat bagian-bagian dari Pembangkit Listrik

Tenaga Diesel dan prinsip kerjanya, yaitu :

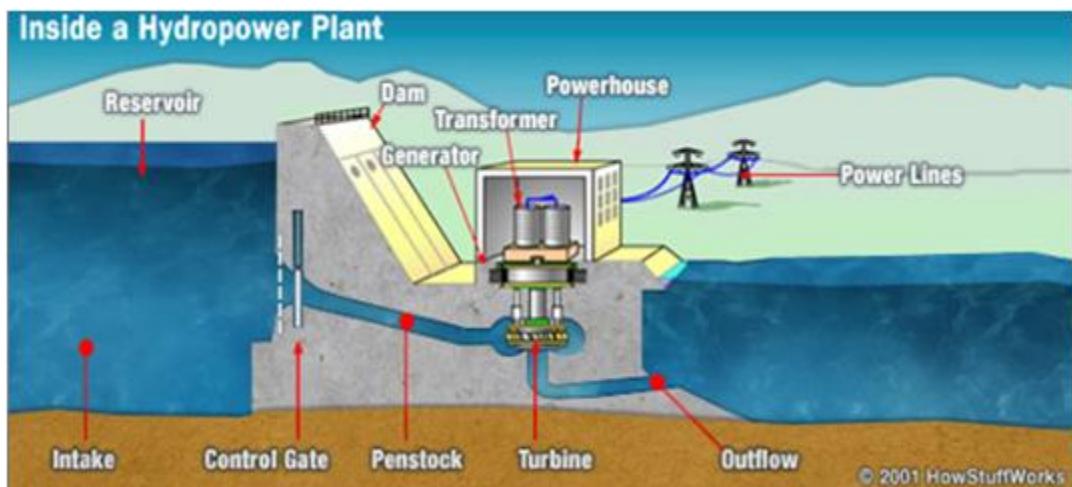
- Pertama-tama bahan bakar di dalam tangki penyimpanan disaring terlebih dahulu sebelum dipompakan ke dalam tangki penyimpanan sementara yang kemudian akan disimpan. Jika menggunakan bahan bakar minyak (BBM), bahan bakar tersebut dipompakan ke *nozzle* (pengabut). Pada proses ini temperatur bahan bakar akan dinaikkan sehingga menjadi kabut. Sedangkan jika menggunakan bahan bakar gas (BBG), bahan bakar dari tangki penyimpanan sementara akan diatur tekanannya melalui *conversion kit* (pengatur tekanan gas).
- Dengan kompresor, udara bersih akan dimasukkan ke dalam tangki udara kemudian dialirkan ke dalam *turbocharger*. Sebelum dialirkan, udara di dalam turbo charger tersebut akan dinaikkan tekanan dan temperaturnya mencapai 500 psi dan suhunya 600° C . kemudian udara yang bertemperatur dan bertekanan tinggi tersebut akan dialirkan ke dalam ruang bakar (*combustion chamber*).
- Kemudian bahan bakar dari *nozzle* (jika menggunakan BBM) atau dari *conversion kit* (jika menggunakan (BBG) diinjeksikan ke dalam ruang bakar (*combustion chamber*).

Karena menggunakan udara yang memiliki tekanan dan temperatur tinggi, mesin diesel akan menyala secara otomatis. Hal ini terjadi karena udara dengan tekanan dan temperatur tinggi tadi akan membuat temperatur di dalam silinder ikut naik. Dan pada saat itu bahan bakar akan disemprotkan pada silinder sehingga dapat menimbulkan ledakan bahan bakar dan membuat mesin diesel menyala. Ledakan bahan bakar tersebut dapat menggerakkan poros rotor generator yang akan mengubah energi mekanis menjadi energi listrik. Agar energi listrik yang telah dihasilkan sampai ke beban, tegangan yang dihasilkan generator tadi akan dinaikkan tegangannya menggunakan trafo step up. Itulah prinsip kerja pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD).

Rencana pemerintah akan menambahkan pembangkit hingga tahun 2022 yaitu PLTU, PLTG dan PLTA.

#### 2.2.2.4. Pusat listrik tenaga air (PLTA)

Pembangkit listrik tenaga air (*Hydro Power Plant*) atau dikenal dengan singkatan PLTA, adalah suatu sistem pembangkitan tenaga listrik dengan memanfaatkan energi gerak yang dimiliki oleh air. Bentuk utama dari pembangkit listrik jenis ini adalah generator yang dihubungkan ke turbin yang digerakkan oleh tenaga kinetik dari air. Namun, secara luas, pembangkit listrik tenaga air tidak hanya terbatas pada air dari sebuah waduk atau air terjun, melainkan juga meliputi pembangkit listrik yang menggunakan tenaga air dalam bentuk lain seperti tenaga ombak. *Hidroelektritas* adalah sumber energi terbarukan.



Gambar 2.7 Prinsip kerja PLTA

Cara kerja PLTA dapat dilihat dari siklus diatas, air dari tendon atau sungai masuk pada turbin melalui penstok untuk memperbesar tekanan hidrostatis. Katup pengaman berguna untuk mengatur aliran air yang masuk ke headrace tunnel, juga untuk menghentikan aliran air. Energi potensial air menggerakkan turbin sehingga menghasilkan energi gerak yang dikonversi menjadi energi listrik oleh generator. Energi listrik dari generator ini diatur dan ditransfer oleh main transformer agar sesuai dengan kapasitas transmission line (tegangan, daya, dll) untuk dibagikan ke rumah-rumah.

### **2.2.3. Transmisi atau Penyaluran**

Pusat pembangkit tenaga listrik biasanya terletak jauh dari tempat-tempat dimana tenaga listrik itu digunakan. Oleh karena itu, tenaga listrik dibangkitkan akan di naikkan dayanya dengan cara menaikkan tegangan sebesar-besarnya, lalu disalurkan melalui penghantar-penghantar dari pusat pembangkit listrik ke pusat beban, baik langsung maupun melalui saluran penghubungan yaitu Gardu Induk.

Batas jumlah tegangan transmisi pada masing-masing negara berbeda-beda tergantung pada kemajuan teknologi tenaga listrik di negara-negara tersebut. Saluran transmisi tegangan tinggi di Indonesia pada saat ini berdasarkan sistem transmisi dan kapasitas tegangan yang disalurkan terdiri Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 70 kV dan 150 kV dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) 200 kV-500 kV.

Konstruksi transmisi terdiri dari dua yaitu saluran udara dan saluran kabel yang terdiri dari,

- 1) Saluran udara (*overhead lines*) tegangan tinggi (SUTT) atau tegangan ekstra tinggi (SUTET).
- 2) Saluran kabel tanah (*underground lines*) tegangan tinggi (SKTT).
- 3) Saluran kabel laut (*submarine line*) tegangan tinggi (SKLTT).

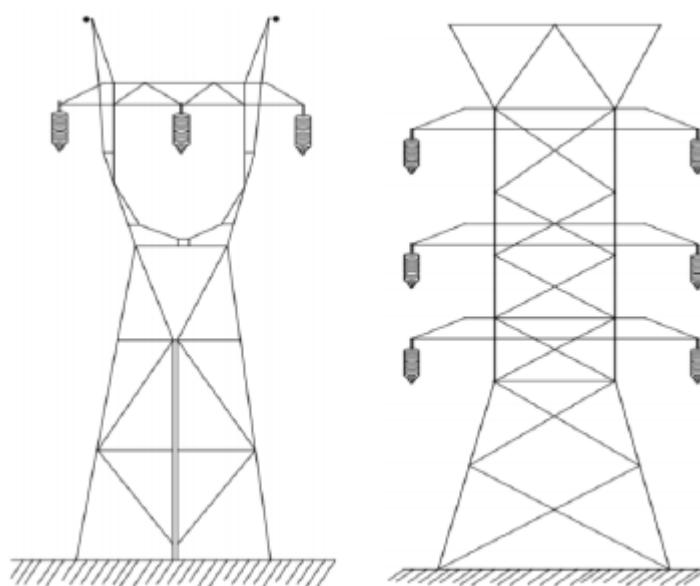
#### **2.2.3.1. Konstruksi Transmisi Saluran Udara**

Konstruksi dari saluran udara tegangan tinggi terdiri dari beberapa komponen utama diantaranya :

##### **1. Tiang Penyangga / TOWER**

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 antar

isolasi antar kawat penghantar. Untuk menyanggah dan 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. Untuk saluran transmisi tegangan tinggi atau ekstra tinggi biasanya menggunakan tiang besi dengan bentuk lattice network.



Gambar 2.8 Tower Saluran Udara Tegangan Tinggi

## 2. Kawat Konduktor

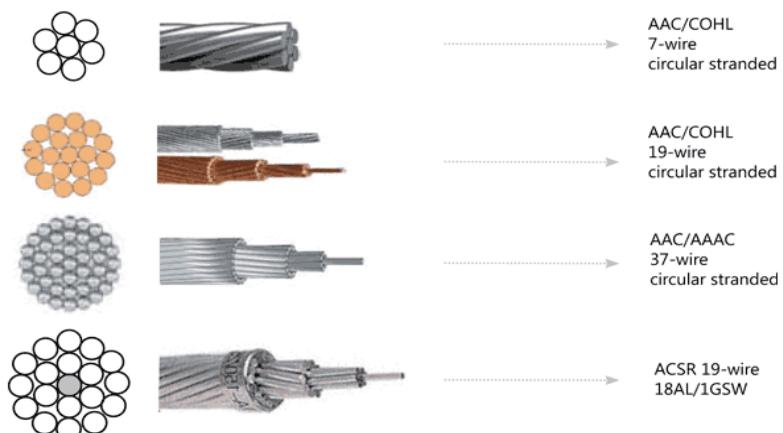
Kawat konduktor ini digunakan untuk menghantarkan listrik yang ditransmisikan. Kawat konduktor untuk saluran transmisi tegangan tinggi ini selalu tanpa pelindung/isolasi, hanya menggunakan isolasi udara. Bahan konduktor yang dipergunakan untuk saluran energi listrik perlu memiliki sifat-sifat diantaranya memiliki konduktivitas tinggi, kekuatan tarik mekanikal tinggi, titik berat, biaya rendah dan tidak mudah patah.

Biasanya bahan konduktor yang dipakai terbuat dari Tembaga (cu), *Alumunium* (Al), Baja (*steel*).

Untuk memperbesar kuat tarik dari kawat penghantar Alumunium biasanya kawat penghantar Alumunium dicampur dengan bahan penghantar lain. Untuk saluran tegangan tinggi dimana jarak antara tiang jauh, dibutuhkan kuat tarik yang lebih tinggi. Adapun beberapa Jenis-jenis penghantar Alumunium adalah:

- a. AAC (*All-Alumunium Conductor*), yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari alumunium.
- b. AAAC (*All-Alumunium-Alloy Conductor*), yaitu kawat penghantar yang seluruhnya terbuat dari campuran alumunium.
- c. ACSR (*Alumunium Conductor Steel-Reinforced*), yaitu kawat penghantar alumunium berinti kawat baja.
- d. ACAR (*Alumunium Conductor Alloy-Reinforced*), yaitu kawat penghantar alumunium yang diperkuat dengan logam campuran.

Dari keempat jenis penghantar Alumunium campuran diatas yang sering digunakan pada saluran transmisi adalah kawat penghantar ACSR.



Gambar 2.9 Jenis-Jenis Konduktor *Alumunium*.

#### **2.2.4. Gardu induk (GI)**

Gardu Induk merupakan sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi) tenaga listrik, atau merupakan satu kesatuan dari sistem penyaluran (transmisi). Penyaluran (transmisi) merupakan sub sistem dari sistem tenaga listrik. Berarti, gardu induk merupakan sub-sub sistem dari sistem tenaga listrik. Sebagai sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi), gardu induk mempunyai peranan penting, dalam pengoperasiannya tidak dapat dipisahkan dari sistem penyaluran (transmisi) secara keseluruhan.

Pengaturan daya ke gardu-gardu induk lainnya melalui tegangan tinggi dan gardu-gardu induk distribusi melalui feeder tegangan menengah. Gardu induk dapat dibedakan atas tiga hal, yaitu

##### **1. Menurut tegangan**

###### **a. Gardu induk transmisi**

Yaitu gardu induk yang mendapat daya dari saluran transmisi untuk kemudian menyalirkannya kedaerah beban (industri, kota dan sebagainya). Gardu induk induk transmisi yang ada di PLN adalah tegangan tinggi 150 KV dan tegangan 30 KV

###### **b. Gardu induk distribusi;**

yaitu gardu induk yang menerima tenaga dari gardu induk transmisi dengan menurunkan tegangannya melalui transformator tenaga menjadi tegangan menengah (20 KV, 12 KV atau 6 KV) untuk kemudian tegangan tersebut diturunkan kembali menjadi tegangan rendah (127/220 V atau 220/380 V) sesuai dengan kebutuhan.

###### **c. Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) 275 KV, 500 KV.**

Pada GITET transformator daya yang digunakan berupa 3 buah transformator daya masing-masing 1 phasa (bank transformator) dan dilengkapi peralatan reactor yang berfungsi mengkompensasikan daya reaktif jaringan.

##### **2. Menurut penempatan peralatan**

Menurut penempatan peralatannya, gardu listrik dapat dikelompokkan atas beberapa jenis antara lain:

a. Gardu induk pasangan dalam (*indoor substation*)

Gardu induk yang semua peralatannya dipasang didalam gedung atau ruang tertutup. Jenis pasangan dalam ini dipakai untuk menjaga keselarasan dengan daerah sekitarnya dan untuk menghindari bahaya kebakaran dan gangguan suara.

b. Gardu induk pasangan luar (*out door substation*)

Gardu induk yang semua peralatannya berada diluar gedung atau ruang terbuka. Alat control serta alat ukur berada dalam ruangan atau gedung, ini memerlukan tanah yang begitu luas namun biaya kontruksinya lebih murah dan pendinginannya murah.

c. Gardu induk sebagian pasangan luar (*combine out door substation*)

Sebagian peralatan gardu induk jenis ini dipasang dalam ruang tertutup dan yang lainnya dipasang diluar dengan mempertimbangkan situasi dan kondisi lingkungan.

d. Gardu induk pasangan bawah tanah (*underground substation*)

Gardu induk jenis ini umumnya berada dipusat kota. Karena tanah yang tidak memadai jadi semua peralatan dipasang dalam bangunan bawah tanah kecuali pendingin

e. Gardu induk sebagian pasang dibawah tanah (*semi underground substation*)

Gardu induk jenis ini yang sebagian peralatannya dipasang dibawah tanah. Biasanya transformator daya dipasang dibawah tanah dan peralatan lainnya dipasang diluar diatas tanah.

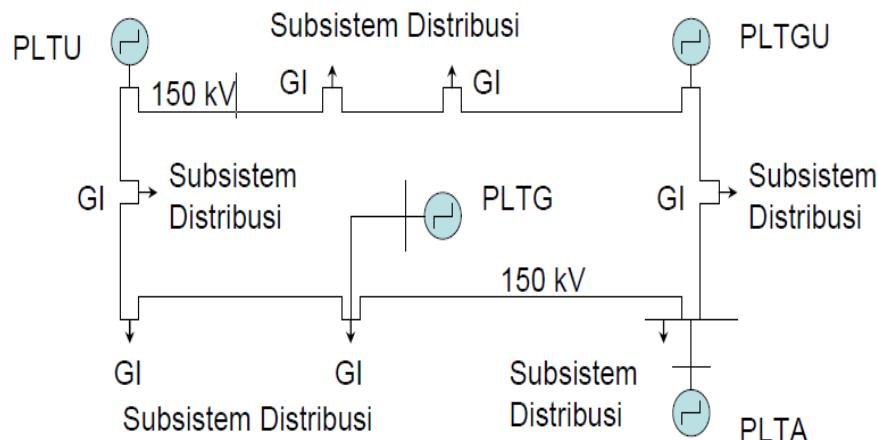
f. Gardu induk mobil (*mobile substation*)

Peralatan gardu induk jenis ini diletakkan diatas trailler hingga dapat dipindahkan ketempat yang membutuhkan, biasanya di pakai dalam

keadaan darurat dan sementara waktu guna pencegahan beban lebih berskala dan guna pemakaian sementara ditempat pembangunan.

#### 2.2.5. Sistem Interkoneksi

Sistem interkoneksi adalah sistem tenaga listrik yang terdiri dari beberapa pusat listrik dan gardu induk (GI) yang diinterkoneksi (dihubungkan satu sama lain) melalui saluran transmisi dan melayani beban yang ada pada seluruh GI. Di setiap GI terdapat beban berupa subsistem distribusi. Dapat dilihat pada gambar 2.4 merupakan contoh dari sistem interkoneksi yang terdiri dari pembangkit dan Gardu induk.



Gambar 2.10 Contoh sistem interkoneksi dengan pembangkit dan gardu induk

Secara listrik masing-masing subsistem distribusi tidak terhubung satu sama lain. Dalam sistem interkoneksi semua pembangkit perlu dikoordinir agar tercapai biaya pembangkitan yang minimum, tentunya dengan tetap memperhatikan mutu serta keandalan. Mutu dan keandalan penyediaan tenaga listrik menyangkut frekuensi, tegangan, dan gangguan. Demikian juga masalah penyaluran daya yang juga perlu diamati dalam sistem interkoneksi agar tidak ada peralatan penyaluran (transmisi) yang mengalami beban lebih. Pembangkitan dalam sistem interkoneksi merupakan pembangkitan

terpadu dari semua pusat listrik yang ada dalam sistem pembagian beban antara pusat-pusat listrik pada sistem interkoneksi yang menghasilkan aliran daya dalam saluran transmisi dan juga menghasilkan profil tegangan dalam sistem. Keseluruhan sistem harus dijaga agar tegangan, arus, dan dayanya masih dalam batas-batas yang diizinkan.

Frekuensi sistem diatur dengan mengatur daya aktif (daya nyata) yang dibangkitkan dalam pusat listrik. Karena frekuensi dalam sistem setiap bagian sistem sama, maka daya aktif yang dibangkitkan untuk mengatur frekuensi tidak terikat pada letak pusat listriknya, kecuali jika timbul masalah aliran daya. Pengaturan tegangan memerlukan pengaturan daya reaktif dalam sistem. Karena tegangan tidak sama besarnya dalam bagian-baian sistem, maka pembangkitan daya reaktif untuk pengaturan tegangan harus memperhatikan tempat dalam sistem yang memerlukan pengaturan tegangan. Daya reaktif ini tidak selalu harus dibangkitkan oleh generator melainkan bisa juga dibangkitkan oleh kapasitor.

Tujuan dari sistem interkoneksi antara lain adalah untuk menjaga kontinuitas penyediaan tenaga listrik karena apabila salah satu pusat pembangkit mengalami gangguan masih dapat disuplai dari pembangkit lain yang terhubung secara interkoneksi. Tujuan lainnya adalah saling meringankan beban yang harus ditanggung oleh suatu pusat listrik.

Berikut ini merupakan kelebihan dan kekurangan dari Sistem interkoneksi.

Keuntungan :

- a. Sistem interkoneksi adalah pengembangan dari Sistem *mesh/network*.
- b. Dapat menyalurkan tenaga listrik dari beberapa pusat pembangkit tenaga listrik.
- c. Penyaluran tenaga listrik dapat berlangsung terus-menerus (tanpa putus), walaupun daerah kepadatan beban cukup tinggi dan luas.
- d. Memiliki keandalan dan kualitas Sistem yang tinggi.

- e. Apabila salah satu pembangkit mengalami kerusakan, maka penyaluran tenaga listrik dapat di alihkan ke pusat pembangkit lainnya.

Kekurangan :

- a. Memerlukan biaya yang cukup mahal.
- b. Memerlukan perancangan yang lebih matang.
- c. Saat terjadi gangguan hubung singkat pada penghantar jaringan, maka semua pusat pembangkit akan tergabung didalam Sistem dan akan ikut menyumbang arus hubung singkat ketempat gangguan tersebut.
- d. Jika terjadi gangguan pada unit-unit mesin pusat pembangkit, maka dapat mengakibatkan jatuhnya sebagian atau seluruh Sistem.

#### 2.2.5.1 Sistem yang terisolasi

Sistem yang terisolasi adalah suatu sistem yang berdiri sendiri yang tidak terhubung dengan sistem yang lain dan biasanya untuk menyuplai tenaga listrik ke daerah-daerah dengan cakupan pasokan yang terbatas dan beban yang kecil atau sedang.

##### 1. Daerah-daerah pedesaan yang terpencil

Untuk daerah-daerah pedesaan yang terpencil dan dengan daya atau beban yang kecil, sistem tenaga listriknya merupakan sistem terisolasi dan hanya terdiri dari pembangkit skala kecil 220 V dan saluran distribusi tegangan rendah

##### 2. Daerah perkotaan menengah

Untuk daerah perkotaan menengah dengan daya atau dengan beban menengah dan letaknya jauh dari kota-kota yang lain, sistem tenaga listrik yang digunakan biasanya merupakan sistem terisolasi yang terdiri dari beberapa pembangkit skala menengah 600 V, 700 V, dan 20 kV, saluran distribusi tegangan menengah, gardu distribusi dan jaringan tegangan rendah (JTR).

## 2.2.6. Studi Aliran Daya

Pada dasarnya studi aliran daya digunakan untuk menganalisa keadaan sekarang, merencanakan dan merancang masa depan perluasan sistem tenaga dan dalam menentukan operasi terbaik dari sistem yang ada. Persoalan aliran daya ini terdiri dari perhitungan aliran daya dan tegangan dari suatu jaringan pada kondisi tertentu.

Tujuan dari studi aliran daya ini adalah untuk mendapatkan informasi lengkap mengenai besaran dan sudut fase tegangan bus beban, arus daya nyata dan reaktif yang mengalir pada setiap bus dalam sistem tenaga listrik pada beban tertentu dalam keadaan operasi normal. Informasi ini sangat penting untuk menganalisis efektifitas rencana ekspansi sistem dimasa depan untuk memenuhi kebutuhan beban yang meningkat dengan menggunakan persamaan-persamaan aliran daya.

Metode-metode yang digunakan dalam studi aliran daya ini diantaranya adalah *Newton Raphson* dan *Gauss-Seidel*. Metode tersebut merupakan formulasi persamaan aljabar non-linear yang bisa diterapkan dalam program komputer. Inti dari setiap metode ini adalah iterasi hingga tercapainya *konvergensi*. Penggunaan metode ini disesuaikan terhadap kondisi sistem yang disimulasikan. Besaran awal yang dibutuhkan dalam *input loadflow analisis* adalah tegangan dan sudut fasa bus *swing*, daya aktif dan reaktif bus beban serta tegangan bus generator.

Masalah penyaluran daya yang perlu diamati dalam sistem intekoneksi agar tidak ada peralatan penyaluran (transmisi) yang mengalami beban lebih. Dalam sistem interkoneksi, semua pembangkit perlu dikoordinir agar tercapai biaya pembangkitan yang minimum, tentunya dengan tetap memperhatikan mutu serta keandalan. Mutu dan keandalan penyediaan tenaga listrik menyangkut frekuensi, tegangan dan gangguan.

Setiap GI sesungguhnya merupakan pusat beban untuk suatu daerah pelanggan tertentu, bebannya berubah-ubah sepanjang waktu sehingga daya dalam pusat-pusat listrik juga selalu berubah-ubah. Perubahan beban dan perubahan pembangkitan daya ini selanjutnya menyebabkan aliran daya dalam saluran-saluran transmisi berubah-ubah sepanjang waktu. Apabila daya nyata

yang dibangkitkan oleh pusat-pusat listrik lebih kecil dari pada daya yang dibutuhkan oleh para pelanggan, maka frekuensi akan turun, sebaliknya apabila lebih besar, frekuensi akan naik. PLN berkewajiban menyediakan tenaga listrik yang frekuensinya tidak jauh menyimpang 50Hertz.

Pebangkitan dalam sistem interkoneksi merupakan pembangkitan terpadu dari semua pusat listrik yang ada dalam sistem pembagian beban antara pusat-pusat listrik pada sistem interkoneksi yang menghasilkan aliran daya dalam saluran transmisi dan juga menghasilkan profil tegangan dalam sistem. Keseluruhan sistem harus dijaga agar tegangan, arus dan dayanya masih terdapat dalam batas-batas yang diizinkan.

Frekuensi sistem diatur dengan mengatur daya aktif (daya nyata) yang dibangkitkan dalam pusat listrik. Karena frekuensi dalam setiap bagian sistem sama, maka daya aktif yang dibangkitkan untuk mengatur frekuensi tidak terikat pada pusat listriknya, kecuali jika timbul masalah aliran daya.

Pengaturan tegangan memerlukan pengaturan daya reaktif dalam sistem. Karena tegangan tidak sama besarnya dalam bagian-bagian sistem, maka pembangkitan daya reaktif untuk pengaturan tegangan harus memperhatikan tempat dalam sistem yang memerlukan pengaturan tegangan. Daya reaktif ini tidak selalu harus dibangkitkan oleh generator melainkan bisa juga dibangkitkan oleh kapasitor atau *reactor*.

Dalam sistem interkoneksi, terdapat banyak pusat listrik dan GI, yang satu sama lain dihubungkan dengan saluran transmisi. Setiap kejadian operasi di salah satu pusat listrik, GI atau saluran transmisi dalam sistem interkoneksi akan mempengaruhi sistem secara keseluruhan. Oleh karena itu, harus ada koordinator operasi yang disebut pusat pengatur beban.

#### 2.2.7. Aliran daya dalam sistem

Dengan naiknya jumlah beban puncak setiap tahunnya dan juga memaksimalkan kerja dari sistem pembangkitan tenaga listrik untuk memasok kebutuhan beban pada sistem maka perlu dikaji pelaksanaannya, apakah akan menimbulkan aliran daya yang melampaui batas kemampuan saluran transmisi

atau batas kemampuan dari peralatan yang lainnya, seperti trafo tenaga atau trafo daya dan trafo arus yang ada pada sistem tersebut. Apabila dalam perhitungan aliran daya berpotensi timbulnya beban lebih (*over load*) pada salah satu bagian sistem, maka harus dilakukan proses *maintenance scheduling* (penyusunan jadwal pemeliharaan) dan unit *commitment* perlu dilakukannya penanganan agar dapat mengatasi masalah kendala beban lebih yang telah dihitung sebelumnya dapat diatasi. Selain masalah bagian sistem yang berbeban lebih, adapun masalah yang dihadapi yaitu tegangan yang terlalu rendah dari sistem tersebut hal ini harus segera diatasi baik dengan cara penambahan alat atau yang lainnya sehingga yang harus di perhatikan dari permasalahan tersebut dengan memperhatikan profil tegangan yang ada dalam sistem, apakah dalam sistem tersebut masih berada dalam batas yang normal atau diizinkan.

#### 2.2.8. Pengaturan tegangan dalam sistem

Dengan dilakukannya pembagian beban pada setiap unit yang optimum, kemudian dilakukan perhitungan aliran daya dengan menggunakan software Digsilent yang dimana dasar dari program tersebut menggunakan metoda *Newton-Raphson*.

Pengendalian tegangan diperlukan untuk menghindari kerusakan peralatan yang terhubung ke jaringan transmisi, baik oleh tegangan yang terlalu rendah maupun tegangan yang terlalu tinggi, serta untuk menjamin bahwa tegangan disisi pelanggan berada dalam tingkat yang dapat diterima. Selain itu, ketidakseimbangan tegangan harus dikendalikan pula untuk memberi pelayanan yang memuaskan ke pelanggan. Masalah pengaturan tegangan mempunyai cara penanganan yang khusus, pengaturan tegangan erat kaitannya dengan pengaturan daya reaktif dalam sistem. Sistem tenaga listrik terdiri dari beberapa GI dan pusat listrik, dalam setiap GI maupun pusat listrik terdapat simpul bus. Tegangan dari simpul di GI dan tegangan dari simpul di

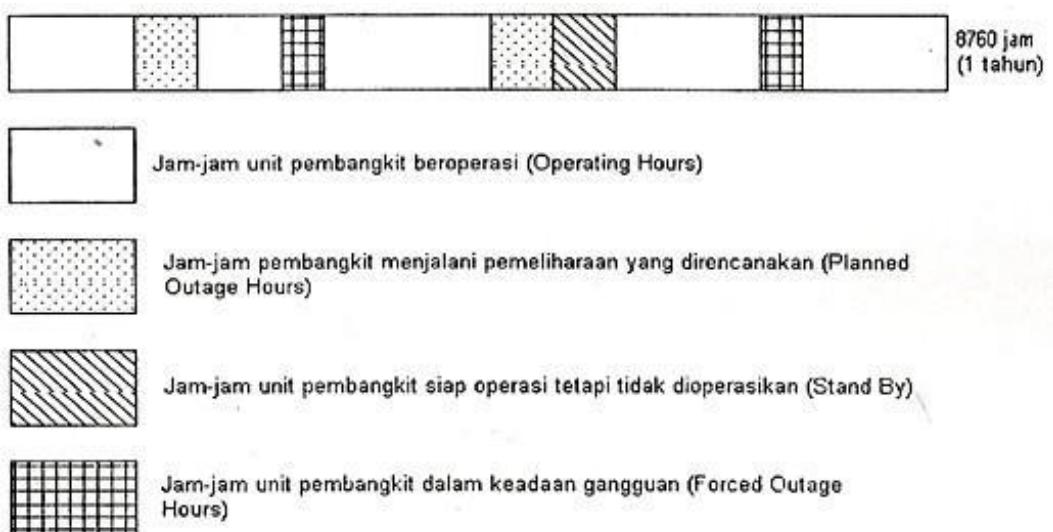
pusat listrik bersama-sama membentuk profil tegangan sistem. Berbeda dengan frekuensi yang sama dalam semua bagian sistem, tegangan tidak sama dalam setiap bagian sistem, sehingga pengaturan tegangan lebih sulit dibandingkan dengan pengaturan frekuensi. Jika frekuensi praktis hanya dipengaru oleh daya nyata MW dalam sistem, dilain pihak tegangan dipengaruhi oleh:

- a. Daya reaktif beban
- b. Posisi tap transformator
- c. Arus penguat generator
- d. Daya reaktif yang didapat dalam sistem (selain generator), misalnya dari reaktor.

Mengatur tegangan pada suatu titik (simpul) dalam sistem akan lebih mudah apabila dititik tersebut ada sumber daya reaktif yang bisa diatur, hal ini juga merupakan hal yang berbeda dengan pengaturan frekuensi, karena frekuensi dapat diatur dengan mengatur sumber daya nyata yang ada dimana saja dalam sistem. Dalam sistem tenaga listrik ada dua variabel yang dapat diatur secara bebas, disebut variabel pengatur (*control variable*), yaitu daya nyata (MW) dan daya reaktif (MVAR). Seperti telah diuraikan diatas, pengaturan daya nyata akan mempengaruhi frekuensi sedangkan pengaturan daya reaktif akan mempengaruhi tegangan. Butir a sampai d tersebut diatas adalah cara untuk mengatur daya reaktif yang harus disediakan dalam sistem. Secara singkat dapat dikatakan bahwa, MW merupakan variabel pengatur frekuensi, MVAR merupakan variabel pengatur tegangan. Dilain pihak, beban dalam sistem mengambil daya aktif dan daya reaktif dari sistem. Beban tidak bisa diatur karena tergantung kepada kebutuhan banyak pelanggan yang menggunakan tenaga listrik dari sistem. Secara pengetahuan kontrol, beban merupakan variabel penganggu tersebut, ada juga variabel yang diatur (*state variable*) dan dapat dibaca dengan mudah dari alat ukur, variabel yang di atur dalam sistem adalah frekuensi dan tegangan.

### 2.2.9. Daya tersedia dalam sistem

Daya tersedia dalam sistem tenaga listrik haruslah cukup untuk melayani kebutuhan tenaga listrik dari para pelanggan. Daya tersedia tergantung pada daya terpasang unit-unit pembangkit dalam sistem dan juga tergantung kepada kesiapan operasi unit-unit tersebut. Berbagai faktor seperti gangguan kerusakan dan pemeliharaan rutin, menyebabkan unit pembangkit menjadi tidak siap beroperasi. Untuk dapat melayani beban yang diperkirakan dari perkiraan beban dan masalah pemeliharaan unit pembangkit, harus diusahakan agar daya tersedia dalam sistem selalu cukup untuk melayani beban. Karena unit pembangkit yang direncanakan tersedia untuk operasi dalam sistem ada kemungkinan mengalami *forced outage* besarnya cadang daya tersedia sesungguhnya merupakan keandalan operasi sistem.



Gambar 2.11 Diagram kesiapan unit pembangkit

Pada gambar 2.11 diatas merupakan gambar diagram kesiapan unit pembangkit dalam 1 tahun (8760). Keandalan operasi sistem sesungguhnya tidak semata-mata tergantung kepada cadangan daya tersedia dalam sistem, tetapi juga kepada besar kecilnya *forced outage hours* per tahun dari unit-unit pembangkit yang beroperasi. Keandalan operasi sistem akan semakin tinggi apabila daya tersedia dalam sistem semakin terjamin. Tingkat jaminan daya

tersedia dalam sistem tergantung kepada besarnya cadangan daya tersedia dan besarnya *forced outage hours* unit pembangkit dalam satu tahun.

#### 2.2.10. Pertumbuhan permintaan tenaga Listrik

Permintaan energi listrik merupakan jumlah energi listrik yang terjual kepada pelanggan listrik dalam satuan GWH. Permintaan energi listrik nasional/agregat (LA) adalah jumlah energi yang terjual kepada seluruh pelanggan nasional. Maka besarnya merupakan penjumlahan dari keseluruhan energi yang terjual dari sektor-sektor pelanggan listrik yang ada. Permintaan energi listrik terbagi menjadi beberapa sektor yaitu Permintaan energi sektor rumah tangga (LRT), Permintaan energi listrik sektor industri (LIND), Permintaan energi listrik sektor komersial/bisnis (LKOM), Permintaan energi sektor umum (LUMU). Berikut merupakan pertumbuhan permintaan tenaga listrik Sistem Aceh yang dapat dilihat di tabel 2.1.

TABEL 2.1. Pertumbuhan permintaan kebutuhan listrik

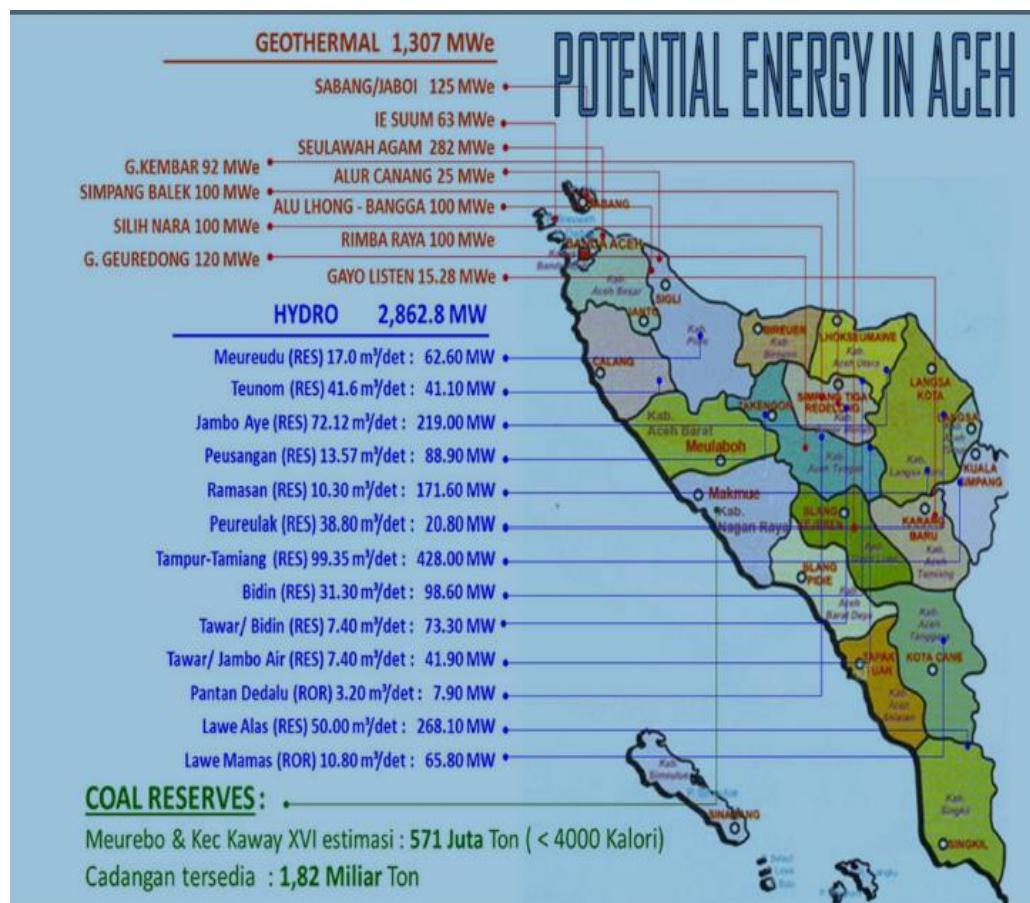
Tahun	Pertumbuhan Ekonomi (%)	Penjualan (GWH)	Produksi (GWH)	Beban Puncak (Mw)	Pelanggan
2017	4,62	2.678	2.989	543	1.353.214
2018	4,98	2.959	3.296	594	1.388.726
2019	5,53	3.265	3.631	650	1.424.951
2020	5,89	3.870	4.295	762	1.456.586
2021	5,87	4.583	5.077	894	1.487.878
2022	5,85	5.065	5.601	979	1.519.014

Dapat dilihat pada tabel 2.1 merupakan proyeksi kenaikan permintaan kebutuhan listrik hingga tahun 2022.

#### 2.2.11. Sumber energi Primer yang ada di Aceh

Pembangkit Tenaga Listrik adalah salah satu bagian dari sistem tenaga listrik, pada Pembangkit Tenaga Listrik terdapat peralatan elektrikal,

mekanikal, dan bangunan kerja. Terdapat juga komponen-komponen utama pembangkitan yaitu generator, turbin yang berfungsi untuk mengkonversi energi (potensi) mekanik menjadi energi (potensi) listrik. Dapat dilihat pada gambar 2.1 merupakan pusat-pusat listrik yang ada di Aceh dan juga yang akan dibangun hingga tahun 2022.



Gambar 2.12 Potensi Energi Aceh

Dari gambar 2.1 diatas dijelaskan bahwa pemerintah Aceh sudah mulai memanfaatkan sumber energi primer dengan membangun pusat-pusat listrik yang memanfaatkan sumber energi yang ada di Aceh. Sumber energi primer yang terdapat di Aceh terdiri dari gas alam, Air, Batu bara, dan panas bumi. Potensi sumber energi di provinsi Aceh tersedia cukup besar yaitu panas bumi 589 MW, tenaga Air 1.482 MW, dan cadangan batu bara 1,7 miliar ton. Oleh karena itu dengan sumber-sumber memadai yang terdapat di Aceh maka

pemerintah Aceh dapat melakukan pembangunan pembangkit-pembangkit yang menggunakan energi primer tersebut.