

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan sebuah pencarian teori – teori yang relevan dengan penelitian dengan mencari beberapa sumber berupa jurnal, artikel, skripsi, buku, maupun informasi lainnya yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Studi literatur dilakukan guna untuk mendukung serta memperkuat dalam menyelesaikan latar belakang permasalahan yang telah peneliti dapatkan. Prakiraan kebutuhan dan penyediaan energi listrik bertujuan untuk mencegah terjadinya kekurangan pasokan energi listrik disuatu wilayah, karena pelanggan listrik yang harus dipasok setiap waktu. Berikut ini ada beberapa penelitian yang terkait dengan latar belakang permasalahan penelitian yang nantinya akan diselesaikan yang telah dikumpulkan dari beberapa sumber terkait.

Dalam penelitian yang berjudul “Prakiraan Kebutuhan Daya Beban Listrik Jangka Panjang Menggunakan Software LEAP (*Long Range Energy Alternatives Planning Sistem*) Di Gardu Induk Pasuruan” pada penelitian tersebut perencanaan kebutuhan dan penyediaan energi listrik digunakan menggunakan software LEAP (*Long Range Energy Alternatives Planning Sistem*) yang telah terintegrasi dengan software Microsoft excel. Penelitian ini menggunakan skenario BAU. *Business As Usual (BAU)* atau skenario dasar yaitu suatu rancangan prakiraan energi yang merupakan sebuah kelanjutan dari perkembangan historis, dalam artian yaitu pada akhir gambaran kecendrungan pola pada pemakaian energi listrik masih sama

seperti tahun dasar. Penelitian ini dilakukan untuk proyeksi kebutuhan listrik tahun 2016 sampai dengan 2030. Objek penelitian ini yaitu berada di Gardu Induk Pasuruan, tujuan dari penelitian ini yaitu memproyeksikan seberapa besar beban listrik di GI Pasuruan dalam kurun waktu lima belas tahun kedepan serta untuk memperkirakan menentukan daya beban listrik ketika sudah mencapai titik batas prakiraan beban atau akan terjadinya *overload*. Didapatkan hasil penelitian yaitu trafo Purwosari 1 dengan kapasitas 20 MVA akan mengalami overload dengan pembebanan sebesar 14,31MW pada tahun 2027. Trafo Puwosari 2 dengan kapasitas 15 MVA akan mengalami overload dengan pembebanan sebesar 10,68MW pada tahun 2026. Trafo Sukorejo 1 dengan kapasitas 15 MVA akan mengalami overload dengan pembebanan sebesar 10,47MW pada tahun 2030. (Husaien, 2016)

Penelitian yang berjudul “Prakiraan Kebutuhan Energi Listrik di Wilayah PT.PLN (Persero) Rayon Bangkinang Menggunakan Perangkat Lunak LEAP (*Long Range Energy Alternatives Planning Sistem*)” pada penelitian ini dalam memprediksi perencanaan kebutuhan energi listrik menggunakan software LEAP (*Long Range Energy Alternatives Planning Sistem*) yang telah terintegrasi dengan software Microsoft excel. Objek dari penelitian ini yaitu berada di Wilayah PT.PLN (Persero) Rayon Bangkinang Kabupaten Kampar Riau. Perencanaan kebutuhan energi listrik dilakukan untuk 2017 sampai dengan 2025. Didapatkan dari hasil penelitian bahwa Permintaan energi listrik diwilayah PT. PLN (Persero) Rayon Bangkinang dari tahun 2016 hingga 2025 akan mengalami peningkatan dari 17.868 MWh menjadi 43.514 MWh. Pertumbuhan selama periode tersebut adalah 10,39% per tahun. Komposisi pada tahun 2025 terdiri dari sektor Sosial 8,1%, sektor Rumah

Tangga 65%, sektor Bisnis dengan proporsi 6%, sektor Industri 16,8% dan sektor Publik dengan 4,1%. (Oklantama & Suwitno, 2017)

Penelitian yang berjudul “Proyeksi Kebutuhan dan Penyediaan Energi Listrik di Kabupaten Kuningan Menggunakan Perangkat Lunak LEAP Dengan Metode *End Use*” pada penelitian tersebut perencanaan kebutuhan dan penyediaan energi listrik menggunakan software LEAP (*Long Range Energy Alternatives Planning Sistem*) yang telah terintegrasi dengan software Microsoft excel. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode *end use* dengan skenario BAU (*Bussines As Usual*) dan untuk lokasi penelitian yaitu berada di Kabupaten Kuningan. Prakiraan energi listrik dilakukan untuk tahun 2018 sampai dengan tahun 2022. Hasil pada penelitian tersebut yaitu untuk proyeksi jumlah pelanggan energi listrik dan jumlah kebutuhan energi listrik di Kabupaten Kuningan terus menunjukkan adanya peningkatan yaitu dari tahun 2018 dengan total 191.343 pelanggan menjadi 219.327 pelanggan di tahun 2022 dengan pertumbuhan rata-rata jumlah pelanggan energi listrik adalah sebesar 1,54% tiap tahunnya. Dan jumlah konsumsi energi listrik di Kabupaten Kuningan juga terus menunjukkan adanya peningkatan dari tahun 2018 dengan total 29.353.007.476,40 kWh menjadi 60.840.484.844,50 kWh di tahun 2022 dengan pertumbuhan rata-rata konsumsi energi listrik adalah sebesar 8,88% tiap tahunnya. (Muliwandana, 2019)

Penelitian yang berjudul “Analisis Prakiraan dan Permintaan dan Penyediaan Energi Listrik Tahun 2019 – 2023 Di Kabupaten Padang Lawas” pada penelitian tersebut perencanaan kebutuhan dan penyediaan energi listrik menggunakan software LEAP (*Long Range Energy Alternatives Planning Sistem*) yang telah terintegrasi dengan software Microsoft excel. Penelitian ini dilakukan

menggunakan dua skenario yaitu skenario BAU dan KEN yang hasil penelitiannya akan dianalisis menggunakan pendekatan ekonometrik. Objek dari penelitian ini yaitu berada di Wilayah Kabupaten Padang Lawas Provinsi Sumatera Utara. Prakiraan perencanaan ketersediaan energi listrik dilakukan dalam jangka waktu lima tahun yaitu proyeksi untuk tahun 2019 sampai dengan 2023. Pada hasil analisis di skenario BAU lebih besar dibandingkan skenario KEN karena terdapat perbedaan yaitu pada skenario KEN intensitas energi dikurangi sebanyak 1% setiap tahunnya. Pada skenario BAU permintaan energi listrik pada tahun 2019 – 2023 mengalami peningkatan dari 66.625.625,1 kWh/pelanggan menjadi 101.924.459,5 kWh/pelanggan begitu juga dengan skenario KEN dari 65.990.880,0 kWh/pelanggan menjadi 97.163.901,6 kWh/pelanggan. (Harahap, 2019)

Pada penelitian yang berjudul “Analisis Prakiraan Kebutuhan dan Penyediaan Energi Listrik Tahun 2019 – 2023” Studi Kasus : Provinsi Kepulauan Riau, pada penelitian tersebut peneliti menggunakan software LEAP (*Long Range Energy Alternatives Planning Sistem*) dalam memprediksi kebutuhan energi listrik dan menggunakan metode DKL 3.2, serta skenario BAU dan KEN yang hasil penelitiannya akan dianalisis menggunakan pendekatan *trend*. Pendekatan *trend* yaitu sebuah pendekatan yang menggunakan nilai historis rata – rata kegiatan energi ekonomi dalam memperkirakan kebutuhan energi listrik. Objek pada penelitian ini yaitu dilakukan di wilayah Kepulauan Riau. Prakiraan perencanaan ketersediaan energi listrik dilakukan dalam jangka waktu lima tahun yaitu proyeksi untuk tahun 2019 sampai dengan 2023. Skenario DKL 3.2 merupakan penggabungan dari beberapa metode seperti metode ekonometri, metode kecenderungan dan metode analisis dan pada skenario seperti di skenario BAU hasil proyeksi lebih besar

dibandingkan skenario KEN karena terdapat perbedaan yaitu pada skenario KEN intensitas energi dikurangi sebanyak 1% setiap tahunnya. Hasil prakiraan kebutuhan energi listrik total dengan metode DKL 3.2 pertumbuhan kebutuhan di tahun 2019 sebesar 879,04 GWh sedangkan pada tahun 2023 meningkat sebesar 1254,58 GWh. Kemudian kebutuhan energi listrik dengan metode BaU di tahun 2019 sebesar 850,823 GWh sedangkan pada tahun 2023 meningkat sebesar 1.110,028 GWh. Terakhir menggunakan metode KEN kebutuhan energi listrik di tahun 2019 sebesar 842,279 GWh sedangkan pada tahun 2023 meningkat sebesar 1.055,819 GWh. (Afdhol, 2020)

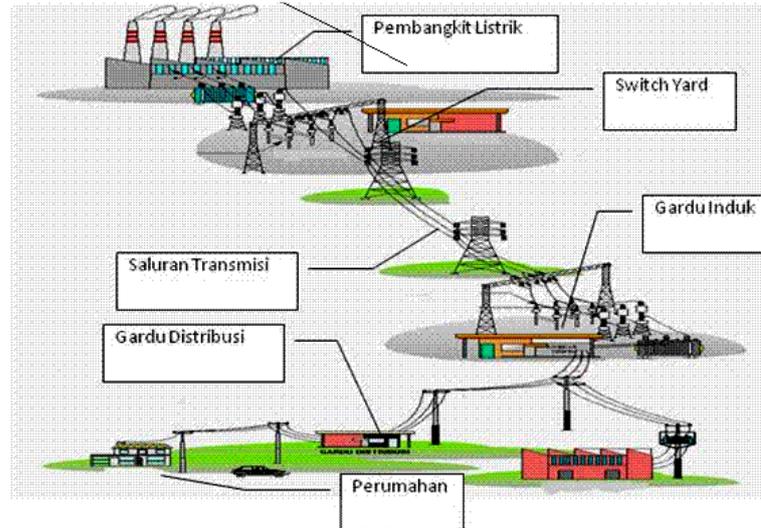
Pada penelitian yang berjudul “Proyeksi Kebutuhan dan Penyediaan Energi Listrik Di Kabupaten Pangandaran Menggunakan Software LEAP” pada penelitian ini peneliti menggunakan software LEAP (*Long Range Energy Alternatives Planning Sistem*) dalam memprediksi kebutuhan dan penyediaan energi listrik untuk sepuluh tahun mendatang yaitu dari tahun 2019 sampai dengan 2028. Peneliti menggunakan metode DKL 3.2, skenario DKL 3.2 merupakan penggabungan dari beberapa metode seperti metode ekonometri, metode kecenderungan dan metode analisis. Skenario yang digunakan yaitu menggunakan skenario *Business As Usual* (BAU). *Business As Usual* (BAU) atau skenario dasar yaitu suatu rancangan prakiraan energi yang merupakan sebuah kelanjutan dari perkembangan historis, dalam artian yaitu pada akhir gambaran kecenderungan pola pada pemakaian energi listrik masih sama seperti tahun dasar. Hasil proyeksi menggunakan metode DKL 3.2 yaitu dengan jumlah pelanggan dan kebutuhan energi listrik di Kabupaten Pangandaran pada tahun 2028 adalah sebesar 29.148.146 kWh dengan rata-rata pertumbuhan kebutuhan energi listrik tiap tahun adalah sebesar 9,24%. Sedangkan

jumlah pelanggan listrik pada tahun 2028 adalah mencapai 504.098 unit pelanggan. Rata-rata pertumbuhan pelanggan listrik adalah sebesar 15.36% per tahun. (Fauzi, 2021)

2.2. Sistem Tenaga Listrik

Tenaga listrik merupakan dasar pokok untuk kehidupan modern dengan sistem tenaga listrik yang memiliki mutu yang handal dapat menjadi syarat utama untuk menuju masyarakat yang mempunyai taraf kehidupan yang lebih maju baik dalam segi industri maupun perekonomian. (Tri, Kholistianingsih & Pingit 2014 dalam (B.Sinurat, 2019). Menurut Djiteng Marsudi 2006 dalam (B.Sinurat, 2019) “untuk keperluan penyediaan tenaga listrik untuk pelanggan diperlukan peralatan listrik yang dibutuhkan dimana peralatan listrik tersebut satu dengan yang lainnya saling memiliki interkoneksi dan secara keseluruhan membentuk suatu sistem tenaga listrik”. Dimana yang dimaksud dengan sistem tenaga listrik yaitu perkumpulan dari pusat listrik, gardu induk, dan pusat beban yang satu dengan lainnya saling dihubungkan oleh saluran transmisi dan saluran distribusi.

Sistem tenaga listrik merupakan salah satu dari sekian alat – alat penting yang mampu memindahkan dan mengubah suatu bentuk energi listrik yang dibutuhkan oleh sebagian besar manusia di muka bumi ini dan kedudukannya memegang peranan yang sangat penting. Sistem tenaga listrik pada dasarnya terdiri dari beberapa elemen – elemen penyusun diantaranya pusat pembangkit energi listrik, pembangkit energi listrik, saluran transmisi energi listrik, dan saluran distribusi energi listrik, tapi terkadang dalam beberapa literatur yang lain ditambahkan substation (gardu induk) hingga energi listrik dapat dimanfaatkan oleh para pelanggan energi listrik. (Hermawan, 2013)



Gambar 2. 1 Skema Sistem Tenaga Listrik (Tasiam, 2017)

Komponen penyusun sistem tenaga listrik antara lain (Tasiam, 2017) :

2.2.1. Pusat Pembangkit Listrik

Pusat pembangkit listrik pada sistem tenaga listrik merupakan suatu tempat dimana energi listrik pertama kali dibangkitkan dimana terdapat dua komponen penting sebagai penyusunnya yaitu turbin yang berfungsi sebagai prime over (penggerak) dan generator yang berfungsi untuk membangkitkan energi listrik. Pusat pembangkit energi listrik dapat berupa PLTG, PLTU, PLTP, PLTN, PLTB, PLTA, dan lain sebagainya.

2.2.2. Pembangkit Tenaga Listrik

Pembangkit tenaga listrik merupakan proses penyaluran tenaga listrik dari sebuah pusat pembangkit tenaga listrik menuju saluran distribusi sehingga energi listrik dapat sampai ke konsumen.

2.2.3. Saluran Transmisi Tenaga Listrik

Saluran transmisi tenaga listrik merupakan sebuah subsistem tenaga listrik yang terdiri atas bagian – bagian dari Pusat Pengatur (*Distribution Control Center*

DCC). Saluran transmisi merupakan sebuah saluran pada sistem tenaga listrik yang menyalurkan tegangan tinggi hingga tegangan ekstra tinggi. Saluran transmisi berada di antara pusat listrik dengan gardu induk. (Tasiam, 2017). Saluran transmisi memiliki dua jenis yaitu saluran transmisi udara dan saluran transmisi bawah tanah. Pada saluran transmisi udara tegangan listrik disalurkan melalui kawat – kawat yang digantungkan pada tiap tiang transmisi yang dapat kita lihat di Saluran Udara Tegangan Tinggi kemudian akan dialirkan melalui perantara yaitu berupa isolator. Sedangkan saluran transmisi bawah tanah merupakan saluran transmisi dengan penyaluran tegangan listrik melalui kabel – kabel yang telah ditanam di bawah tanah. Pada kedua jenis saluran transmisi ini memiliki kelebihan dan kekurangan masing – masing misalnya pada saluran udara untuk perawatan lebih mudah dan biaya produksi lebih murah akan tetapi tingkat keefektifannya kurang karena memerlukan tempat yang luas dan jauh dari permukiman dan untuk saluran bawah tanah sangat efektif karena ditanam di dalam tanah akan tetapi biaya produksi yang cukup mahal dibandingkan dengan saluran udara. (Sujatmiko, 2009)

Saluran transmisi seiring dengan bertambahnya waktu diperlukan pengembangan saluran transmisi tenaga listrik, Adapun arah perkembangan saluran transmisi adalah sebagai berikut: (RUKN, 2019)

- 1) sebagai evakuasi daya listrik dari suatu pembangkit tenaga listrik atau dari GI ke pusat beban yang tidak layak secara teknis dan ekonomis untuk disalurkan melalui jaringan distribusi;
- 2) dengan adanya saluran transmisi maka dapat mengurangi susut jaringan tenaga listrik dan mengurangi drop tegangan pada sistem penyaluran

yang disebabkan oleh letak pusat beban yang jauh dengan pusat pembangkit listrik;

- 3) saluran transmisi dapat menjadi interkoneksi antar pembangkit dalam satu sistem tenaga listrik sehingga dapat menghasilkan pasokan tenaga listrik yang lebih efektif dan efisien serta percampuran dari energi pembangkitan tenaga listrik yang memaksimalkan pemanfaatan sumber energi primer seperti sumber energi terbarukan atau sering disebut dengan EBT;
- 4) dapat menghubungkan saluran transmisi antar pulau karena hal ini perlu dipertimbangkan untuk dikembangkan dengan beberapa hal yang dipertimbangkan yaitu diantaranya agar energi primer setempat dapat dimanfaatkan secara optimal yang dimana sumber energi primer tersebut tidak dapat dipindah atau dikembangkan di pulau lain;
- 5) dapat mengembangkan jaringan transmisi HVDC;
- 6) dapat mengembangkan sistem looping pada jaringan transmisi tenaga listrik yang berfungsi untuk meningkatkan keandalan atau mutu di kawasan khusus seperti kawasan industri dan kota – kota besar;
- 7) dapat memperbaiki kualitas sistem tenaga listrik guna mengatasi drop tegangan pada suatu wilayah tertentu yang mengalami masalah;
- 8) dapat memperluas saluran transmisi tenaga listrik pada grid yang sudah ada guna untuk menjangkau masyarakat secara luas sehingga wilayah yang masih menggunakan sistem PLTD BBM akan berganti ke listrik PLN dengan tetap mempertimbangkan hal teknis dan ekonomis;

- 9) kapasitas hantar jaringan transmisi direncanakan mampu untuk mengatasi kenaikan kapasitas sistem tenaga listrik dalam kurun waktu kurang lebih selama 30 tahun;
- 10) pada saluran transmisi tenaga listrik atau jaringan transmisi tenaga listrik harus memenuhi kriteria keandalan mutu yang baik dan disebut dengan istilah N-1, baik secara statis maupun dinamis. Dimana diketahui arti dari N-1 statis adalah apabila suatu sirkit jaringan transmisi padam maka sirkit-sirkit transmisi pada jaringan transmisi tenaga listrik yang tersisa harus dapat menyalurkan seluruh energi listrik sesuai kebutuhan beban yang diinginkan sehingga kontinuitas pasokan tenaga listrik terus tetap terjaga. N-1 dinamis adalah apabila terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa yang diikuti oleh hilangnya 1 sirkit transmisi, tidak boleh menyebabkan kehilangan ikatan sinkron antar generator pada pusat pembangkit tenaga listrik; dan
- 11) dapat menyalurkan tenaga listrik ke Kawasan Strategis Nasional, Kawasan Ekonomi Khusus (KEK), Destinasi Pariwisata Prioritas, Kawasan Strategis Pariwisata Nasional, Sentra Kelautan dan Perikanan Terpadu dan Kawasan Industri. Sehingga tenaga listrik akan tersebar secara merata disetiap kawasan yang ada sehingga dapat terciptanya pasokan listrik yang baik untuk seluruh kawasan.

2.2.4. Saluran Tegangan Menengah (Saluran Distribusi)

Distribusi tenaga listrik adalah suatu sistem penyaluran tenaga listrik dari jaringan transmisi ke konsumen listrik. Usaha dibidang distribusi tenaga listrik

dapat dijalankan oleh badan usaha baik sebagai Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (IUPTL) yang bergerak dibidang distribusi tenaga listrik ataupun dijalankan oleh pemegang IUPTL yang secara terintegrasi pada bidang distribusi tenaga listrik. Selain BUMN yang dapat menjadi pengolah sistem distribusi yaitu BUMD, BUMS yang berbadan hukum Indonesia, koperasi, dan lembaga swadaya masyarakat. (RUKN, 2019)

Sarana distribusi tenaga listrik dikembangkan untuk perbaikan suatu tegangan listrik, perbaikan SAIDI, perbaikan SAIFI, susut tegangan pada jaringan dapat menurun, serta maintenance jaringan tua dan diperhatikan apakah masih layak fungsi atau tidak dan perlu diganti atau tidak haruslah dipertimbangkan. Selain itu, dalam rangka pengembangan sistem distribusi tenaga listrik dimaksudkan juga untuk dapat menyalurkan tenaga listrik ke beberapa kawasan diantaranya yaitu Kawasan Strategis Nasional, Kawasan Ekonomi Khusus (KEK), Destinasi Pariwisata Prioritas, Kawasan Strategis Pariwisata Nasional, Sentra Kelautan dan Perikanan Terpadu dan Kawasan Industri. (RUKN, 2019)

Dalam rangka menjaga mutu tegangan dan mengurangi susut jaringan tenaga listrik dalam sistem distribusi tenaga listrik, maka panjang saluran distribusi tenaga listrik yang sudah maksimal perlu ditingkatkan level tegangannya kearah yang lebih maksimal agar daerah pusat beban dengan jumlah konsumen besar yang cukup banyak, seperti kawasan industri dan daerah kota besar, maka penggolongan tegangan saluran sebesar 66 kV menjadi kategori jaringan distribusi tenaga listrik yang perlu dikaji lebih lanjut agar pengembangan jaringan distribusi tenaga listrik lebih efektif dan efisien serta tepat sasaran. (RUKN, 2019)

Pengembangan jaringan distribusi tenaga listrik dengan teknologi smart grid dan kabel laut (submarine cable) antar pulau dapat dilakukan sepanjang memenuhi kebutuhan sistem dan ketersediaan teknologi. Guna meningkatkan keandalan dan mengoptimalkan bauran energi pembangkitan pada suatu daerah terpencil yang jauh dari sistem besar, maka dapat dikembangkan menggunakan micro grid atau jaringan dalam lingkup yang kecil sehingga dapat memaksimalkan perkembangan listrik secara merata ke seluruh wilayah yang ada di Indonesia. (RUKN, 2019)

Saluran tegangan menengah atau yang biasa disebut dengan saluran distribusi primer yaitu dengan rentang tegangan antara 6 kV hingga 20 kV merupakan sebuah saluran udara atau kabel tanah, untuk bagian gardu tegangan menengah itu sendiri terdiri dari panel – panel pengatur tegangan menengah dan trafo sampai dengan panel – panel distribusi tegangan rendah (dengan batas tegangan antara 1 volt hingga 1000 volt dan yang umumnya dipakai di Indonesia yaitu tegangan sebesar 220 volt dan 380 volt) yang menghasilkan tegangan kerja atau tegangan jala – jala yang akan digunakan oleh konsumen – konsumen listrik. Saluran distribusi berada di antara gardu induk hingga penyulang tegangan rendah. (Tasiam, 2017)

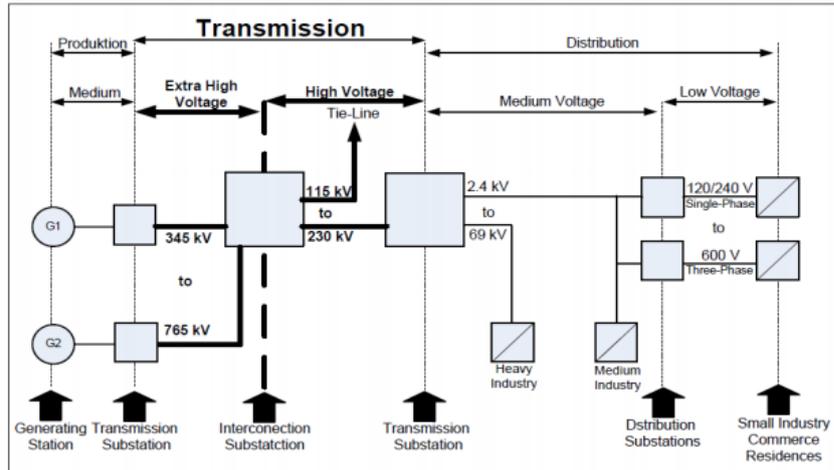
2.2.5. Proses Penyaluran Tenaga Listrik

Skema penyaluran tenaga listrik yaitu pada mulanya listrik akan dibangkitkan di suatu tempat yang sering kita sebut sebagai *power plant* (pusat pembangkit listrik) dapat berupa Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB), Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTB), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), dan masih banyak pembangkit listrik lainnya baik yang berbentuk energi baru terbarukan maupun yang sifatnya terbatas

seperti minyak bumi. Ketika listrik sudah mulai dibangkitkan oleh generator maka listrik tersebut kemudian akan disalurkan menggunakan saluran transmisi yang tentunya tegangan listrik yang sudah dihasilkan sudah terlebih dahulu dinaikkan tegangannya oleh transformator step up (transformator penaik tegangan) yang ada di pusat pembangkit listrik dari tegangan sebesar 36kV sampai dengan 60 kV naik menjadi 500 kV. Pada saluran transmisi ini tegangan yang ada sebesar 70kV, 150 kV, dan 500 kV yang umumnya dipakai di Indonesia. Terkhusus untuk tegangan sebesar 500 kV saat ini disebut dengan tegangan ekstra tinggi. Setelah tegangan listrik disalurkan dari pusat pembangkit melalui saluran transmisi maka tegangan listrik tersebut akan sampai ke gardu induk (GI). Pada gardu induk sebuah tegangan listrik ini akan kembali diturunkan tegangannya ke dalam tegangan menengah atau sering juga disebut dengan tegangan distribusi primer yang diturunkan oleh transformator jenis step down (transformator penurun tegangan) yang ada di gardu induk itu sendiri. Pada saat ini untuk tegangan menengah Perusahaan Listrik Negara (PLN) yaitu sebesar 20 kV. Pada saat tegangan listrik sudah disalurkan oleh saluran distribusi primer atau Jaringan Tegangan Menengah (JTM), tegangan listrik tersebut tidak langsung disalurkan ke konsumen akan tetapi tegangan listrik diturunkan terlebih dahulu oleh transformator step down yang ada di penyulang pada saluran distribusi dari 20 kV menjadi 380/ 220 volt (tergantung permintaan pelanggan), baru kemudian setelah itu tegangan listrik akan disalurkan melalui Jaringan Tegangan Rendah (JTR) ke rumah – rumah pelanggan PLN. Jaelani 2013 dalam (Aribowo, Didik, & Desmira, 2016)

Pelanggan listrik PLN yang tidak dapat dihubungkan tegangan listriknya ke Jaringan Tegangan Rendah (JTR) maka dapat langsung dihubungkan dengan

saluran distribusi primer/saluran tegangan menengah akan tetapi jika pelanggan PLN meminta listrik dengan tegangan tinggi akan langsung dihubungkan pada saluran transmisi PLN, karena kembali lagi ke permintaan para pelanggan PLN dengan beban yang bermacam – macam jenisnya. Setelah tegangan listrik melalui jaringan tegangan menengah, jaringan tegangan rendah, dan Sambungan Rumah (SR) kemudian tegangan listrik tersebut tidak langsung disalurkan ke peralatan listrik tetapi terlebih dahulu melewati alat pembatas daya dan kwh meter PLN. Rekening para pelanggan listrik nanti tergantung dari daya yang tersambung dan besarnya pemakaian listrik yang akan diukur oleh kwh meter. Ketika listrik telah melewati kwh meter maka listrik akan melalui instalasi listrik yang ada di tempat pelanggan listrik dan biasanya PLN hanya memasang instalasi listriknya hanya sampai kwh meter dan untuk instalasi listrik rumah atau pelanggan PLN itu sudah dirancang oleh pelanggan PLN sendiri artinya instalasi milik PLN hanya sebatas sampai kwh meter saja sesudahnya akan menjadi milik pelanggan PLN. Ketika listrik sudah mengalir ke instalasi listrik pelanggan maka listrik baru bisa menyalakan/menghidupkan peralatan elektronik milik pelanggan PLN seperti televisi, computer, mesin cuci, kulkas, dan masih banyak lagi peralatan elektronik lainnya. (Jaelani 2013 dalam (Aribowo, Didik, & Desmira, 2016)



Gambar 2. 2 Diagram Blok Umum Sistem Tenaga Listrik (Aribowo, Didik, & Desmira, 2016)

Dapat dilihat pada gambar 2.2 tersebut diatas yang menunjukkan blok diagram dasar dari sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik yang terdiri dari dua stasiun pembangkit (*generating station*) yaitu G1 dan G2, beberapa substation yaitu hubungan antar substation (*interconnecting substation*) dan untuk bagian komersial perumahan (*commercial residential*), dan terdapat beban industri (*industrial loads*). Terdapat bagian transmission substation yang berfungsi untuk menyediakan service untuk mengubah dalam menaikkan atau menurunkan suatu tegangan listrik pada saluran tegangan listrik yang di transmisikan dan juga berfungsi sebagai regulasi tegangan atau pengatur tegangan. Standarisasi tegangan sendiri untuk cakupan internasional yaitu 345kV hingga 765kV untuk Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) dan 115kV hingga 230kV untuk Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT). Di Indonesia sendiri untuk standar besar tegangan listrik yaitu sebesar 500kV untuk Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTET) dan 150kV untuk Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT). (Pramono,2010 dalam) (Aribowo, Didik, & Desmira, 2016).

Pada bagian *distribution substation* terdapat proses penurunan tegangan dari tegangan menengah yang diturunkan menjadi tegangan rendah oleh transformator step down, dimana terdapat tap otomatis yang berfungsi sebagai regulator tegangan rendah. Tegangan rendah berada diantara 120/240 V single phase hingga 600V, 3 phase. Pada bagian ini melayani area perumahan, komersial, dan institusi serta melayani industri skala kecil. (Pramono,2010 dalam (Aribowo, Didik, & Desmira, 2016).

Pada bagian *interconnecting substation* berfungsi untuk melayani sambungan pada percabangan transmisi dengan power tegangan yang berbeda serta untuk mengurangi ketidakstabilan pada keseluruhan jaringan atau dapat dikatakan menambah kestabilan pada keseluruhan jaringan. Pada setiap substation memiliki circuit breakers, fuses, lightning arrester yang ditempatkan dengan tujuan untuk pengaman jaringan apabila terjadi gangguan dan juga terdapat penambahan kontrol peralatan, pengukuran, switching, pada setiap bagian substation. (Pramono,2010 dalam (Aribowo, Didik, & Desmira, 2016).

Dalam penyediaan sistem tenaga listrik dibutuhkan biaya operasi, berikut beberapa biaya operasi yang diperlukan dalam pembangunan sistem tenaga listrik: (B.Sinurat, 2019)

- a. Biaya untuk pembelian peralatan sistem tenaga listrik, seperti kabel, tiang, kawat, insulasi, dan lain – lain;
- b. Biaya para pegawai guna mengoperasikan sistem tenaga listrik baik teknis maupun bagian administrasi;
- c. Biaya bahan bakar dan material operasi, dan lain – lain.

Dari beberapa hal diatas maka dibutuhkan manajemen operasi untuk mengelola operasi sistem tenaga listrik tersebut, agar pengelolaan lebih ekonomis maka harus mempertimbangkan hal – hal berikut ini, diantaranya :

- a. Perkiraan beban listrik;
- b. Keandalan sistem tenaga listrik;
- c. Syarat – syarat pemeliharaan sistem tenaga listrik;
- d. Alokasi beban dan produksi pembangkit yang lebih ekonomis.

Pada sistem tenaga listrik tentunya ada beberapa kendala yang dihadapi, berikut hal – hal yang harus diperhatikan dalam kendala pada sistem tenaga listrik diantaranya:

- a. Aliran beban dalam jaringan tenaga listrik;
- b. Stabilitas dalam jaringan tenaga listrik;
- c. Daya hubung singkat peralatan sistem tenaga listrik;
- d. Penyediaan suku cadang dan dana guna untuk membangun sistem tenaga listrik;

Dalam pokok – pokok pembahasan diatas maka dapat disimpulkan bahwa semakin besar sistem tenaga listrik maka semakin banyak pula unsur -unsur yang harus diamati dan di koordinasikan dalam sebuah sistem tenaga listrik oleh karena itu kita memerlukan perencanaan, pelaksanaan, pengendalian serta menganalisa suatu sistem tenaga listrik yang efektif dan efisien. (Djiteng Marsudi,2006 dalam (B.Sinurat, 2019).

Menurut Abdul Kadir (1996) dalam (B.Sinurat, 2019) “energi listrik yang dikonsumsi oleh para pelanggan listrik harus segera dibangkitkan oleh generator dikarenakan energi listrik memiliki sifat tidak dapat disimpan”. Melihat dalam hal ini ketika listrik dikonsumsi oleh para konsumen akan senantiasa berubah setiap waktu dan bersifat fluktuatif atau naik turun. Sehingga diperlukanlah sistem tenaga listrik yang interkoneksi dan memiliki cadangan yang cukup untuk memenuhi kebutuhan pelanggan listrik. Secara efektif sistem akan lebih besar dan akan lebih mudah dalam menyerap gangguan yang besar pula sehingga sistem tenaga listrik akan lebih stabil.

Sistem tenaga listrik akan terlihat baik jika mutu pada sistem tenaga listrik dioptimalkan karena memiliki peranan yang sangat penting, jika mutu pada tenaga listrik tidak optimal maka dapat terjadi gangguan pada sistem tenaga listrik yang dapat merugikan para pelanggan listrik. Mutu sistem tenaga listrik terdiri dari kontinuitas penyediaan, nilai tegangan, nilai frekuensi, kedip tegangan, kandungan harmonisa atau jumlah batas – batas pemakaian (Abdul Kadir, 1996 dalam (B.Sinurat, 2019).

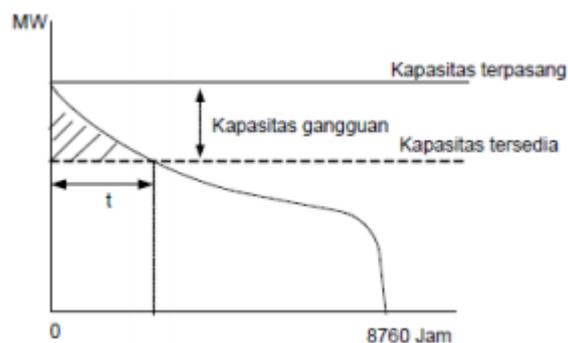
Dalam sistem teknik penyediaan tenaga listrik memungkinkan untuk suatu komponen atau peralatan pada sistem tenaga listrik bekerja dengan sangat memuaskan atau sempurna dalam artian terdapat sedikit gangguan pada saat sistem tenaga listrik bekerja itulah yang disebut dengan keandalan sistem tenaga listrik. (Abdul Kadir, 1995 dalam (B.Sinurat, 2019).

2.2.6. Tolak Ukur Sistem Keandalan Tenaga Listrik

Pada umumnya kita telah mengetahui fungsi dari penyediaan sistem tenaga listrik yaitu untuk membangkitkan tenaga listrik, menyalurkan tenaga listrik, serta menyediakan tenaga listrik untuk para pelanggan listrik kapanpun dan dimanapun saat tenaga listrik itu diperlukan. Perencanaan sistem tenaga listrik telah ditentukan untuk sasaran – sasaran tingkat keandalan yang akan digunakan pada sistem tenaga listrik, berikut dapat menjadi tolak ukur yang menjadi nilai taraf seberapa jauh keandalan sistem tenaga listrik diantaranya: (B.Sinurat, 2019)

2.2.6.1. Kemungkinan Kehilangan Beban atau KKB (loss of load probability ; LOLP)

KKB adalah suatu keadaan dimana kapasitas daya sistem lebih kecil dari beban sistem sehingga menjadikan sistem untuk melepas sebagian beban yang sedang dijalankan yang dinyatakan dalam hari per tahun. Berikut telah dijelaskan dalam grafik dibawah ini.



Gambar 2. 3 Kurva lama beban dan kapasitas tersedia dalam sistem tenaga listrik

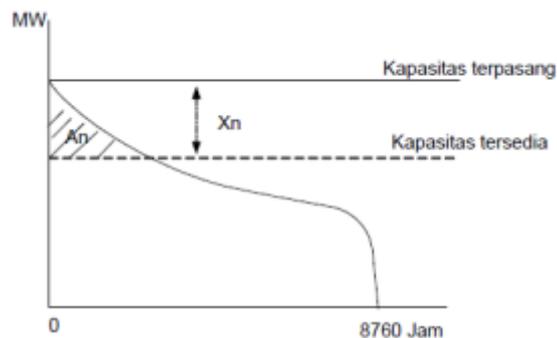
(Syahrial, Sawitri, & Gemahapsari, 2017)

Pada grafik diatas dijelaskan bahwa semakin kecil nilai LOLP maka keandalan sistem semakin baik, sebaliknya semakin besar nilai LOLP maka leandalan sistem

semakin menurun. Hal ini menunjukkan bahwa probabilitas sistem tidak dapat melayani beban semakin besar. (Syahrial, Sawitri, & Gemahapsari, 2017)

2.2.6.2. Kemungkinan Kehilangan Energi atau KKE (loss of energy probability; LEP)

KKE adalah hilangnya energi listrik karena kapasitas tersedia lebih kecil dibandingkan dengan permintaan beban maksimal. Indeks keandalan energi yang tidak terpenuhi memiliki satuan yaitu MWh/tahun. Berikut telah dijelaskan pada grafik dibawah ini.



Gambar 2. 4 Kurva lama beban dan energi tak terpenuhi dalam sistem tenaga listrik (Syahrial, Sawitri, & Gemahapsari, 2017)

Dapat dijelaskan pada gambar grafik diatas yaitu pada daerah arsir A_n merupakan besarnya energi yang tidak dapat terpenuhi oleh sistem pembangkit listrik yang disebabkan oleh adanya gangguan berupa X_n dinyatakan dengan P_n , maka hasil kali antara A_n dan P_n merupakan probabilitas kehilangan energi yang disebabkan oleh kapasitas gangguan sebesar X_n (Marsudi, 1990 dalam (Syahrial, Sawitri, & Gemahapsari, 2017).

2.2.6.3. Kemungkinan Kehilangan Beban yang diperkirakan atau KBD (expected loss of load ELL)

KBD (Kemungkinan Kehilangan Beban) yang diperkirakan merupakan perkiraan besar suatu beban listrik yang tidak dapat dipenuhi oleh sistem tenaga listrik karena adanya suatu gangguan. (B.Sinurat, 2019)

2.2.6.4. Frekuensi jumlah gangguan yang terjadi dan lamanya gangguan yang diperkirakan (expected frequency and expected duration of outages).

Frekuensi jumlah gangguan yang terjadi menjadi faktor yang sangat penting karena arus listrik harus mengalir pada frekuensi yang sama yaitu sebesar 50 Hz untuk standar di Indonesia dan jumlah gangguan merupakan hal yang penting juga karena jika semakin banyak gangguan maka semakin menurunnya mutu keandalan sistem tenaga listrik. . (B.Sinurat, 2019)

2.2.6.5. Penyimpangan nilai frekuensi dan penyimpangan nilai tegangan dari nilai normal.

Pada sistem tenaga listrik jika terjadi penyimpangan nilai frekuensi dan penyimpangan nilai tegangan dari nilai standarnya maka akan mempengaruhi sistem tenaga listrik, karena jika sistem tenaga listrik bekerja dengan frekuensi dan tegangan diluar nilai standar tingkat mutu keandalan akan berkurang. (B.Sinurat, 2019)

2.2.7. Tujuan Pengoperasian Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik yang dioperasikan pasti dengan adanya sebuah tujuan yang akan dicapai, dalam mencapai tujuan pengoperasian sistem tenaga listrik diantaranya harus memperhatikan hal – hal sebagai berikut: (Wikarsa, 2010)

- a. Ekonomi (*economy*) yang dapat diartikan sebagai sistem tenaga listrik harus dijalankan secara ekonomis akan tetapi dengan tetap memperhatikan keandalan dan mutu atau kualitas dari sistem tersebut.
- b. Keandalan (*security*) yang dapat diartikan sebagai suatu tingkat keamanan suatu sistem tenaga listrik terhadap kemungkinan gangguan yang timbul dari faktor internal maupun eksternal. Sebisa mungkin gangguan tersebut diatasi tanpa melakukan pemadaman listrik, karena jika dipadamkan akan merugikan para pelanggan listrik.
- c. Kualitas (*quality*) yang dapat diartikan sebagai pada suatu sistem tenaga listrik terdapat tegangan dan frekuensi yang disetting untuk tetap dalam batas standarnya pada kisaran yang ditentukan, sehingga tidak menimbulkan tegangan yang berlebih atau gangguan akibat frekuensi yang berada di luar batas standar.



Gambar 2. 5 Tujuan operasi sistem tenaga listrik (Wikarsa, 2010)

Dapat dilihat dari urutan diatas, pada pelaksanaan di lapangan dapat berganti – ganti karena menyesuaikan dengan kendala yang sedang dihadapi, seperti misalnya ketika terjadi gangguan pada sistem tenaga listrik maka keamanan yang diprioritaskan sedangkan mutu dan ekonomi bukanlah hal yang utama. Demikianlah ketika mutu dan keamanan sistem sudah bagus dan mumpuni maka perihal ekonomi juga harus diprioritaskan. Tingkat keefektifan dan efisiensi produksi tenaga listrik dapat dilihat dari besarnya biaya yang dikeluarkan untuk membangkitkan tenaga listrik. (Wikarsa, 2010)

Keandalan suatu sistem tenaga listrik atau peralatan tenaga listrik secara umum dapat diartikan sebagai suatu sistem dengan probabilitas yang dapat menyelenggarakan tujuannya secara utuh untuk memenuhi kecukupan pasokan listrik pada periode tertentu dan di keadaan operasi tertentu. Terdapat beberapa faktor yang memegang peranan yang penting terhadap keandalan suatu sistem tenaga listrik serta definisi suatu istilah keandalan itu sendiri terbagi menjadi empat point, diantaranya; (Arifani & Winarno, 2013)

- a. Fungsi, yang diartikan sebagai keandalan suatu sistem melihat dari peralatan pada sistem itu sendiri apakah sudah berjalan sesuai dengan fungsi masing – masing komponen dalam jangka waktu tertentu yang dapat berfungsi dengan baik atau tidak. Kegagalan dari fungsi sebuah komponen dapat disebabkan oleh perawatan yang tidak direncanakan (*unplanned maintenance*). Fungsi ataupun kinerja dari sebuah komponen pada sistem tenaga listrik memiliki tingkatan yang berbeda – beda.

- b. Probabilitas, yang dapat diartikan sebagai jumlah gangguan yang terjadi dalam tiap kurun waktu tertentu pada pembangkit tenaga listrik maupun saluran tenaga listrik.
- c. Kecukupan (*performance*), yang dapat diartikan sebagai sistem tenaga listrik dapat memenuhi kontinuitasnya dengan baik tanpa adanya gangguan atau hambatan.
- d. Waktu, yang dapat diartikan sebagai lamanya suatu sistem dapat bekerja dengan baik sesuai dengan fungsi masing – masing komponen pada sistem tersebut. Semakin lama waktu sistem bekerja sesuai fungsinya maka semakin baik karena bertahan lama akan tetapi tingkat kegagalan pada sistem juga meningkat karena sudah lamanya sistem bekerja.
- e. Kondisi operasi, yang dapat diartikan sebagai suatu kondisi dimana lingkungan bekerja dari suatu sistem jaringan tenaga listrik yang terpengaruh oleh suhu, kelembaban udara, iklim atau cuaca, serta getaran.

Dalam upaya pembangunan sistem tenaga listrik terdapat tujuan yang ada didalamnya seperti yang sudah tertera pada Undang – Undang No. 30 Tahun 2009 yang didalamnya berisi, tujuan pembangunan ketenagalistrikan yaitu: (UURI, 2009)

- a. Dapat menjamin ketersediaan tenaga listrik dalam jumlah yang cukup;
- b. Dapat memenuhi kebutuhan tenaga listrik dalam kualitas atau mutu yang baik;
- c. Dapat memberi harga yang wajar untuk tenaga listrik yang dihasilkan;

Sistem tenaga listrik harus disiapkan secara optimal karena untuk pasokan tenaga listrik tidak boleh kekurangan ataupun kelebihan (*over supply*) yang dapat berakibat pada *over investment* atau berdampak pada keuangan negara apabila keuangan diinvestasikan oleh PLN maupun badan swasta lainnya. Ketika kekurangan pasokan energi listrik maka dapat terjadi pemadaman tenaga listrik pada sebagian pelanggan listrik ketika terjadi maintenance maupun karena gangguan. Kelebihan pasokan tenaga listrik dapat berdampak pada *over investment* dan kinerja dari aset pembangkit tenaga listrik menjadi tidak optimal sehingga dapat mengganggu kondisi finansial badan usaha penyedia tenaga listrik dalam pengembalian investasi atau kewajiban membayar hutang kepada lender. (RUKN, 2019)

Pada aspek kualitas tenaga listrik perlu diperhatikan bahwa pada sistem pembangkit tenaga listrik harus mampu menjaga kualitas tenaga listrik antara lain mencakup kualitas tegangan listrik dan frekuensi tenaga listrik agar dapat sesuai dengan standar toleransi yang diizinkan dalam aturan sistem jaringan tenaga listrik yang berlaku. (RUKN, 2019)

Dalam aspek kewajaran harga listrik, pada aspek ini dipengaruhi oleh banyak hal antara lain efisiensi penyediaan tenaga listrik. Dalam artian jika suatu sistem pembangkit listrik mengeluarkan biaya yang besar untuk operasional meskipun hasil energi listriknya besar maka dapat disebut industri yang mengelola sistem pembangkit listrik ini tidak kompetitif. Melihat dari hal ini sistem tenaga listrik haruslah dibuat dengan seefisien mungkin agar harga energi listrik yang sampai ke pelanggan listrik dapat lebih baik atau masih dalam harga yang wajar. (RUKN, 2019)

Pembangkit tenaga listrik yang akan dibangun disarankan lokasinya dekat dengan sumber energi primer sehingga dapat meminimalisir biaya pembangunan maupun operasional pembangkit, namun jika pembangkit listrik tersebut lebih difungsikan untuk menjaga kualitas atau mutu tegangannya maka pembangkit listrik tersebut harus dekat dengan pusat beban dan pemilihan lokasi tetap memperhatikan aspek teknis, lingkungan dan sosial. (RUKN, 2019)

PLN sebagai Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang menjadi pemasok kebutuhan energi listrik ketika memiliki keterbatasan dalam hal keuangan dalam hal pengembangan pembangkit tenaga listrik maka pemerintah harus mendorong partisipasi dari pihak swasta maupun badan usaha lainnya dalam upaya pengembangan pembangkit energi listrik di wilayah PT. PLN (Persero). PLN lebih dicenderungkan untuk mengembangkan listrik terutama di wilayah pedesaan serta pengembangan dalam hal sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik agar kualitas keandalan tenaga listrik dapat terjaga dengan baik. (RUKN, 2019)

2.3. Perencanaan Ketenagalistrikan

Tersedianya energi listrik yang cukup memadai dan tepat sasaran akan berdampak pada perkembangan pembangunan daerah pada beberapa sektor yaitu sektor industri, sektor rumah tangga, sektor publik, sektor bisnis, dan memungkinkan untuk menambah peningkatan kualitas hidup masyarakat. Sehingga baik secara langsung maupun tidak langsung perkembangan energi listrik dapat berdampak pada kesejahteraan sosial masyarakat dan meningkatkan pembangunan daerah. (Koloay, Tumaliang, & Pakiding, 2018)

Dilihat dari kehidupan saat ini dapat disimpulkan bahwa kebutuhan energi listrik setiap tahun selalu meningkat diiringi dengan terciptanya peralatan elektronik yang semakin canggih dari tahun ke tahun sehingga diperlukannya perencanaan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di masa yang akan datang. Fungsi dari perencanaan kebutuhan energi listrik tidak saja hanya menjadi data masukan untuk suatu proses perencanaan pembangunan suatu sistem ketenagalistrikan akan tetapi juga sebagai data masukan untuk pengoperasian sistem tenaga listrik dalam hal penyediaan energi listrik yang mencukupi untuk kehidupan mendatang di suatu wilayah tersebut yang tentunya sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan. Dalam kehidupan untuk mencapai suatu tujuan akan ada beberapa langkah alternative sebagai pilihan. Perencanaan ketenagalistrikan pada dasarnya dibuat untuk membantu memilih langkah alternative yang paling baik dan efisien untuk mendirikan atau menyediakan sistem tenaga listrik. Perencanaan ketenagalistrikan merupakan suatu proses perencanaan dengan menggabungkan beberapa multidisiplin ilmu yang bersifat komprehensif yang tetap berpedoman pada doktrin – doktrin perencanaan tertentu. (Koloay, Tumaliang, & Pakiding, 2018)

Ketenagalistrikan di Indonesia sangatlah perlu diperhatikan karena kedudukannya yang sangat penting, dilihat dari pembangunan sektor ketenagalistrikan yang bertujuan untuk memajukan kesejahteraan umum dan mencerdaskan kehidupan bangsa guna mewujudkan pembangunan nasional, yang mana dapat menciptakan kehidupan masyarakat yang adil dan makmur baik dari segi materil maupun spiritual yang telah dipaparkan dalam Pancasila dan UUD'1945. (UURI, 2009)

Dalam UUD'1945 pada pasal 33 ayat (2) menjelaskan bahwa usaha penyediaan ketenagalistrikan dikuasai negara yang sepenuhnya dipergunakan untuk memakmurkan rakyat yang pada pelaksanaannya dilakukan oleh pemerintah pusat dan pemerintah daerah. Pemerintah pusat dan pemerintah daerah dalam menyediakan ketenagalistrikan memiliki kewenangan yaitu menetapkan kebijakan, pengawasan, dan melaksanakan usaha penyediaan tenaga listrik. (UURI, 2009).

Pemerintah pusat dan pemerintah daerah memiliki hak untuk menyediakan tenaga listrik untuk masyarakat yang pada pelaksanaannya akan dilakukan oleh Badan Usaha Milik Negara (BUMN) dan Badan Usaha Milik Daerah (BUMD), guna untuk meningkatkan kemampuan negara dalam menyediakan tenaga listrik, dalam peraturan UU No. 30 Tahun 2009 memberikan kesempatan kepada badan usaha swasta, koperasi, dan lembaga swadaya masyarakat untuk berpartisipasi secara aktif atau ikut andil dalam hal penyediaan tenaga listrik. (UURI, 2009)

Perencanaan ketenagalistrikan sangatlah penting karena jika suatu hal tidak direncanakan maka dapat saja hal tersebut tidak berjalan baik dan lancar maka dari itu guna memaksimalkan sistem ketenagalistrikan di Indonesia pemerintah telah membuat peraturan mengenai perencanaan ketenagalistrikan yang telah diatur dalam Undang – Undang No. 30 Tahun 2009 yang tertuang dalam BAB VI tentang Rencana Umum Ketenagalistrikan pasal 7 ayat 1 yang berbunyi: “ Rencana umum ketenagalistrikan nasional disusun berdasarkan pada kebijakan energi nasional dan ditetapkan oleh Pemerintah setelah berkonsultasi dengan Dewan Perwakilan Rakyat Republik Indonesia (DPR RI).” (UURI, 2009).

Selain tertera pada Undang – Undang No. 30 Tahun 2009 ada juga beberapa dokumen Negara Republik Indonesia yang membahas mengenai perencanaan ketenagalistrikan yang dipaparkan lebih detail yaitu pada Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 143 K/20/MEM/2019 tentang Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional Tahun 2019 – 2038. RUKN dibuat berdasarkan beberapa landasan (peraturan – peraturan tentang ketenagalistrikan) yaitu sebagai berikut: (RUKN, 2019)

- a. Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan;
- b. Peraturan Pemerintah Nomor 14 Tahun 2012 tentang Kegiatan Usaha Penyediaan Tenaga Listrik sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Pemerintah Nomor 23 Tahun 2014;
- c. Peraturan Pemerintah Nomor 42 Tahun 2012 tentang Jual Beli Tenaga Listrik Lintas Negara;
- d. Peraturan Pemerintah Nomor 62 Tahun 2012 tentang Usaha Jasa Penunjang Tenaga Listrik;
- e. Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional.

Rencana Umum Ketenagalistrikan dibagi menjadi dua pokok bagian utama yaitu Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN) dan Rencana Umum Ketenagalistrikan Daerah (RUKD). Dijelaskan dalam hal ini bahwa RUKN dibuat atau dirancang oleh pemerintah pusat dalam hal ini yaitu Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) yang kemudian setelah dirancang akan dikonsultasikan kepada Dewan Perwakilan Rakyat (DPR). Pemerintah daerah juga

turut berpartisipasi dalam penyusunan RUKN ini. Tugas pemerintah pusat yaitu mengesahkan RUKN, yang dimana hasil output dari RUKN ini adalah merupakan bentuk Keputusan Menteri setelah ditetapkan. (Anindarini & Quina, 2019)

Berbeda dengan halnya RUKD, RUKD disusun oleh pemerintah daerah yang dapat disebut dengan satuan kerja pemerintah provinsi daerah dibidang ketenagalistrikan yaitu Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral (Dinas ESDM), Ketika RUKD sudah dibuat maka selanjutnya akan diusulkan dan dikonsultasikan ke DPRD Provinsi. RUKD biasanya akan ditetapkan dan disahkan oleh pemerintah daerah yang akan keluar dalam bentuk keputusan gubernur. (Anindarini & Quina, 2019)

Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN) membahas mengenai kebijakan ketenagalistrikan nasional, rencana pengembangan tenaga listrik ke arah depan, dan kondisi penyediaan tenaga listrik saat ini. Dalam UU No. 30 Tahun 2009 tentang ketenagalistrikan RUKN disusun berdasarkan Kebijakan Energi Nasional (KEN). (RUKN, 2019)

Kebijakan Energi Nasional (KEN) adalah suatu kebijakan energi yang melakukan pengelolaan di bidang energi yang disusun dengan beberapa prinsip yaitu berkeadilan, berkelanjutan dan berwawasan lingkungan yang berguna untuk mewujudkan kemandirian energi dan ketahanan energi lingkup nasional. Dewan Eenergi Nasional (DEN) merupakan lembaga yang bertugas untuk Menyusun rancangan KEN yang kemudian akan diusulkan kepada Dewan Perwakilan Rakyat Republik Indonesia (DPR-RI) sebelum disahkan oleh Pemerintah. (RUKN, 2019)

Rencana Umum Ketenagalistrikan (RUK) telah ada dalam UU No.30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan yang dimaksudkan dalam artian bahwa rencana umum ketenagalistrikan merupakan sebuah perencanaan dalam proses pengembangan sistem penyediaan tenaga listrik yang meliputi pusat pembangkitan tenaga listrik, pembangkitan tenaga listrik, transmisi tenaga listrik, dan distribusi tenaga listrik hingga tenaga listrik tersebut dapat sampai ke pelanggan listrik sesuai kebutuhan yang diinginkan. Melihat hal tersebut rencana umum ketenagalistrikan secara materi harus memuat beberapa hal diantaranya: (Anindarini & Quina, 2019)

- a. Latar belakang penyusunan, penetapan visi dan misi sektor ketenagalistrikan, pokok – pokok Kebijakan Energi Nasional (KEN), serta landasan hukum RUKN maupun RUKD;
- b. Kebijakan dan strategi pengelolaan ketenagalistrikan nasional yang menjelaskan tentang kebijakan sektor ketenagalistrikan lingkup nasional ataupun daerah;
- c. Arah pengembangan penyediaan tenaga listrik lingkup nasional ataupun daerah;
- d. Kondisi penyediaan tenaga listrik lingkup nasional saat ini yang tersedia;
- e. Proyeksi kebutuhan tenaga listrik lingkup nasional ataupun daerah;
- f. Kebutuhan investasi penyediaan tenaga listrik nasional.

Hal penting yang harus diperhatikan dalam Rencana Umum Ketenagalistrikan (RUK) yaitu penetapan kebutuhan energi listrik di suatu wilayah provinsi beserta kapasitas tambahan yang diperlukan di provinsi tersebut. Selain itu hal yang harus

dipertimbangkan dan diperhatikan kembali adalah terkait perihal adanya potensi energi primer di suatu wilayah provinsi tersebut dan merencanakan untuk memilih energi primer tersebut dan dikembangkan di wilayah tersebut. Dilihat dari struktur rencana umum ketenagalistrikan masih terkait dalam Rencana Umum Energi (RUE). (Anindarini & Quina, 2019)

Rencana Umum Energi telah dirumuskan pada Undang – Undang No. 30 Tahun 2007 tentang Energi yang dapat diartikan bahwa Rencana Umum Energi merupakan sebuah rencana yang dibuat oleh pemerintah untuk mengelola energi di suatu wilayah tertentu baik lingkup antar wilayah maupun nasional. Rencana Umum Energi terdiri dari beberapa bagian yaitu Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) , Rencana Umum Energi Daerah Provinsi (RUED-P) dan Rencana Umum Energi Daerah Kabupaten / Kota (RUED-Kab/Kota). RUEN dirancang oleh Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (Menteri ESDM) dengan mempertimbangkan usulan dan pendapat dari masyarakat dan mengikutsertakan pemerintah daerah dalam proses perancangan, setelah itu RUEN diusulkan kepada Dewan Energi Nasional oleh Menteri ESDM dimana Dewan Energi Nasional ini yakni Presiden, kemudian RUEN akan ditetapkan dalam bentuk Peraturan Presiden. (Anindarini & Quina, 2019)

Terkait halnya dengan RUED-P dan RUED-Kab/Kota, dokumen tersebut akan disusun oleh pemerintah provinsi dan pemerintah daerah kabupaten/kota sesuai dengan kewenangan yang dimiliki. Kewenangan ini diberikan kepada Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral (Dinas ESDM) daerah setempat. RUED-P berada dalam dokumen yang berbentuk Peraturan Pemerintah Provinsi sedangkan RUED-

Kab/Kota berada dalam dokumen yang berbentuk Peraturan Daerah Kabupaten/Kota. (Anindarini & Quina, 2019)

Secara tertulis Rencana Umum Energi (RUE) harus memuat beberapa hal diantaranya: (Anindarini & Quina, 2019)

- a. Kondisi energi nasional dan kondisi energi daerah saat ini dan di masa yang akan datang;
- b. Penetapan visi, misi, tujuan, dan sasaran energi nasional dan daerah dapat berupa target yang ditetapkan dan target yang akan dicapai;
- c. Kebijakan dan strategi pengelolaan energi nasional dan daerah yang menjabarkan kebijakan, strategi, kelembagaan, instrumen kebijakan, dan program pengembangan energi dalam lingkup nasional, antar wilayah, maupun satu wilayah.

RUEN juga digunakan sebagai dasar untuk rencana umum penyediaan energi pada tiap – tiap daerah provinsi yang dilihat apakah sudah sejalan dengan RUED-P pada masing – masing daerah. Oleh karena itu perlu pemerintah mengawal proses perkembangan energi pada tingkat daerah provinsi guna meninjau bauran energi yang terdapat pada RUED tersebut. Dalam berjalannya proses rencana energi nasional maka pemerintah daerah harus mempublikasikan peta jalannya RUED dalam usahanya untuk mencapai target tersedianya energi yang diinginkan. Ketika RUEN dan RUED tidak berjalan lurus dengan tujuan yang akan dicapai maka masyarakat berhak untuk memberikan kritik dan saran dalam program RUEN tersebut. (Anindarini & Quina, 2019)

Perlu diperhatikan juga apakah RUEN dan RUED-P telah berjalan sesuai dengan target dan sasaran yang telah ditetapkan dengan asumsi yang telah diukur dan diproyeksikan agar dapat diimplementasikan atau diwujudkan di daerah ataupun lingkup sektoral. Penempatan target merupakan hal yang penting untuk dijaga dan dikawal dengan mempertimbangkan bahwa RUEN dan RUED-P akan digunakan sebagai rujukan dalam menyusun perencanaan pembangunan nasional dan daerah, rencana umum ketenagalistrikan nasional dan daerah serta rencana usaha penyediaan tenaga listrik. (Anindarini & Quina, 2019)

Terdapat dalam Keputusan Menteri ESDM No. 865 K/30/MEM/2003 tentang Pedoman Penyusunan Rencana Umum Ketenagalistrikan (Kepmen ESDM No. 865 Tahun 2003), forum perencanaan ketenagalistrikan adalah berkumpulnya suatu media yang berfungsi untuk mempertemukan semua pihak yang berhubungan dengan bidang ketenagalistrikan, forum ini memiliki beberapa tujuan seperti berikut ini: (Anindarini & Quina, 2019)

- a. Mengkoordinasikan para pemegang kepentingan dalam menyusun dan membuat RUKD;
- b. Mengetahui dan memahami permasalahan ketenagalistrikan, termasuk konsep penyediaan tenaga listrik yang saling berkesinambungan;
- c. Mengembangkan kemampuan instansi/lembaga di daerah dalam penyusunan proses perencanaan penyediaan tenaga listrik baik lingkup nasional maupun daerah;
- d. Mendapat masukan dalam proses penyusunan RUKD; dan

- e. Mempersiapkan konsep RUKD berdasarkan hasil proses perencanaan energi listrik yang optimal.

Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN) dibuat dengan tujuan sebagai acuan atau patokan bagi pemerintah untuk melakukan suatu usaha untuk mengembangkan dan membangun sektor ketenagalistrikan di masa yang akan datang baik itu untuk pemerintah pusat, pemerintah daerah maupun pemegang Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (IUPTL) terkhusus untuk yang mempunyai wilayah usaha di bidang ketenagalistrikan. RUKN ini sangat berperan penting dalam dinamika lingkungan yang strategis baik dalam lingkup lokal, regional, maupun nasional, karena dengan adanya RUKN ini maka akan meningkatkan partisipasi Badan Usaha Milik Daerah (BUMD), Badan Usaha Milik Swasta (BUMS), Koperasi, dan swadaya masyarakat yang berperan aktif dalam pembangunan sektor tenaga listrik. (RUKN, 2019)

Melihat perkembangan pertumbuhan ekonomi makro maupun mikro dan pertumbuhan kependudukan menjadikan kebutuhan energi listrik juga ikut bertambah, karena hal ini maka perencanaan ketenagalistrikan pada RUKN juga dapat disesuaikan dan dimutakhirkan sesuai dengan perkembangan yang ada. RUKN yang disusun bersifat induktif sehingga tidak membahas secara detail mengenai usaha penyediaan tenaga listrik, karena hal itu akan dibahas pada Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL). (RUKN, 2019)

Tentunya perencanaan ketenagalistrikan menjadi hal yang sangat penting dan selaras berjalan beriringan sesuai dengan visi misi pembangunan nasional yaitu dengan visi: “terwujudnya Indonesia yang berdaulat, mandiri dan berkepribadian

berlandaskan gotong – royong”. Dengan misinya yang berjumlah 7 yaitu sebagai berikut : (RUKN, 2019)

- a. Mewujudkan keamanan nasional yang mampu menjaga kedaulatan wilayah, menopang kemandirian ekonomi dengan mengamankan sumber daya maritim, dan mencerminkan kepribadian Indonesia sebagai negara kepulauan;
- b. Mewujudkan masyarakat maju, berkeimbangan, dan demokratis berlandaskan negara hukum;
- c. Mewujudkan politik luar negeri bebas-aktif dan memperkuat jati diri sebagai negara maritim;
- d. Mewujudkan kualitas hidup manusia Indonesia yang tinggi, maju, dan sejahtera;
- e. Mewujudkan bangsa yang berdaya saing;
- f. Mewujudkan Indonesia menjadi negara maritim yang mandiri, maju, kuat, dan berbasiskan kepentingan nasional; dan
- g. Mewujudkan masyarakat yang berkepribadian dalam kebudayaan.

Pembangunan sektor ketenagalistrikan tidak dapat dipisahkan dari pembangunan nasional. Melihat hal itu pembangunan sektor ketenagalistrikan ingin melaksanakan cita – citanya yaitu mewujudkan pembangunan ketenagalistrikan di semua daerah terutama daerah – daerah terpencil yang ada di Indonesia agar pembangunan sektor ketenagalistrikan dapat merata di seluruh wilayah Indonesia. Selain itu pembangunan ketenagalistrikan dibuat untuk mewujudkan masyarakat

yang sejahtera sehingga kualitas hidup masyarakat dapat meningkat, dan berperan pula dalam meningkatkan produktivitas masyarakat untuk bersaing di kancah internasional. Sehingga dari hal tersebut memberikan output yang positif berupa bangsa – bangsa Indonesia bisa maju dan bersama – sama dengan bangsa Asia lainnya serta dapat menggerakkan usaha perekonomian yang strategis. (RUKN, 2019)

PT. PLN (Persero) dalam menyediakan energi listrik wajib membeli energi listrik yang dihasilkan dari pembangkit energi listrik terbarukan yang telah diatur pada RUK dan KEN, untuk membeli energi listrik PLN dapat melakukan observasi dan pemilihan secara langsung. Sedangkan untuk energi terbarukan yang memanfaatkan sumber energi terbarukan yang berbasis teknologi tinggi, efisiensi yang sangat variatif, dan sangat tergantung pada tingkat radiasi atau cuaca setempat seperti halnya yang bersumber dari energi cahaya matahari dan energi angin dapat dilakukan dengan mekanisme pemilihan langsung berdasarkan kapasitas kuota dari energi tersebut. Dalam Peraturan Menteri disebutkan bahwa PLN wajib mengoperasikan pembangkit tenaga listrik dengan kapasitas maksimal hingga 10 MW secara terus menerus (*must run*). (RUKN, 2019)

Operator sistem tenaga listrik yang bersifat independent sangatlah diperlukan guna mengoptimalkan tingkat efisiensi dan optimalisasi dalam proses pengoperasian sistem tenaga listrik. Operator sistem tenaga listrik bertugas untuk mengkoordinasikan operasi dalam sistem tenaga listrik yang bertujuan untuk menjaga keamanan dan keandalan sistem tersebut untuk kepentingan di semua jaringan yang terhubung. Operator ini wajib melihat peraturan tentang pengelolaan jaringan energi listrik untuk dijadikan sebagai acuan kerja. (RUKN, 2019)

Kebijakan Energi Nasional (KEN) ditetapkan dengan menjelaskan bahwa sumber-sumber energi nasional yang didorong untuk dimanfaatkan dalam pembangkitan tenaga listrik yang telah tertera pada Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 yaitu dengan isi sebagai berikut: (RUKN, 2019)

- a. Sumber energi terbarukan yang bersumber dari jenis energi aliran dan terjunan air, energi panas bumi, energi gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut, energi angin, energi sinar matahari, biomassa dan sampah;
- b. Sumber energi baru berbentuk padat dan gas; dan
- c. Gas bumi, batubara.

Perencanaan ketenagalistrikan memiliki beberapa proses dalam memenuhi tenaga listrik yang dibutuhkan oleh konsumen atau pelanggan listrik yang diantaranya sebagai berikut: (Koloay, Tumaliang, & Pakiding, 2018)

- a. Perencanaan pemenuhan kebutuhan energi listrik diawali dengan peramalan kebutuhan atau ramalan beban tenaga listrik untuk 10 (sepuluh) tahun ke depan di setiap sektor pemakai energi listrik, diantaranya yaitu sektor industri, komersial, rumah tangga, publik dan sosial.
- b. Kemudian hal yang selanjutnya dilakukan yaitu merencanakan pengembangan pembangkit (*generation expansion planning*) yang direncanakan berdasarkan atas asas optimasi atau biaya terendah dengan mempertimbangkan ketersediaan sumber energi primer setempat, sifat ragam beban, beban puncak, teknologi/jenis pembangkit, dan faktor eksternalitas lain yang perlu diperhatikan, seperti Analisis Dampak Lingkungan (AMDAL).

- c. Tingkat cadangan atau tingkat keandalan merupakan salah satu kriteria perencanaan dan merupakan kebijakan setempat yang akan berdampak pada biaya penyediaan energi listrik yang akan dilihat pada tingkatan tarif penggunaan energi listrik.
- d. Ketersediaan sumber energi primer, termasuk energi baru/terbarukan, seperti misalnya energi sinar matahari, energi air, energi angin, energi panas bumi, dan energi lainnya yang menentukan pilihan teknologi dan jenis pembangkit yang mungkin dikembangkan, dengan maksud agar energi primer dapat dimanfaatkan secara optimal sesuai nilai keekonomiaannya, efisien, sebisa mungkin tidak menimbulkan dampak lingkungan yang merugikan, dan pembangkit dapat beroperasi secara berkelanjutan dalam kurun waktu perencanaan.
- e. Pemanfaatan sumber energi setempat dan prioritas pemilihan aneka ragam energi yang tersedia dengan urutan prioritas sebagai berikut : energi terbarukan, bahan bakar gas, batubara, dan bahan bakar minyak.
- f. Perencanaan di sisi penyediaan energi listrik hendaknya diintegrasikan dan diselaraskan dengan perencanaan pemanfaatan energi di sisi pemakaian energi listrik.
- g. Perencanaan pengembangan sistem transmisi maupun sistem distribusi harus dilakukan selaras dengan artian keseimbangan antara kebutuhan dan kapasitas, berdasar pada kriteria perencanaan yang akan digunakan.
- h. Setelah dibuat peramalan kebutuhan energi listrik suatu sistem tertentu, di susun peramalan beban gardu induk yang memberi informasi pertumbuhan

beban sesuai lokasi geografis gardu induk, dapat berupa penambahan kapasitas trafo atau pembuatan gardu induk baru, berikut dengan kebutuhan fasilitas jaringan transmisi dan distribusinya.

Perencanaan ketenagalistrikan tidaklah dibuat secara sembarang melainkan memiliki tujuan yang penting, yaitu diantaranya sebagai berikut: (RUKN, 2019)

- a. Kebutuhan kapasitas dan tenaga listrik yang cukup memadai disetiap tahun dengan tingkat keandalan yang diperlukan.
- b. Tercapainya bauran bahan bakar yang lebih baik, ditunjukkan oleh pengurangan penggunaan bahan bakar minyak sehingga kontribusi produksi pembangkit berbahan bakar minyak menjadi lebih kecil.
- c. Dapat menjadi sebuah solusi terhadap krisis kelistrikan yang terjadi di beberapa daerah.
- d. Berkurangnya angka rugi jaringan transmisi dan jaringan distribusi dengan presentase penurunan yang diinginkan kurang lebih sebesar 10 persen.
- e. Tara kalor akan tercapai dengan baik sehingga hal tersebut mengakibatkan tercapainya biaya pokok produksi (BPP) yang lebih baik dan bersifat rasional.
- f. Kualitas listrik dapat tercapai sehingga menghasilkan energi listrik yang semakin baik.

2.4. Kebutuhan Energi Listrik

Energi listrik merupakan sebuah energi yang dibutuhkan oleh masyarakat luas, karena listrik dapat menghidupkan peralatan elektronika sehingga menjadikan

dasar sebagai kebutuhan pokok bagi sebagian masyarakat. Kebutuhan energi listrik tiap daerah berbeda – beda tergantung dari kondisi tiap daerah masing – masing seperti kondisi perekonomian tiap daerah, pertumbuhan penduduk beserta standar kehidupannya, rencana pengembangannya pada kehidupan sekarang dan masa yang akan datang, harga daya listrik, dan sebagainya. Hak seorang konsumen listrik yaitu mendapatkan listrik sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan dimanapun dan kapanpun juga sedangkan perusahaan listrik wajib untuk memenuhi kebutuhan listrik untuk konsumen setiap konsumen membutuhkannya. Konsumen menginginkan untuk mendapatkan pelayanan listrik secara terus menerus dengan tegangan yang stabil. (Tampubolon, Tumaliang, & Rumbayan, 2014)

Konsumen meminta kebutuhan listrik sewaktu – waktu sehingga memerlukan pasokan listrik yang tersedia dan memadai, hal ini berarti menuntut PLN untuk menyediakan pasokan listrik cadangan karena konsumen listrik tidak diperbolehkan untuk menunggu karena harus diberikan pelayanan kapanpun konsumen membutuhkan. Melihat hal tersebut bahwa kebutuhan konsumen bersamaan dengan waktu, ini mengakibatkan akan terjadinya puncak dan lembah pada kurva beban yang mana diartikan sebagai kadangkala pemakaian beban berada pada kebutuhan maksimal yang mengakibatkan grafik pada kurva beban menjadi puncak dan kadangkala juga peralatan tidak dipakai pada waktu – waktu tertentu yang mengakibatkan grafik pada kurva beban menjadi lembah. (Pabla, 1994 dalam (Tampubolon, Tumaliang, & Rumbayan, 2014)

Kebutuhan pada sistem tenaga listrik merupakan beban pada terminal terima secara rata – rata yang terjadi pada selang atau interval tertentu. Beban listrik tersebut dapat berupa ampere (A), kiloampere (kA), kilowatt (kW), maupun kilo

voltampere(kVA). Kebutuhan maksimum pada sistem tenaga listrik dapat terjadi selama waktu satu jam, harian, mingguan, bulanan, bahkan tahunan. Kebutuhan maksimum merupakan sebuah kebutuhan tenaga listrik yang terbesar pada interval tertentu, biasanya terjadi dengan rentang waktu 15 menit, 30 menit, atau dalam hal – hal tertentu terkadang selama 60 menit atau lebih. (Bachtiar, 2015)

Beban listrik yang dilayani pada sistem distribusi tenaga listrik terbagi menjadi beberapa sektor yaitu sektor perumahan atau domestic (*domestic load*), sektor industri (*industri load*), dan sektor komersial (*commercial load*). Pada masing – masing sektor beban memiliki karakteristik yang berbeda – beda karena hal ini berkaitan dengan pola konsumsi energi pada masing – masing konsumen di sektor tertentu. Karakteristik beban yang banyak yang disebut dengan pola pembebanan biasanya terjadi di sektor perumahan yang pada konsumsi energi listrik menunjukkan adanya fluktuasi beban energi listrik yang cukup besar. (Bachtiar, 2015)

Karakteristik beban merupakan suatu sistem dalam merencanakan sistem tenaga listrik yang didalamnya tercatat untuk menentukan beberapa komponen dalam menentukan besarnya kapasitas daya listrik suatu peralatan yang mana dibutuhkan oleh pengguna energi listrik tersebut. Daya listrik yang disalurkan oleh PLN harus sesuai dengan yang ada di lapangan dengan artian bahwa Ketika daya listrik disuplai oleh PLN tidak ada kekurangan maupun kelebihan daya yang dapat mengakibatkan sistem tenaga listrik menjadi terganggu. Ketika terjadi kekurangan daya listrik maka akan sulit untuk memenuhi kembali kebutuhan daya listrik konsumen dan sebaliknya jika terjadi kelebihan daya listrik yang cukup besar maka akan terjadi pemborosan kapasitas energi listrik yang cukup besar yang dari hal ini akan menimbulkan dampak kerugian yang cukup tinggi untuk biaya – biaya

perawatan pada sistem pembangkit tenaga listrik. (Fadillah Mb. dkk, 2015 dalam (Riau, 2019)

Dalam perencanaan kebutuhan energi listrik perlu diperhatikan karakteristik suatu beban karena akan dijadikan dasar untuk penggunaan transformator pada tiap saluran distribusi, dengan perhitungan kapasitas transformator yang tepat akan meningkatkan mutu keandalan suatu sistem tenaga listrik pada wilayah tersebut. Perlu diperhatikan juga penggunaan beban listrik dalam suatu wilayah agar tepat dalam membuat saluran distribusi di tiap – tiap wilayah tersebut. (Riau, 2019)

2.4.1. Jenis Pelanggan Listrik

Beban listrik merupakan keseluruhan jumlah total pemakaian energi listrik yang harus disediakan oleh suatu pembangkit listrik agar memenuhi kebutuhan energi listrik para konsumen. Ketika beban listrik semakin besar maka akan berpengaruh ke pembangkit listrik yang akan semakin besar juga daya listrik yang dihasilkan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang diinginkan. Tenaga listrik yang sudah didistribusikan ke pelanggan ataupun konsumen listrik dapat digunakan untuk sumber daya listrik yang penggunaannya berfungsi sebagai sumber daya listrik atau catu daya listrik untuk peralatan elektronik yang membutuhkan energi listrik baik secara terus menerus seperti computer, televisi, lampu dan sebagainya maupun sewaktu – waktu yang telah menyimpan energi listriknya pada baterai seperti laptop, handphone dan lain – lain. (Riau, 2019) Macam – macam beban listrik dapat dijelaskan sebagai berikut ini:

2.4.1.1. Beban Rumah Tangga Domestic (Load Domestic)

Beban ini terdistribusi di wilayah perumahan, untuk peralatan listriknya biasanya terdiri dari lampu, penerangan, kipas angin, setrika, alat – alat rumah tangga misalnya pemanas, lemari es, alat pendingin udara (Air Conditioner), blender & mixer, alat pemanggangan seperti oven, kompor listrik dan motor – motor kecil untuk pompa air, dan alat – alat kecil untuk rumah tangga yang lain. (Tampubolon, Tumaliang, & Rumbayan, 2014). Golongan listrik rumah tangga menurut PLN terdiri dari beberapa golongan yaitu R-1 dengan nilai 450 VA (subsidi), 900 VA (subsidi dan nonsub-sidi), 1.300 VA, 2.200 VA, R-2 (2.200 VA s/d 6.600 VA), dan R-3 (6.600 VA ke atas) (Fauzi, 2021) dalam (Fitrianto, 2015). Biasanya kebutuhan beban ini memiliki: (Bachtiar, 2015)

- 1) Kebutuhan berkisar antara 70% - 100%
- 2) Faktor diversitas berkisar antara 1.2 – 1.3
- 3) Faktor beban berkisar antara 10% - 15%

2.4.1.2. Beban Industri

Biasanya beban ini terdistribusi pada daerah industri ataupun pabrik yang berada di daerah pinggiran kota. Peralatan pada beban jenis ini yaitu antara lain seperti motor – motor listrik sebagai alat penggerak, generator listrik sebagai cadangan daya listrik jika suplai dari jala – jala ataupun PLN mengalami gangguan. Beban industri dibedakan menjadi dua yaitu beban industri dalam skala kecil dan beban industri dalam skala besar. Beban industri dalam skala kecil banyak beroperasi di siang hari sedangkan beban industri dalam skala besar pada era sekarang ini banyak yang beroperasi sampai 24 jam (Bachtiar, 2015). Golongan listrik industri menurut PLN terdiri dari beberapa golongan yaitu I-1 dengan nilai (450 VA, 900

VA, 1.300 VA, 2.200 VA, 3.500 VA s/d 14 kVA), I-2 (14 kVA s/d 200 kVA), I- 3 (200 kVA ke atas) dan I-4 (30.000 kVA ke atas). (Fauzi, 2021) dalam (Fitrianto, 2015). Biasanya beban ini terdiri dari: (Bachtiar, 2015)

- 1) Industri rumah tangga biasanya sebesar 5kW
- 2) Industri skala kecil berkisar antara 5 – 25 kW
- 3) Industri skala menengah biasanya berkisar antara 25 – 100 kW
- 4) Industri skala besar biasanya berkisar antara 100 – 500 kW
 - Faktor kebutuhan berkisar antara 70% - 100%
 - Faktor diversitas berkisar antara 1.1 – 1.2
 - Faktor beban berkisar antara 70% - 80%
- 5) Industri berat yang kapasitasnya melebihi dari >500 kW
 - Faktor kebutuhan berkisar antara 85% - 100%
 - Faktor diversitas berkisar antara 1.1 – 1.2
 - Faktor beban berkisar antara 70% - 80%

2.4.1.3. Beban Komersial (Commercial Load)

Beban komersial ini terdistribusi pada daerah perdagangan di pusat kota yang memiliki penduduk yang rata – rata padat. Beban ini biasanya terjadi beban puncak pada saat siang hari untuk beban perkantoran, pertokoan dan akan menurun pada malam hari. (Riau, 2019) Golongan listrik bisnis menurut PLN terdiri dari beberapa golongan yaitu B-1 dengan nilai 450 VA, 900 VA, 1.300 VA, 2.200 VA, B-2 (2.200 VA s/d 200 kVA), dan B-3 (200 kVA ke atas) (Fauzi, 2021) dalam (Fitrianto, 2015). Pada peralatan listrik beban komersial biasanya terdiri dari penerangan untuk kota-kota, reklame, kipas angin, pendingin ruangan atau AC (Air Conditioner), pemanas dan alat – alat listrik lainnya yang dipakai pada bangunan

perdagangan toko – toko, restaurant, pasar-pasar dan sebagainya. (Tampubolon, Tumaliang, & Rumbayan, 2014) Biasanya kebutuhan listrik pada komersial memiliki: (Bachtiar, 2015)

- 1) Faktor kebutuhan beban listrik berkisar antara 80% - 100%
- 2) Faktor diversitas berkisar antara 1.1 – 1.2
- 3) Faktor beban berkisar antara 25% - 30%

2.4.1.4. Beban Sosial

Beban sosial merupakan jenis beban listrik yang beban pelanggannya untuk tempat sosial yang terdiri dari rumah sakit, sekolah, tempat ibadah, dan lain sebagainya. Beban puncak biasanya terjadi pada siang hari karena banyak aktivitas dan malam hari karena banyak lampu yang menyala dan peralatan elektronik lainnya. (Harahap, 2019) Pelanggan listrik pada sektor sosial menurut PLN terdiri dari S-1 yaitu dengan kapasitas daya 450 VA, 900 VA, 1.300 VA, 2.200 VA, S-2 (3.500 VA s/d 200 kVA), dan S-3 (200 kVA ke atas) (Fauzi, 2021) dalam (Fitrianto, 2015).

2.4.1.5. Beban Publik (Umum)

Beban publik (umum) biasanya digunakan untuk kepentingan pemerintahan yang terletak pada gedung pemerintah, jalan umum, dan pemakai kepentingan sosial. Pada PLN untuk macam – macam golongan pada beban publik ini terdiri dari beberapa kode yaitu untuk gedung pemerintah dalam kode (P-1 dan P-2) jalan umum (P-3). Golongan listrik publik menurut PLN terdiri dari P-1 yaitu 450 VA, 900 VA, 1.300 VA, 2.200 VA s/d 5.500 VA, 6.600 VA s/d 200 kVA, P-2 (200 kVA ke atas), P-3. (Fauzi, 2021) dalam (Fitrianto, 2015).

2.4.2. Karakteristik Beban

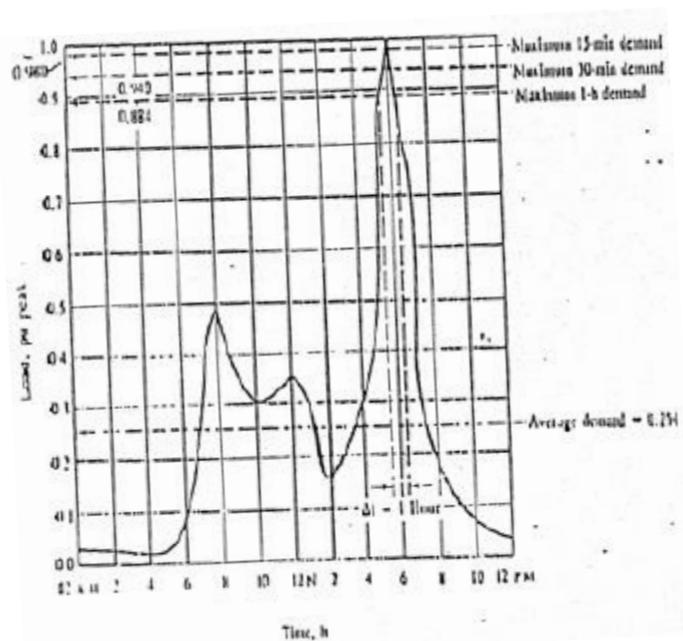
Pada umumnya konsumen listrik terbagi menjadi 3 (tiga) sektor yaitu sektor domestic atau rumah tangga, sektor komersial, dan sektor industrial. Dapat diamati bahwa setiap sektor memiliki karakteristik beban yang berbeda – beda karena hal tersebut ada kaitannya dengan pola konsumsi energi listrik pada masing – masing sektor. Pada sektor rumah (perumahan) pada pembebanannya diperlihatkan dengan adanya fluktuasi konsumsi energi listrik yang cukup besar, hal ini disebabkan oleh konsumsi listrik tersebut berpusat pada daerah perumahan. Pada konsumen industri untuk konsumsi energi listrik hamper sama sepanjang hari dikarenakan terlihat pada pola pembebanan yang selalu terpakai seimbang setiap saat sehingga perbandingan antara beban rata – rata terhadap beban puncak hamper mendekati satu. Pada sektor komersial dapat diamati bahwa beban puncak rata – rata terjadi di malam hari yang lebih tinggi daripada di siang hari. (Suswanto, 2009)

2.4.2.1. Kebutuhan (Demand)

Kebutuhan pada sistem tenaga listrik adalah sebuah beban pada terminal terima secara rata-rata dalam suatu selang (interval) waktu tertentu. Beban tersebut bisa dalam satuan Ampere (A), kiloampere (kA), kiloWatts (kW) dan kiloVoltAmpere (kVA). Kebutuhan beban listrik pada suatu daerah tergantung dari beberapa faktor yaitu diantaranya keadaan penduduk, pertumbuhan ekonomi, rencana pengembangannya dalam waktu dekat dan waktu yang akan datang. Sehingga kebutuhan mendatang sangat bergantung pada faktor-faktor yang dapat diketahui tersebut. (Suswanto, 2009)

2.4.2.2. Kebutuhan Maksimum

Kebutuhan maksimum dapat terjadi selama waktu satu jam, harian, mingguan, bulanan atau bahkan tahunan. Kebutuhan maksimum merupakan kebutuhan terbesar yang dapat terjadi dalam suatu selang tertentu, biasanya terjadi dalam selang 15 menit, selang 30 menit atau dalam hal-hal tertentu 60 menit. Gambar 2.6 menggambarkan bahwa besarnya kebutuhan maksimum berubah untuk periode waktu selama diukur. Dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. 6 Perubahan kebutuhan maksimum terhadap waktu (Suswanto, 2009)

2.4.2.3. Beban Terpasang

Beban terpasang merupakan jumlah kapasitas dari semua beban dengan kapasitas yang tertera pada papan nama (name plate) dan peralatan-peralatan listrik. Perbandingan beban puncak terhadap beban terpasang merupakan derajat pelayanan serentak pada seluruh beban terpasang. Hal ini dapat dijelaskan besarnya jumlah beban terpasang sangat mempengaruhi pola pelayanan beban. Sebagai

contoh, konsumen komersil dan industri memiliki derajat pelayanan yang tinggi jika dibandingkan dengan konsumen rumah tangga (residential). Beban terpasang ini dapat diketahui dengan melakukan survei ke lapangan ataupun data sekunder dari perusahaan yang menyediakan daya listrik. (Suswanto, 2009)

2.4.2.4. Beban Rata – Rata

Beban rata-rata (Br) didefinisikan sebagai perbandingan antara energi yang terpakai dengan waktu pada suatu periode. Atau dituliskan menurut persamaan 2.1 periode tahunan : (Suswanto, 2009)

$$Br = \frac{kWh \text{ yang terpakai selama satu tahun}}{365 \times 24} \quad (2. 1)$$

2.4.2.5. Faktor Beban

Faktor beban dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara beban rata-rata dengan beban puncak yang diukur untuk suatu periode waktu tertentu. Beban puncak (Lf) yang dimaksud adalah beban puncak sesaat atau beban puncak rata-rata dalam interval tertentu, pada umumnya dipakai beban puncak pada waktu 15 menit atau 30 menit, untuk prakiraan besarnya faktor beban pada masa yang akan datang dapat didekati dengan data statistik yang ada. Dari definisi faktor beban dapat dituliskan menurut persamaan 2.2

$$Lf = \frac{Br(\text{Beban Rata – Rata})}{Bp(\text{Beban Puncak})} \quad (2. 2)$$

Persamaan 2.2 tersebut mengandung arti bahwa beban rata-rata akan selalu bernilai lebih kecil dari kebutuhan maximum atau beban puncak, sehingga faktor beban akan selalu lebih kecil dari satu. (Suswanto, 2009)

2.4.2.6. Faktor Kebutuhan

Faktor kebutuhan adalah perbandingan antara beban puncak dengan seluruh beban terpasang pada suatu sistem tenaga listrik. Definisi dari faktor kebutuhan dapat dituliskan menjadi rumus seperti persamaan 3 berikut ini. (Suswanto, 2009)

$$Fd = \frac{Bp \text{ (Beban Puncak)}}{Bc \text{ (Beban Terpasang)}} \quad (2. 3)$$

Faktor kebutuhan akan selalu bernilai lebih kecil daripada satu. Besarnya faktor kebutuhan dipengaruhi oleh beberapa hal berikut ini yaitu diantaranya:

- Besarnya beban terpasang pada sistem tenaga listrik
- Sifat pemakaian energi listrik, sebagai contoh toko-toko, pusat perbelanjaan, kantor-kantor dan industri memiliki faktor kebutuhan tinggi sedangkan gudang dan tempat rekreasi memiliki faktor kebutuhan rendah.

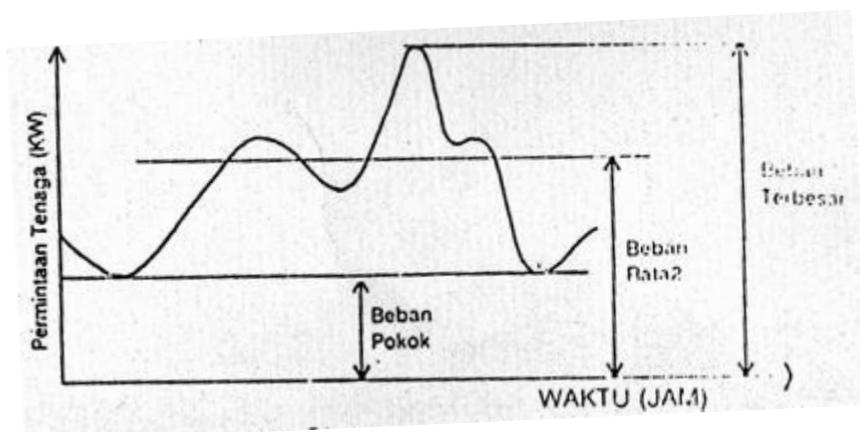
2.4.2.7. Permintaan Maksimal

Permintaan maksimal merupakan suatu beban maksimal energi listrik yang diminta oleh pelanggan listrik sewaktu – waktu. Ketika malam hari pelanggan listrik akan bersama – sama menyalakan lampu sebagai penerangan ini akan menjadikan listrik yang digunakan akan sama dengan beban tersambung. Biasanya beban maksimal lebih kecil dari daya yang tersambung ke PLN karena tidak semua pelanggan listrik menggunakan beban secara bersamaan. Kebutuhan maksimal suatu stasiun pembangkit merupakan beban maksimal pada stasiun pembangkit pada periode waktu tertentu. Faktor kebutuhan/permintaan (*demand faktor*) dapat dirumuskan sebagai berikut: (Suswanto, 2009)

$$\text{Faktor permintaan} = \frac{\text{permintaan maksimal}}{\text{beban maksimal}} \quad (2. 4)$$

2.4.2.8. Kurva Beban

Kurva beban adalah sebuah grafik yang menunjukkan hubungan antara beban (kW) dan waktu (jam). Kurva beban bermacam – macam bentuknya, kurva yang diplot selama 24 jam atau sehari dapat disebut sebagai kurva harian beban. Kurva yang diplot selama 12 bulan ataupun satu tahun (8760 jam) maka dapat disebut sebagai kurva beban tahunan. Daerah yang terletak di bawah kurva beban merupakan suatu energi listrik yang dibangkitkan ataupun dihasilkan dalam jangka waktu tertentu. Beban rata – rata pada stasiun pembangkit dihasilkan dari luas daerah di bawah kurva beban yang dibagi dengan jumlah waktu yang bersangkutan. Kurva beban memberikan informasi yang cukup lengkap tentang beban yang akan digunakan di jangka waktu yang akan datang dan dapat juga untuk membantu dalam pemasangan kapasitas terpasang dari pembangkit ke pusat beban. Kurva beban juga digunakan dalam menentukan kapasitas pembangkit serta estimasi biaya operasional pembangkit serta untuk menentukan schedule pengoperasian suatu pembangkit yaitu tentang mengatur giliran suatu operator pembangkit untuk menghidupkan pembangkit. (Suswanto, 2009)



Gambar 2. 7 kurva beban

2.4.2.9. Faktor Kapasitas

Faktor kapasitas adalah perbandingan/ratio dari energi aktual yang dihasilkan dengan satuan kilowatt jam (kWh) dengan energi maksimal yang mungkin dapat dihasilkan oleh suatu pembangkit listrik selama periode waktu yang sama. Faktor kapasitas pembangkit dapat dirumuskan sebagai berikut: (Suswanto, 2009)

$$\text{Faktor Kapasitas Pembangkit} = \frac{E}{C \times t} \quad (2.5)$$

Dimana:

E = energi yang dihasilkan (kWh) dalam suatu periode tertentu

C = kapasitas pembangkit (kW)

t = Total jam dalam periode waktu tersebut.

2.4.2.10. Faktor Diversitas

Faktor diversitas merupakan jumlah perbandingan ataupun rasio dari jumlah total permintaan maksimal suatu energi listrik dari konsumen dengan permintaan secara simultan dari suatu sistem. Biasanya permintaan – permintaan dari pelanggan tidak secara bersamaan dan terkadang permintaan maksimal secara simultan lebih kecil dari total permintaan maksimalnya. Suatu stasiun pembangkit energi listrik harus mampu memenuhi permintaan maksimal secara simultan. (Suswanto, 2009)

Tabel 2. 1 Faktor Permintaan untuk beberapa tipe Pelanggan

Tipe Pelanggan		Faktor Permintaan
Penerangan (Tahanan)	0 sampai dengan ¼ kW	1.00
	¼ kW sampai dengan ½ kW	0.60

	Lebih dari 1 kW	0.50
Penerangan (Komersial)	Sekolah – sekolah, hotel	0.55
	Industri kecil, teater	0.65
	Restaurant, kantor, toko	0.70
Pelayanan Tenaga (umum)	0 sampai dengan 10 HP	0.75
	10 sampai dengan 20 HP	0.65
	20 sampai dengan 100 HP	0.55
	Diatas 100 HP	0.50

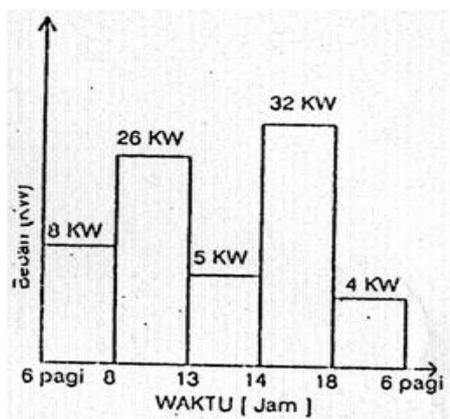
Tabel 2. 2 Faktor Diversitas

Tipe Pelanggan	Faktor Diversitas		
	Penerangan (rumah)	Penerangan (komersil)	Penerangan (umum)
Antar sub-stasin	1.1	1.1	1.1
Antar pengumpan (feeder)	1.2	1.2	1.2
Antar transformator	1.3	1.3	1.3
Antar pelanggan	1.5	1.5	1.5

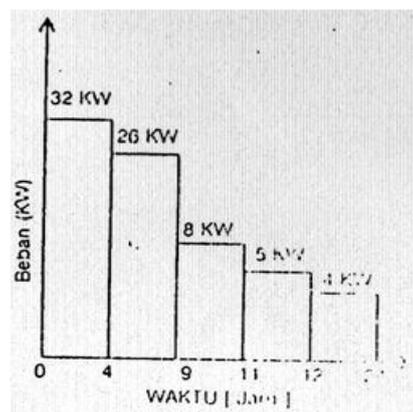
2.4.2.11. Kurva Waktu Beban (Kurva Durasi Beban)

Kurva waktu beban merupakan suatu grafik atau kurva yang menunjukkan urutan besarnya beban dan lama waktu dari beban yang terbesar sampai dengan beban yang terkecil selama satu hari atau 24 jam, biasanya grafik kurva waktu beban tergambar menurun. Tetapi grafik ini diambulkan grafik-chronologis yaitu grafik yang menunjukkan beban-beban dari jam 6 pagi sampai jam 6 pagi lagi, menurut kenyataannya. Kalau dari grafik-chronologis kita urutkan dari beban

terbesar, sesuai dengan lamanya beban itu bekerja, sampai yang terkecil, maka grafik yang kita peroleh diramalkan kurva waktu-beban atau kurva durasi Beban. Luas dibawah garis pada grafik chronologis dan grafik durasi tentunya sama dan menggambarkan jumlah energi selama 24 jam yang dihasilkan oleh pembangkit. Kurva Durasi-Beban membantu kita untuk memilih/mengopersikan genset secara ekonomis untuk memilih beban pokok (beban-dasar) dan beban terbesar (peak load) menjadi lebih mudah. (Suswanto, 2009)



Gambar a Grafik Kronologis



Gambar b Grafik durasi

Gambar 2. 8 Grafik kronologis dan grafik durasi

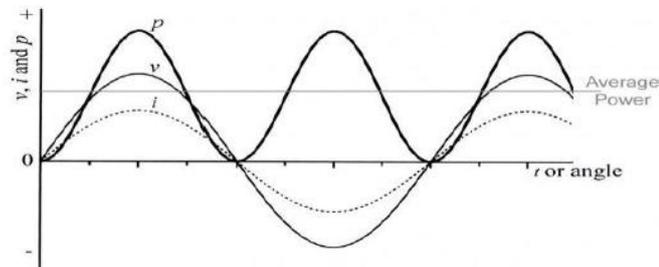
2.4.3. Jenis – Jenis Beban Listrik

Jaringan listrik AC yang disediakan oleh PLN memiliki jenis beban yang harus ditopang yaitu sebanyak 3 (tiga) jenis yaitu beban resistif, beban induktif, dan beban kapasitif. Ketiganya memiliki karakteristik yang berbeda satu sama lain.

2.4.3.1. Beban Resistif

Beban resistif dihasilkan oleh peralatan elektronika yang bersifat murni tahanan (resistor) yang biasanya ditemui pada elemen pemanas dan lampu pijar. Pada beban resistif ini tercipta secara pasif, dimana diketahui beban tidak bisa

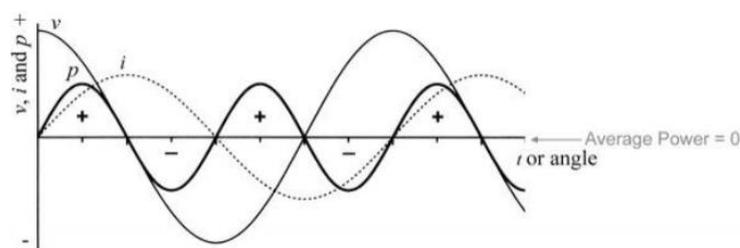
menghasilkan ataupun memproduksi energi listrik. Beban resistif ini menyerap daya aktif (P) dan sama sekali tidak menyerap daya reaktif (Q). berikut ini merupakan gambaran dari bentuk gelombang pada beban resistif. (Ikmaludin, 2017)



Gambar 2. 9 Grafik Gelombang Tegangan Resistif (Ikmaludin, 2017)

2.4.3.2. Beban Induktif

Beban induktif dapat tercipta ketika sebuah lilitan kawat ataupun kumparan pada peralatan listrik dialiri oleh arus listrik. Beban induktif ini memiliki power faktor antara 0 sampai dengan 1 yang bersifat *lagging* atau tertinggal. Beban induktif ini menyerap daya aktif (P) dengan satuan watt dan juga menyerap daya reaktif (Q) dengan satuan VAR. Beban induktif diperlihatkan oleh penggambaran di bawah ini. (Ikmaludin, 2017)

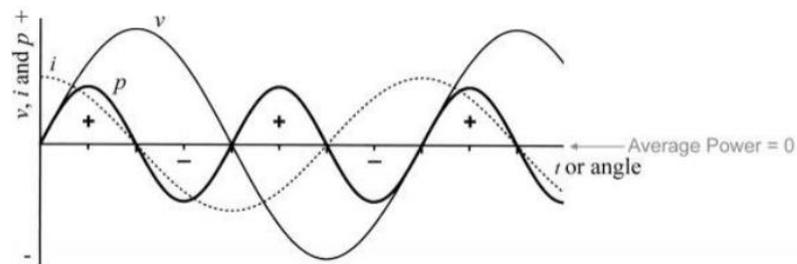


Gambar 2. 10 Grafik gelombang tegangan beban induktif (Ikmaludin, 2017)

2.4.3.3. Beban Kapasitif

Beban kapasitif merupakan suatu peralatan elektronika ataupun alat – alat listrik yang menggunakan rangkaian kapasitor. Pada beban kapasitif ini faktor daya yang dimiliki bernilai 0 hingga 1 *leading* (mendahului). Beban kapasitif ini

menyerap daya aktif (P) dengan satuan watt dan mengeluarkan daya reaktif (Q) dengan satuan VAR. gambar dibawah ini merupakan penggambaran dari gelombang pada rangkaian kapasitor yang terdapat pada alat listrik atau dapat disebut dengan beban kapaistif. (Ikmaludin, 2017)



Gambar 2. 11 grafik gelombang tegangan beban kapasitif (Ikmaludin, 2017)

2.5. Faktor - Faktor Yang Mempengaruhi Tingkat Kebutuhan Energi Listrik

Kebutuhan energi listrik seiring dengan perkembangan jaman semakin lama semakin meningkat setiap tahunnya. Hal ini diakibatkan karena semakin berkembangnya kebutuhan setiap tahunnya yang bervariasi. Menurut Dinas Perindustrian, Perdagangan Bidang Pertambangan dan Energi tingkat kebutuhan energi listrik dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu faktor ekonomi, pertumbuhan penduduk, pembangunan daerah, dan faktor lainnya. (Riau, 2019)

2.5.1. Faktor Ekonomi

Faktor ekonomi merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi tingkat kebutuhan energi listrik, karena ketika masyarakat dengan ekonomi rendah akan berbeda penggunaan energi listriknya dengan masyarakat yang berekonomi sedang maupun tinggi. Salah satu faktor ekonomi yang mempengaruhi tingkat kebutuhan tenaga listrik adalah pertumbuhan Produk Domestik Regional Bruto atau sering disingkat PDRB. Secara umum, PDRB diklasifikasikan menjadi 3 sektor, yaitu PDRB sektor komersial (bisnis), PDRB sektor industri dan PDRB sektor

publik. Kegiatan ekonomi yang dikategorikan sebagai sektor komersial/bisnis adalah sektor listrik, gas dan air bersih, bangunan dan konstruksi, perdagangan, serta transportasi dan komunikasi. Kegiatan ekonomi yang termasuk sektor publik adalah jasa dan perbankan seperti Bank BRI, Bank Mandiri, Bank BTN, dan lain sebagainya, dan juga yang dikategorikan sebagai sektor publik yaitu yang termasuk dalam Lembaga keuangan selain perbankan. Sektor Industri sendiri adalah mencakup kegiatan industri migas dan manufaktur. (Riau, 2019)

2.5.2. Faktor Pertumbuhan Penduduk

Selain faktor ekonomi faktor pertumbuhan penduduk juga memiliki pengaruh yang besar terhadap kebutuhan tenaga listrik. Sesuai dengan prinsip demografi, pertumbuhan penduduk akan terus turun setiap tahunnya sampai pada suatu saat akan berada pada kondisi yang stabil. Seiring dengan perkembangan jaman dari tahun ke tahun pada tingkat pertumbuhan penduduk di suatu wilayah maka akan berpengaruh juga terhadap kebutuhan energi listrik di wilayah tersebut. (Riau, 2019)

2.5.3. Faktor Pembangunan Daerah

Faktor pembangunan daerah menjadi faktor yang cukup berperan penting untuk meningkatkan kebutuhan energi listrik. Ketika suatu pembangunan daerah sedang berjalan maka akan sangat dipengaruhi oleh tingkat perekonomian daerah itu sendiri. Dapat dikatakan bahwa pembangunan daerah selalu ada setiap tahunnya di suatu wilayah. Dalam hal ini ada baiknya langsung maupun tidak langsung, faktor ekonomi sangat berpengaruh terhadap kebutuhan energi listrik seiring dengan berjalannya pembangunan. Ketika ekonomi suatu masyarakat di daerah tertentu rendah maka tingkat pembangunan di wilayah tersebut memiliki presentase

yang rendah pula begitupun sebaliknya jika tingkat ekonomi masyarakat di suatu wilayah besar ataupun tinggi maka pembangunan daerah di wilayah tersebutpun ikut tinggi juga. Pemerintah Daerah dengan posisi sebagai pelaksana pemerintah di tingkat daerahpun akan mengambil peran penting dalam perencanaan pengembangan wilayah. Hal itu terbentuk kebijakan yang tertuang dalam peraturan daerah. Termasuk didalamnya adalah perencanaan tentang tata guna lahan pengembangan industri kewilayahan pemukiman dan faktor geografis. (Riau, 2019)

2.5.4. Faktor Lain – Lain

Beberapa faktor lain juga mempengaruhi tingkat kebutuhan energi listrik diantaranya adalah luas bangunan yang digunakan oleh konsumen listrik, semakin luas bangunan maka semakin besar pemakaian listrik, selain itu pendapatan konsumen listrik juga berpengaruh semakin besar pendapatan yang diterima oleh konsumen listrik maka peluang untuk pemakaian listrik juga semakin meningkat, profesi ataupun pekerjaan para konsumen listrik juga berpengaruh semakin tinggi jabatan profesi maupun pekerjaannya maka biasanya konsumsi listriknya semakin banyak, jumlah anggota keluarga juga sangat berpengaruh pada kebutuhan energi listrik yaitu semakin banyak jumlah anggota keluarga pada konsumen listrik semakin besar pula tingkat pemakaian energi listriknya, dan faktor yang lainnya. (Afdhol, 2020)

2.6. Peramalan Beban Listrik

Peramalan sendiri dapat dilakukan menggunakan dua acara yaitu secara kualitatif dan secara kuantitatif. Peramalan secara kualitatif yaitu merupakan sebuah peramalan yang hasilnya merupakan suatu pendapat dari yang melakukan peramalan tersebut. Sedangkan peramalan secara kuantitatif merupakan sebuah

peramalan yang dilakukan dengan menggunakan beberapa data tertentu. Melihat hal tersebut maka dalam hal peramalan dapat dikenal istilah perkiraan dan peramalan. Perkiraan dapat didefinisikan sebagai proses peramalan suatu variabel atau kejadian masa yang akan datang dengan berdasarkan data atau variable yang sudah terjadi sebelumnya. Data masa lampau (data sejarah atau historis) tersebut secara sistematis digabungkan menggunakan suatu metode tertentu yang kemudian akan diolah sehingga peramalan untuk kejadian di masa mendatang dapat dijalankan. Sedangkan peramalan didefinisikan sebagai proses peramalan suatu variable di masa yang akan datang berdasarkan data yang telah ada sebelumnya dan ditelaah secara subjektif ataupun pendapat dari suatu kejadian yang memiliki data yang terjadi di masa lampau. Dalam tahap peramalan akan sangat baik untuk peramal yang memiliki kepekaan dan pengalaman. (Perdana, 2012)

Ramalan juga terdapat dibidang elektrik yaitu menentukan besarnya kebutuhan daya listrik yang akan di gunakan di masa yang akan datang dalam satuan (watt jam atau watt hours) dan ramalan beban tenaga elektrik (watt). Istilah tersebut dapat ditulis sebagai *Demand and Forecasting*. Hasil dari peramalan tersebut dapat digunakan untuk membuat rencana pemenuhan kebutuhan maupun dapat digunakan sebagai pengembangan penyediaan energi listrik yang disediakan sesuai dengan kebutuhan sehingga kebutuhan energi listrik konsumen dapat terpenuhi setiap waktu dan secara terus menerus. Secara garis besar tahapan dalam peramalan energi listrik dapat dilakukan dalam beberapa tahap yaitu: (Suswanto, 2009)

- a. Pengumpulan dan persiapan data;
- b. Melakukan pengolahan dan penganalisan data;
- c. Penentuan metode peramalan dan pembuatan model peramalan;

2.6.1. Metode Peramalan

Ketika akan membangun sistem pembangkit tenaga listrik maka harus diketahui kebutuhan maksimal dari wilayah ataupun daerah tersebut untuk mengukur seberapa besar kapasitas pembangkit listrik yang diperlukan. Dalam meramalkan atau memperkirakan beban maksimal yang terdapat di suatu daerah itu sangatlah sulit akan tetapi masalah ini dapat diatasi dengan membuat estimasi ataupun perkiraan/perencanaan yang nilainya mendekati kenyataan. Ada dua metode dalam peramalan beban yaitu Metode Statistik dan Metode Survey Lapangan. (Suswanto, 2009)

Pada metode statistik maka dapat dikumpulkan data – data tahunan untuk suatu area tersebut dalam beberapa tahun terakhir. Ketika data sudah diperoleh maka dari hasil data tersebut dapat diolah untuk memperkirakan kebutuhan beban listrik dimasa yang akan datang. Pada metode survey-lapangan data-data kebutuhan listrik/beban dari lokasi yang bersangkutan (dengan beban yang bervariasi) seperti misalnya untuk industri, pertanian, kantor-kantor dan perumahan penduduk dikumpulkan dari survey-lapangan. Begitu pula data-data yang berhubungan dengan penggunaan beban listrik yang menyangkut pertumbuhan beban seperti : penambahan penduduk, standar kehidupan, data-data iklim cuaca pada area tersebut dan pengembangan industri juga dikumpulkan. (Suswanto, 2009)

Secara umum dalam melakukan peramalan atau perkiraan kebutuhan energi listrik dapat menggunakan lima metode sebagai berikut: (Suswanto, 2009)

2.6.1.1. Metode Sampling Statistik

Metode ini digunakan berdasarkan sebuah data dan analisa dari pemakaian energi listrik di semua sektor pemakaian. Metode ini memiliki keunggulan yaitu hasil ramalan atau perkiraan dari metode ini merupakan simulasi dari peramalan kebutuhan beban di masa mendatang tentang penggunaan tenaga elektrik yang sifatnya lebih terperinci atau detail yang dapat pula mensimulasikan perubahan teknologi, kebiasaan pemakaian, serta kebijaksanaan pemerintah. Kekurangan dari metode ini yaitu memerlukan data yang cukup banyak sehingga terkadang data yang digunakan tidak ada di pusat pengelolaan data. Metode ini pernah digunakan sebagai analisis kebutuhan beban energi listrik di Indonesia, yaitu kebutuhan energi listrik sektor rumah tangga dengan tahapan pengerjaan sebagai berikut: (Suswanto, 2009)

- Tahap pertama mendefinisikan fungsi yaitu rumusan kebutuhan energi dalam fungsi matematik.
- Tahap kedua berupa pengujian hubungan antara parameter.

Metode ini biasanya digunakan untuk meramalkan kebutuhan energi listrik di daerah yang luas yang memiliki sistem pembangkit listrik dan pusat beban yang merata di setiap wilayahnya. Jadi, ketika akan mengambil sample untuk meramalkan kebutuhan energi listrik di suatu wilayah maka kita dapat mengambil sample cukup satu daerah atau wilayah untuk mewakili semua wilayah atau daerah karena pembagian listriknya yang merata di daerah atau wilayah tersebut sehingga dalam hal ini dapat mempermudah dalam perhitungan. Syarat utama dalam menggunakan metode ini adalah pembebanan kelistrikan yang merata di tiap – tiap

daerah dan persyaratan ini tidak dapat terpenuhi untuk daerah terpencil atau daerah yang sedang berkembang. (Suswanto, 2009)

2.6.1.2. Metode Ekstrapolasi

Pada metode ini diketahui bahwa perubahan yang terjadi di masa lampau akan sama dengan perubahan yang terjadi di masa sekarang ataupun yang akan datang sehingga dapat disimpulkan perubahannya bersifat kontinyu dari masa ke masa. Metode ini kurang tepat digunakan untuk daerah atau wilayah yang sedang berkembang karena terjadinya fluktuasi di wilayah atau daerah tersebut. (Suswanto, 2009)

2.6.1.3. Metode Perbandingan

Metode perbandingan merupakan sebuah metode dalam meramalkan atau memperkirakan kebutuhan energi listrik di suatu daerah dengan analisa perbandingan serta kecenderungan yang homogen pada daerah lain. Metode ini tidak dapat digunakan pada daerah yang sifat kelistrikannya sama. Metode ini juga disebut sebagai metode kecenderungan yaitu suatu metode yang dibangun berdasarkan hubungan data masa lalu tanpa memperhatikan penyebab (seperti faktor teknologi, faktor ekonomi, dan lain – lain). Metode ini biasanya digunakan untuk meramalkan atau memperkirakan kebutuhan energi listrik jangka pendek. (Suswanto, 2009)

2.6.1.4. Metode Sektoral

Metode sektoral merupakan sebuah metode yang dilakukan dengan melaksanakan pengamatan terhadap pertumbuhan beban listrik pada setiap sektor – sektor beban. Dimana beban dikelompokkan menjadi beberapa bagian yaitu

sektor residential ataupun rumah tangga, sektor komersial, dan sektor industri, sektor publik, dan sektor sosial. Kebutuhan energi listrik di pusat beban merupakan jumlah kebutuhan energi listrik pada seluruh sektor tersebut pada masing – masing pusat beban. Metode ini memiliki keunggulan yaitu data yang dihasilkan akan lebih presisi karena metode ini akan lebih teliti dibandingkan dengan metode lainnya. (Suswanto, 2009)

2.6.1.5. Metode Gabungan

Metode gabungan merupakan sebuah metode dengan menggabungkan keempat metode diatas, setiap metode dan proses memiliki kelebihan dan kekurangan masing – masing sehingga sulit untuk menentukan mana yang terbaik hal ini juga dipengaruhi oleh pelaksanaan peramalan yang berbeda – beda menurut kondisi dan ruang lingkungannya. Metode terbaik yang dikembangkan adalah metode yang dikembangkan berdasarkan keadaan daerah tersebut yang bersangkutan dengan kondisi ataupun keadaan sosial dan ekonomi wilayah setempat. Pada setiap periode tertentu ramalan beban harus dikoreksi kembali dan harus disesuaikan dengan kondisi yang terjadi sesungguhnya. Faktor lain yang harus diperhatikan dalam menentukan suatu metode yaitu permasalahan kependudukan dan penyebarannya. (Suswanto, 2009)

2.6.2. Model Peramalan

Model peramalan harus dapat menggambarkan hubungan antara penjualan energi elektrik dengan variable lain yang ada dalam masyarakat seperti variable pendapatan dan tingkat konsumsi masyarakat. Hubungan anatara penjumlahan antara energi elektrik dengan variable – variable lain biasanya sangat rumit dan saling berhubungan. Oleh sebab itulah digunakan model pendekatan untuk

mempermudah peramalan. Ada dua macam model pendekatan yaitu: (Suswanto, 2009)

2.6.2.1. Model Mikro

Model Mikro merupakan sebuah permodelan yang meninjau secara terperinci setiap komponen maupun variable yang berhubungan dengan penjualan energi elektrik.

2.6.2.2. Model Makro

Pada model makro, teknik permodelan dilakukan dengan meninjau secara umum dengan cara menyederhanakan variable yang mempengaruhi penjualan energi elektrik. Dalam penyusunan permodelan ini dilakukan pembagian konsumen listrik yaitu pada sektor rumah tangga, sektor publik, sektor industri, sektor bisnis, dan sektor komersial.

2.6.2.3. Model Peramalan Algoritma

Algoritma dibagi menjadi 2 (dua) bagian yaitu: (Suswanto, 2009)

- a. Peramalan Kebutuhan Energi Elektrik
 - i. Pertama – tama mengumpulkan data – data historis dari suatu variable yang mempengaruhi nilai kebutuhan energi listrik seperti data kependudukan, Produk Domestik Regional Bruto, tingkat konsumsi energi listrik masyarakat, dan data produksi energi listrik PLN untuk beberapa tahun terakhir, faktor beban, serta data – data lain yang dibutuhkan.
 - ii. Langkah selanjutnya yaitu melakukan analisa awal terhadap data – data yang diperoleh serta menyusun secara sistematis data yang telah didapat tiap sektor yang dipengaruhi.

- iii. Melakukan perhitungan secara sistematis terhadap data yang telah diperoleh pada data historis yang dijadikan sebuah variabel.
- iv. Melibatkan beberapa kebijaksanaan yang telah ditetapkan untuk membatasi kegiatan adalah suatu hal yang harus diikuti.
- v. Melakukan penyusunan hasil ramalan pada masing – masing sektor dan ramalan secara keseluruhan untuk beberapa tahun kedepan serta menentukan tingkat pertumbuhan energi listrik total per tahunnya.

b. Peramalan Beban

Peramalan beban ditulis sesudah peramalan kebutuhan energi dilakukan pada dasarnya laju perkembangan pertumbuhan energi sama dengan laju pertumbuhan beban rata – rata sedangkan untuk menghitung pertumbuhan beban puncak harus dicari terlebih dahulu hubungan antara laju pertumbuhan beban puncak dengan langkah – langkah sebagai berikut ini:

- i. Menentukan persamaan pertumbuhan beban total pertahun
- ii. Menentukan persamaan pertumbuhan faktor beban pertahun
- iii. Menentukan persamaan pertumbuhan beban pertahun dengan menghubungkan i dan ii
- iv. Menyusun hasil peramalan untuk beberapa tahun kedepan

2.5.3. Analisis Peramalan

Suatu metode peramalan yang digunakan untuk mengamati beberapa hubungan antar faktor sehingga mempengaruhi nilai besaran tertentu disebut dengan metode kausal. Salah satu model dari metode ini yaitu model regresi. Model regresi yaitu suatu model matematik yang memanfaatkan data masa lampau untuk menganalisa bentuk formulasi suatu variabel terhadap variabel yang lainnya, yang

dapat digunakan dalam memprediksi pola kejadian pada masa yang akan datang. Bentuk umum dalam bentuk model regresi yaitu: (Suswanto, 2009)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n \quad (2.6)$$

Dengan:

X_1 dan X_2 disebut variabel bebas dan Y disebut variabel tak bebas sedangkan β_0 , β_1 , β_2 adalah sebuah parameter yang akan di perkirakan nilainya menurut data historis masa lampau. Ketika nilai taksiran β_0 , β_1 , β_2 ini akan dapat ditentukan seberapa besar nilai – nilai $X_1 = (1 = 1,2,3, \dots)$ tersebut akan mempengaruhi nilai variabel Y . Ada beberapa kategori yang di klasifikasikan dalam model regresi. Salah satunya adalah pengklasifikasian berdasarkan jumlah variabel bebasnya dikenal dua model regresi yaitu model regresi linier sederhana dan model regresi majemuk.

2.7. Prakiraan Beban Jangka Panjang

Prakiraan energi listrik merupakan suatu kumpulan dari sebuah pengambilan keputusan yang dibuat guna untuk membantu pemilihan dalam perencanaan energi listrik yang paling efektif dan efisien. Dalam memperkirakan pemenuhan kebutuhan tenaga listrik pertama – tama hal yang harus dilakukan adalah memperkirakan kebutuhan (*demand*) dan meramalkan kebutuhan beban tenaga listrik untuk 10 (sepuluh) tahun kedepan pada setiap sektor pemakaian tenaga listrik. Pada rencana pemenuhan kebutuhan energi listrik ini dipengaruhi oleh pertumbuhan ekonomi tiap daerah, program elektrifikasi serta mempertimbangkan kemungkinan pemanfaatan *captive power* ke dalam sistem secara keseluruhan atau dari kelebihan *supply* tenaga listrik yang tersedia.

Peramalan beban listrik untuk masa mendatang memiliki peranan yang sangat penting dalam proses perencanaan, pengoperasian, serta pengontrolan sistem tenaga listrik. Peramalan sendiri memiliki arti yaitu merupakan suatu studi untuk memprediksi besarnya suatu beban listrik (disini merupakan daya aktif) aktual yang akan terjadi di masa mendatang. Dalam melakukan suatu proses untuk merencanakan dan mengoperasikan pada aplikasi peramalan beban listrik diperlukan jangka waktu tertentu atau interval tertentu yang biasanya disebut dengan interval peramalan. Dalam membuat perencanaan beban listrik pemodelan yang akurat dalam peramalan beban listrik sangat penting untuk menunjang perancangan dan pengoperasian energi listrik pada perusahaan penyedia energi listrik di Indonesia oleh PT. PLN (Persero). Peramalan permintaan beban ini akan sangat membantu dalam penyediaan energi listrik dan untuk menentukan keputusan penting dalam penyediaan energi listrik. Keputusan itu termasuk keputusan pembelian pembangkit energi listrik, pengalihan beban dan pembangunannya. Peramalan beban listrik juga sangat penting bagi para penyedia energi listrik dan pihak - pihak lain yang berhubungan dengan pembangkit, transmisi, distribusi dan pemasaran energi listrik. Selanjutnya, peramalan beban listrik untuk beberapa jangka waktu yang berbeda akan dapat memberikan informasi penting tentang perbedaan pengoperasian dalam penyedia energi listrik. (Kastanja & Tupalessy, 2017)

Perkiraan atau *forecast* merupakan dugaan terjadinya suatu peristiwa di masa yang akan datang. Perkiraan suatu kebutuhan konsumsi energi listrik sangatlah diperlukan guna dijadikan sebagai data masukan untuk perencanaan pembangunan suatu sistem kelistrikan serta digunakan sebagai pengoperasian sistem tenaga listrik

dalam menyediakan kebutuhan energi listrik bagi konsumen listrik agar sesuai kebutuhan yang diinginkan. Prakiraan energi listrik dapat diklasifikasikan menurut jangka waktunya menjadi 3 (tiga) macam diantaranya: (Djiteng Marsudi,2006 dalam (Ikmaludin, 2017)

a. Prakiraan Beban Jangka Panjang

Prakiraan beban jangka Panjang merupakan sebuah perkiraan kebutuhan beban dalam jangka waktu diatas satu tahun. Perkiraan beban jangka panjang memiliki permasalahan yaitu masalah – masalah makro ekonomi menjadi masalah yang ekstrim perusahaan listrik dalam menentukan perhitungan dan arah perkiraan di masa yang akan datang. Salah satu faktor makro tersebut yaitu adalah Produk Domestik Regional Bruto (PDRB). (Ikmaludin, 2017)

b. Prakiraan Beban Jangka Waktu Menengah

Prakiraan beban jangka waktu menengah yaitu sebuah perkiraan beban listrik dalam rentang satu bulan menuju satu tahun. Dalam perkiraan beban jangka menengah yang menjadi permasalahan yaitu manajerial perusahaan – perusahaan listrik contohnya tentang kemampuan secara teknis memperluas jaringan distribusi maupun transmisi dalam perkiraan aspek jangka menengah aspek yang perlu diperhatikan yaitu aspek operasional , karena dilihat dari perkiraan tersebut tidak dapat dikembangkan lagi secara detail ketika sistem tenaga listrik tersebut sedang melakukan proses pengembangan. Prakiraan mengenai besarnya beban minimum juga perlu diperhatikan karena dengan adanya beban minimum ini dapat menjadi permasalahan yaitu munculnya tegangan yang berlebih pada sistem tenaga listrik. (Ikmaludin, 2017)

c. Prakiraan Beban Jangka Pendek

Prakiraan beban jangka pendek yaitu berada di dalam jangka waktu dalam hitungan jam hingga satu minggu kedepan atau ketika dikalkulasikan setara dengan (24 jam x 7 hari = 168 jam). Pada perkiraan beban jangka pendek ini terdapat kategori batas bawah untuk beban minimum dan batas atas digunakan untuk beban maksimum yang tentunya sebelumnya telah ditentukan oleh perkiraan beban jangka menengah. (Ikmaludin, 2017)

2.8. Kajian Perencanaan Energi Listrik

Ketersediaan energi listrik untuk masa mendatang tentunya harus diantisipasi dari sekarang mengingat energi listrik yang tidak dapat disimpan dan harus selalu disuplai tiap konsumen membutuhkan. Energi listrik yang tersedia juga harus dalam kualitas yang cukup baik dalam harga yang wajar sebagaimana telah tertuang dalam UU No. 30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan. (RUKN, 2019)

Dalam memproyeksikan energi listrik sangat erat hubungannya dengan pertumbuhan penduduk, pertumbuhan ekonomi, serta besaran tarif tenaga listrik. Pada pertumbuhan penduduk akan berdampak pada pertumbuhan pembangunan dengan kata lain semakin meningkatnya jumlah penduduk setiap tahun di suatu wilayah maka akan semakin meningkat pula perencanaan pembangunan di suatu wilayah tersebut ini akan meningkatkan grafik rasio elektrifikasi. (RUKN, 2019)

Pertumbuhan jumlah kebutuhan energi listrik akan berbanding lurus dengan pertumbuhan ekonomi serta pertumbuhan penduduk namun akan berbanding terbalik dengan kenaikan tarif tenaga listrik. Dalam artian semakin meningkatnya jumlah penduduk dan pertumbuhan ekonomi maka akan semakin meningkat pula rasio elektrifikasi yang berbeda dengan peningkatan tarif tenaga listrik, karena hal ini akan sedikit mengendalikan konsumsi energi listrik. (RUKN, 2019)

Perencanaan energi listrik dapat dikatakan baik jika dalam perencanaan tersebut mampu mengintegrasikan energi disemua sub sektor sehingga terjadi keseimbangan pada semua sektor yang telah direncanakan dan aspek – aspek yang terkait menjadi satu kesatuan. Manajemen pada perusahaan dapat menentukan tingkat perencanaan untuk memproduksi barang dan jasa pada masa yang akan datang. Tingkat produksi suatu barang akan dipengaruhi oleh tingkat permintaan dari konsumen yang akan dapat dipenuhi oleh produsen jika merencanakan kebutuhan energi listrik. Ketika konsumen menginginkan kebutuhan listrik yang lebih tinggi dari tahun sebelumnya ini akan mengakibatkan tingkat produksi energi listrik akan semakin meningkat pula dan menyebabkan terjadinya pemborosan biaya, seperti biaya penyimpanan, biaya modal, dan biaya kerusakan barang. Sedangkan ketika tingkat penawaran pada kebutuhan energi listrik di pasar energi maka akan mengakibatkan maka keuntungan terancam hilang karena kurva penawaran ataupun permintaan energi yang semakin menurun. (Husaien, 2016)

Pada saat keputusan optimal diinginkan maka diperlukan peramalan (*forecasting*). Metode peramalan digunakan untuk mengukur ataupun menaksir jumlah kebutuhan suatu produk di masa yang akan datang seperti halnya kebutuhan energi listrik. Peramalan tidak hanya digunakan untuk menaksir jumlah suatu produk yang akan dibuat dimasa yang akan datang tetapi juga dibutuhkan oleh beberapa bidang seperti pengadaan, penjualan, personalia, termasuk peramalan teknologi, ekonomi maupun perubahan sosial budaya. Pada perusahaan bidang satu akan terkait dengan bidang lainnya sehingga sebuah peramalan harus dibuat dengan sangat baik karena jika suatu peramalan dengan hasil baik maupun buruk akan berdampak langsung ke seluruh bagian perusahaan. Kebutuhan suatu peramalan

akan selalu bertambah tergantung dari permintaan dan manajemen perusahaan harus dapat memberikan respon secara cepat dan tepat untuk peramalan energi di masa yang akan datang, serta menjadi lebih ilmiah dalam menghadapi berbagai permasalahan yang ada di lingkungan. Melihat dari hal tersebut maka seorang manajemen operasional harus memiliki kemampuan untuk menguasai teknik peramalan yang baik dan benar. (Husaien, 2016)

2.9. Metode Pendekatan Prakiraan Perencanaan Energi Listrik

Dalam melakukan perencanaan tentunya ada beberapa model pendekatan agar hasil dari perencanaan yang kita buat dapat maksimal. Model pendekatan dalam perencanaan kebutuhan energi listrik dibagi menjadi beberapa macam yaitu pendekatan analitis, pendekatan ekonometrik, pendekatan kecenderungan trend, dan pendekatan gabungan. Dalam memilih metode tersebut biasanya metode yang dipilih yaitu berdasarkan data inputan yang dimasukkan oleh manajemen perencanaan energi. Prakiraan perencanaan energi dengan 4 (empat) metode yang dapat digunakan dalam melakukan perencanaan energi dapat dijelaskan sebagai berikut: (Tampubolon, Tumaliang, & Rumbayan, 2014)

2.9.1. Pendekatan Analitis (*End Use*)

Pendekatan analitis merupakan sebuah metode yang digunakan untuk melakukan perkiraan kebutuhan energi listrik yang dibangun dengan berdasarkan data dan analisa dari penggunaan akhir energi listrik pada setiap sektor beban. Pada metode analitis prinsip dasarnya yaitu dengan menggunakan data pemakaian akhir energi listrik yang datanya sangat terperinci tentang pemakaian energi listrik pada tiap sektor beban, maka dari itu ketika akan menggunakan metode analitis pada kebutuhan penjualan energi listrik untuk setiap sektor beban haruslah

memperhitungkan perkiraan jenis dan jumlah peralatan listrik yang dipakai serta konsumsi spesifiknya setiap macam – macam peralatan listrik maka dari itu metode ini disebut juga sebagai metode *end use*. Kelebihan ketika menggunakan metode ini yaitu hasil prakiraan kebutuhan energi listrik merupakan simulasi penggunaan energi listrik di masyarakat lebih terperinci serta dapat menggambarkan perubahan penggunaan teknologi di bidang energi listrik, dan dapat dilihat pula kebiasaan konsumen ataupun pelanggan listrik. Kelemahan dalam metode ini yaitu sulitnya mencari data - data detail yang diperlukan karena kadang sering tidak ada di pusat pengolahan data energi listrik seperti PLN. (Husaien, 2016)

Model pendekatan *end use* juga sering dikenal sebagai metode engineering model. Hasil dari pendekatan ini akan lebih detail meskipun menggunakan perhitungan fungsi yang cukup sederhana. Teknologi juga dipertimbangkan dalam proses aliran energi listrik juga digunakan dalam perhitungan. Pendekatan model ini sangat cocok untuk menganalisis efisiensi energi karena dimungkinkan secara eksplisit memperhitungkan perubahan teknologi dan tingkat pelayanan. Permintaan energi dari masing – masing kegiatan merupakan produk dari dua faktor yaitu tingkat aktifitas (layanan energi) dan intensitas energi (penggunaan energi per unit layanan energi). Selain itu, permintaan total maupun permintaan energi dari wilayah sektoral dipengaruhi oleh rincian kegiatan yang berbeda yang membentuk komposisi, atau struktur dari permintaan energi. Secara matematis pendekatan *end use* dapat dirumuskan sebagai berikut: (Tampubolon, Tumaliang, & Rumbayan, 2014)

- Jumlah Pelanggan/ Number of Customer (NCt) Pelanggan Rumah Tangga

$$NC_{R(t)} = \left(\left(\frac{RE_{(t)}}{100} \right) \left(\frac{JP_{(t)}}{(P/Hh)_{(t)}} \right) \times 1000 \right) \quad (2.7)$$

Dimana:

$NC_{R(t)}$ = Jumlah pelanggan rumah tangga tahun t (jiwa)

(t) = tahun t

$RE_{(t)}$ = Rasio elektrifikasi tahun t

$JP_{(t)}$ = Jumlah penduduk tahun t

$(P/Hh)_{(t)}$ = Jumlah orang per rumah tangga tahun t

- Jumlah Pelanggan/ Number of Customer (NCt) pelanggan Bisnis

$$NC_{B(t)} = \left(1 + \frac{(CF_{B(t)} \times GD_{B(t)})}{100} \right) NC_{B(t-1)} \quad (2.8)$$

Dimana:

$NC_{B(t)}$ = Jumlah pelanggan bisnis tahun t (jiwa)

$CF_{B(t)}$ = Faktor kapasitas pelanggan bisnis tahun t

$GD_{B(t)}$ = Pertumbuhan pelanggan sektor bisnis tahun t (%)

- Jumlah Pelanggan/ Number of Customer (NCt) pelanggan Publik

$$NC_{p(t)} = \left(1 + \frac{(CF_{p(t)} \times GD_{p(t)})}{100} \right) NC_{p(t-1)} \quad (2.9)$$

Dimana:

$NC_{p(t)}$ = Jumlah pelanggan publik tahun t (jiwa)

$CF_{p(t)}$ = Faktor kapasitas pelanggan publik tahun t

$GD_{p(t)}$ = Pertumbuhan pelanggan sektor publik tahun t (%)

- Jumlah Pelanggan/ Number of Customer (NCt) pelanggan Sosial

$$NC_{S(t)} = \left(1 + \frac{(CF_{S(t)} \times GD_{S(t)})}{100} \right) NC_{S(t-1)} \quad (2.10)$$

Dimana:

$NC_{S(t)}$ = Jumlah pelanggan sosial tahun t (jiwa)

$CF_{S(t)}$ = Faktor kapasitas pelanggan sosial tahun t

$GD_{S(t)}$ = Pertumbuhan pelanggan sektor sosial tahun t (%)

- Jumlah Pelanggan/ Number of Customer (NCt) pelanggan Industri

$$NC_{I(t)} = \left(1 + \frac{(CF_{I(t)} \times GD_{I(t)})}{100} \right) NC_{I(t-1)} \quad (2.11)$$

Dimana:

$NC_{I(t)}$ = Jumlah pelanggan industri tahun t (jiwa)

$CF_{I(t)}$ = Faktor kapasitas pelanggan industri tahun t

$GD_{I(t)}$ = Pertumbuhan pelanggan sektor industri tahun t (%)

- Konsumsi Energi/ *Energy Consumption* ($EC_{R(t)}$) Sektor Rumah Tangga

Jika $GD_{R(t)} < 0$

$$EC_{R(t)} = \left(\left(1 + \left(E_{R(t)} \times \frac{0}{100} \right) \right) EC_{R(t-1)} \right) \quad (2.12)$$

Dimana:

$EC_{R(t)}$ = Konsumsi energi rumah tangga tahun t (GWh)

$E_{R(t)}$ = Elastisitas energi sektor rumah tangga tahun t

$GD_{R(t)}$ = Pertumbuhan pelanggan sektor rumah tangga tahun t (%)

Jika $GD_{R(t)} > 0$

$$EC_{R(t)} = \left(\left(1 + \left(E_{R(t)} \times \frac{GD_{R(t)}}{100} \right) \right) EC_{R(t-1)} \right) \quad (2.13)$$

Dimana:

$EC_{R(t)}$ = Konsumsi energi rumah tangga tahun t (GWh)

$E_{R(t)}$ = Elastisitas energi sektor rumah tangga tahun t

$GD_{R(t)}$ = Pertumbuhan pelanggan sektor rumah tangga tahun t (%)

- Konsumsi Energi/ *Energy Consumption* ($EC_{B(t)}$) Sektor Bisnis

Jika $GD_{B(t)} < 0$

$$EC_{B(t)} = \left(\left(1 + \left(E_{B(t)} \times \frac{0}{100} \right) \right) EC_{B(t-1)} \right) \quad (2.14)$$

Dimana:

$EC_{B(t)}$ = Konsumsi energi bisnis tahun t (GWh)

$E_{B(t)}$ = Elastisitas energi sektor bisnis tahun t

$GD_{B(t)}$ = Pertumbuhan pelanggan sektor bisnis tahun t (%)

Jika $GD_{B(t)} > 0$

$$EC_{B(t)} = \left(\left(1 + \left(E_{B(t)} \times \frac{GD_{B(t)}}{100} \right) \right) EC_{B(t-1)} \right) \quad (2.15)$$

Dimana:

$EC_{B(t)}$ = Konsumsi energi bisnis tahun t (GWh)

$E_{B(t)}$ = Elastisitas energi sektor bisnis tahun t

$GD_{B(t)}$ = Pertumbuhan pelanggan sektor bisnis tahun t (%)

- Konsumsi Energi/ *Energy Consumption* ($EC_{P(t)}$) Sektor Publik

Jika $GD_{P(t)} < 0$

$$EC_{P(t)} = \left(\left(1 + \left(E_{P(t)} \times \frac{0}{100} \right) \right) EC_{P(t-1)} \right) \quad (2.16)$$

Dimana:

$EC_{P(t)}$ = Konsumsi energi sektor publik tahun t (GWh)

$E_{P(t)}$ = Elastisitas energi sektor publik tahun t

$GD_{P(t)}$ = Pertumbuhan pelanggan sektor publik tahun t (%)

Jika $GD_{P(t)} > 0$

$$EC_{P(t)} = \left(\left(1 + \left(E_{P(t)} \times \frac{GD_{P(t)}}{100} \right) \right) EC_{P(t-1)} \right) \quad (2.17)$$

Dimana:

$EC_{P(t)}$ = Konsumsi energi sektor publik tahun t (GWh)

$E_{P(t)}$ = Elastisitas energi sektor publik tahun t

$GD_{P(t)}$ = Pertumbuhan pelanggan sektor publik tahun t (%)

- Konsumsi Energi/ *Energy Consumption* ($EC_{S(t)}$) Sektor Sosial

Jika $GD_{S(t)} < 0$

$$EC_{S(t)} = \left(\left(1 + \left(E_{S(t)} \times \frac{0}{100} \right) \right) EC_{S(t-1)} \right) \quad (2.18)$$

Dimana:

$EC_{S(t)}$ = Konsumsi energi sektor sosial tahun t (GWh)

$E_{S(t)}$ = Elastisitas energi sektor sosial tahun t

$GD_{S(t)}$ = Pertumbuhan pelanggan sektor sosial tahun t (%)

Jika $GD_{S(t)} > 0$

$$EC_{S(t)} = \left(\left(1 + \left(E_{S(t)} \times \frac{GD_{S(t)}}{100} \right) \right) EC_{S(t-1)} \right) \quad (2. 19)$$

Dimana:

$EC_{S(t)}$ = Konsumsi energi sektor sosial tahun t (GWh)

$E_{S(t)}$ = Elastisitas energi sektor sosial tahun t

$GD_{S(t)}$ = Pertumbuhan pelanggan sektor sosial tahun t (%)

- Konsumsi Energi/ *Energy Consumption* ($EC_{I(t)}$) Sektor Industri

Jika $GD_{I(t)} < 0$

$$EC_{I(t)} = \left(\left(1 + \left(E_{I(t)} \times \frac{0}{100} \right) \right) EC_{I(t-1)} \right) \quad (2. 20)$$

Dimana:

$EC_{I(t)}$ = Konsumsi energi sektor industri tahun t (GWh)

$E_{I(t)}$ = Elastisitas energi sektor industri tahun t

$GD_{I(t)}$ = Pertumbuhan pelanggan sektor industri tahun t (%)

Jika $GD_{I(t)} > 0$

$$EC_{I(t)} = \left(\left(1 + \left(E_{I(t)} \times \frac{GD_{I(t)}}{100} \right) \right) EC_{I(t-1)} \right) \quad (2. 21)$$

Dimana:

$EC_{I(t)}$ = Konsumsi energi sektor industri tahun t (GWh)

$E_{I(t)}$ = Elastisitas energi sektor industri tahun t

$GD_{I(t)}$ = Pertumbuhan pelanggan sektor industri tahun t (%)

- Total Produksi dan Beban Puncak (*Peak Load*) (MW) (Rajagukguk, Ir. Marthinus Pakiding, & & Dr.Eng Meita Rumbayan, 2015)

$$PL_{(t)} = \frac{TP_{(t)}}{\left(\left(\frac{365 \times 24}{1000}\right) \times \left(\frac{LF_{(t)}}{100}\right)\right)} \quad (2.22)$$

Dimana:

$PL_{(t)}$ = Beban Puncak

$TP_{(t)}$ = Total Produksi (GWh)

$LF_{(t)}$ = Load Faktor (%)

$$TP_{(t)} = PP_{(t)} + PUR_{(t)} \quad (2.23)$$

Dimana:

$PP_{(t)}$ = Produksi PLN (GWh)

$PUR_{(t)}$ = Pembelian Energi Listrik (GWh)

$$PP_{(t)} = \frac{SO_{(t)}}{1 - \frac{SU_{(t)}}{100}} \quad (2.24)$$

Dimana:

$SO_{(t)}$ = Energi yang disalurkan (GWh)

$$SO_{(t)} = ER - PUR_{(t)} \quad (2.25)$$

Dimana:

ER = Energi yang diterima (GWh)

$$ER_{(t)} = \frac{EC_{(t)}}{1 - \left(\frac{LOS}{100}\right)} \quad (2.26)$$

LOS = Losses transmisi dan distribusi

2.9.2. Pendekatan Ekonometri

Pendekatan ekonometri merupakan sebuah metode yang digunakan dalam prakiraan kebutuhan energi listrik yang disusun berdasarkan kepentingan ekonomi dan statistik yang mengartikan bahwa suatu energi listrik memiliki peranan yang sangat penting di bidang ekonomi dan statistik yang berupaya untuk meningkatkan perekonomian suatu wilayah ataupun negara. Sebagai contohnya penggunaan metode ekonometri ini ketika berperan pada kehidupan sehari – hari di masyarakat terdapat teori ekonomi dan hipotesis yang menyatakan bahwa: (Husaien, 2016)

- a. Dengan adanya energi listrik yang mengalir atau mensupply suatu wilayah maka suasana pada malam hari tidaklah gelap melainkan terang oleh cahaya lampu listrik dengan hal ini maka generasi penerus bangsa dapat belajar di waktu malam hari sehingga hal ini akan mengakibatkan tingkat Pendidikan di suatu wilayah tersebut meningkat dengan ini maka akan dapat meningkatkan kebutuhan ekonomi dengan memperoleh pekerjaan yang layak bagi anak – anak penerus bangsa.
- b. Dalam satu keluarga ketika akan mengkonsumsi energi listrik maka akan dipengaruhi juga oleh tingkat pendapatan keluarga tersebut, semakin tinggi nilainya maka kebutuhan energi listrik dapat semakin meningkat.
- c. Pada suatu rumah tangga akan mengurangi konsumsi energi listrik ketika rumah tangga tersebut merasakan terganggunya sektor lain dengan melakukan pembayaran rekening listrik.
- d. Berkurangnya nilai konsumsi energi listrik akibat adanya penggunaan teknologi baru yang lebih murah dan efisien dibandingkan pembelian energi listrik kepada PLN.

Dengan melihat beberapa asumsi diatas maka terdapat hubungan antara tingkat konsumsi energi listrik dengan kondisi perekonomian di suatu wilayah. Data yang telah mendukung untuk melakukan perhitungan kebutuhan energi listrik ini maka dapat dibuat suatu model hubungan matematis yang menggambarkan asumsi di atas dengan metode ekonometri. Ketika hubungan matematis dari suatu model telah ditentukan maka selanjutnya hubungan ini akan diukur dan diuji dengan metode analisa regresi. Hasil akan diperoleh pada metode analisa regresi, dan hasil inilah yang akan digunakan dalam melakukan prakiraan atau ramalan kebutuhan energi listrik. (Husaien, 2016)

Komponen utama dari model ekonometri adalah pada data masukkan atau variabel yang bersifat ekonomi yang masih berhubungan dengan tingkat kebutuhan energi elektrik. Keunggulan dari metode ini yaitu tidak banyaknya data yang digunakan sehingga data masukkan atau input tidak terlalu rumit. Metode ekonometri dapat di rumuskan sebagai berikut: (Tampubolon, Tumaliang, & Rumbayan, 2014)

$$E = a \cdot Y^{\alpha} \cdot P^{\beta} \quad (2.27)$$

Dimana:

E = Kebutuhan Energi

Y = Pendapatan

P = Harga Energi

a = Koefisien

α = Elastisitas pendapatan dari permintaan energi

β = Elastisitas harga dari permintaan energi

2.9.3. Pendekatan Kecenderungan Trend atau *Time Series (Black-Box)*

Pendekatan kecenderungan merupakan sebuah metode yang digunakan untuk memperkirakan kebutuhan energi listrik yang dibuat berdasarkan kecenderungan terhadap data masa lampau tanpa melihat hal – hal maupun penyebab yang menjadi pengaruh terhadap kebutuhan energi listrik tersebut seperti pengaruh ekonomi, pengaruh iklim, pengaruh teknologi, dan lain sebagainya. Dari data masa lalu didapatkan kemudian diolah dengan cara membuat perhitungan hubungan secara matematis dan biasanya digunakan untuk prakiraan beban jangka pendek. (Husaien, 2016)

Metode kecenderungan atau trend merupakan salah satu metode yang digunakan dalam perencanaan kebutuhan energi listrik, metode kecenderungan ini mempelajari kinerja dari suatu objek dalam sederetan waktu baik itu dimasa lampau maupun di masa yang akan datang. Pada metode ini dibuat perhitungan untuk menentukan perkiraan kebutuhan energi listrik yang dibutuhkan di masa yang akan datang. Pendekatan yang menggunakan model ini harus mengikuti analisa trend yang dilakukan dengan memasukkan fungsi matematik dari data yang actual secara kontinyu agar dapat meminimalisir kesalahan yang ada. (Suswanto, 2009)

a. Metode Kuadrat Terkecil Untuk Menentukan Trend (Trend Linear)

Seperti yang diketahui bahwa persamaan linier dapat dituliskan persamaannya dengan persamaan garis lurus:

$$Y = a + bx \quad (2.28)$$

atau

$$Y_t = a + bt \quad (2.29)$$

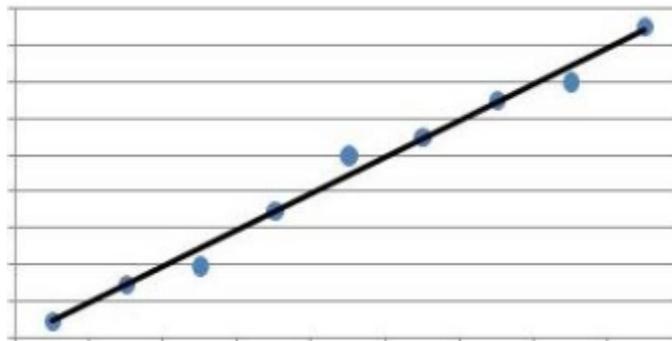
Dimana:

Y = Variabel yang diramalkan

x = Variabel waktu

a dan b = bilangan konstan

Trend linear cenderung membentuk garis lurus, sehingga untuk penggambaran grafiknya dapat dilihat sebagai berikut; (Ibrahim, 2018)



Gambar 2. 12 kurva trend linier (Ibrahim, 2018)

Garis lurus yang dicari adalah garis lurus yang mendekati titik-titik dari data historis. Untuk mencari garis lurus tersebut kita perlu mencari besaran harga a dan b , besaran tersebut merupakan nilai konstan yang tidak berubah-ubah didalam penganalisaan yang dilakukan. Artinya bila diperoleh nilai atau besaran a dan b , maka untuk setiap nilai x atau variabel akan dapat ditentukan / diperoleh besaran Y atau variabel yang dicari untuk nilai X tersebut. Terdapat beberapa teknik dan metoda yang dapat dipergunakan untuk mencari atau meramalkan nilai a dan b dalam hubungan fungsional dari persamaan $Y = a + bx$, pada prinsipnya teknik dan metoda yang ada mendasarkan proses analisisnya pada usaha untuk rnendapatkan suatu garis lurus yang tepat melalui

atau mendekati titik-titik yang berserakan (scatter) dari data observasi. Garis tersebut dinyatakan sebagai berikut :

$$\hat{Y} = a + bx \quad (2.30)$$

Kesalahan ramalan dapat dirumuskan menjadi:

$$e_i = Y_i - \hat{Y} \quad (2.31)$$

Sedangkan penyimpangan atau deviasi ramalan dapat dirumuskan menjadi:

$$d = Y_i - \bar{Y} \quad (2.32)$$

Dalam hal ini Y adalah nilai yang diramalkan, x adalah variabel yang mempengaruhi atau variabel bebas, e adalah nilai kesalahan ramalan, dan d adalah penyimpangan atau deviasi, Y adalah nilai observasi dan \bar{Y} adalah rata-rata dari nilai observasi, selisih nilai ramalan dan nilai observasi rata-rata adalah: $Y - \bar{Y}$ yang merupakan besaran yang ditunjukkan atau diterangkan dengan terdapatnya garis yang melalui atau mendekati titik dari data observasi.

Seperti yang telah diuraikan diatas usaha yang dilakukan untuk mendapatkan garis yang tepat untuk ramalan adalah meminimalisasikan kesalahan ramalan. Kesalahan ramalan diminimalisasikan dengan cara mengambil turunan parsial atau partial derivative dan jumlah kesalahan ramalan, dan kemudian menyamakannya dengan nol. Proses pengerjaannya adalah sebagai berikut :

$$\sum e_i^2 = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \quad (2.33)$$

Dimana persamaan tersebut diketahui bahwa $\hat{Y} = a + bx$ sehingga dengan pensubstitusian diperoleh:

$$\sum e_i^2 = \sum (Y_i - a - bx_i)^2$$

$$\frac{\partial(\sum e_i)^2}{\partial a} = -2 \sum (Y_i - a - bx_i) = 0 \quad (2.34)$$

$$\frac{\partial(\sum e_i)^2}{\partial b} = -2 \sum x_i(Y_i - a - bx_i) = 0$$

Dari persamaan diatas dapat diperoleh hasil persamaan dibawah ini, yang merupakan formula umum dari teknik dan metoda yang disebut kuadrat terkecil (lest square). Kedua persamaan tersebut adalah :

$$\sum Y_i = na + b \sum x_i \quad (2.35)$$

$$\sum x_i Y_i = a \sum x_i + b \sum x_i^2$$

Nilai-nilai a dan b dapat diperoleh dengan pemecahan secara simultan dari kedua persamaan diatas nilai a dan b dapat diperoleh :

$$a = \frac{\sum y_i}{n} - b \frac{\sum x_i}{n} \quad (2.36)$$

Atau

$$a = \bar{y} - \bar{bx} \quad (2.37)$$

Dan

$$a = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (2.38)$$

$$a = \frac{\sum Y}{n} \quad (2.39)$$

Atau

$$b = \frac{n \sum x_i y_i - \bar{x} \sum y_i}{\sum x_i^2 - \bar{x} \sum y_i} \quad (2.40)$$

$$b = \frac{\sum Y}{t^2} \quad (2.41)$$

Dimana:

Y_t = nilai prediksi Y pada waktu tertentu

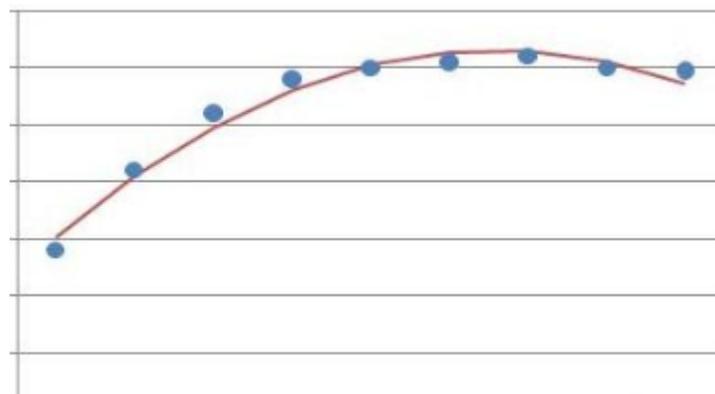
a = nilai intercept dari Y , nilai Y_t akan sama dengan a jika $t = 0$

b = nilai slope, besar kenaikan Y_t pada setiap nilai t

t = nilai tertentu yang menunjukkan periode waktu

b. Trend *Quadratic*

Trend *Quadratic* merupakan trend yang apabila data dari *time series* cenderung membentuk grafik yang berpola lengkungan sebagaimana dapat dijelaskan melalui gambar grafik berikut ini; (Ibrahim, 2018)



Gambar 2. 13 kurva data trend *quadratic* (Ibrahim, 2018)

Adapun rumus untuk persamaan trend *quadratic* dapat dijelaskan sebagai berikut;

$$Y_t = a + bt + ct^2 \quad (2.42)$$

Sehingga nilai a , b , dan c dapat diuraikan sebagai berikut;

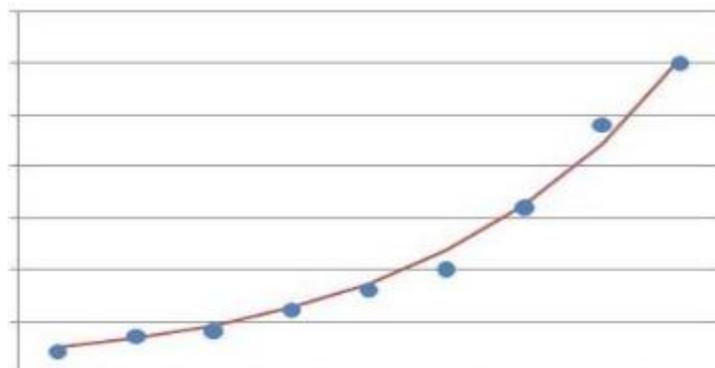
$$a = \frac{\sum y - c \sum t^2}{n} \quad (2.43)$$

$$b = \frac{n \sum t^2 y - \sum t^2 \sum y}{\sum t^2} \quad (2.44)$$

$$c = \frac{n \sum t^4 y - \sum t^2 \sum y}{n \sum t^4 - (\sum t^2)^2} \quad (2.45)$$

c. Trend Eksponensial

Trend eksponensial merupakan sebuah metode untuk perkiraan energi yang menggambarkan tingkat permintaan energi listrik yang tumbuh dengan cepat sekali, bentuk grafik dari trend eksponensial adalah sebagai berikut: (Ibrahim, 2018)



Gambar 2. 14 kurva trend eksponensial (Ibrahim, 2018)

Trend eksponensial digunakan apabila data dari *time series* cenderung membentek sebuah garis yang menunjukkan adanya peningkatan ataupun

penurunan dalam hal ini merupakan kebutuhan energi listrik yang terjadi secara cepat atau signifikan.

$$Y_t = at^b \quad (2.46)$$

Persamaan diatas dapat diubah menjadi persamaan yang lebih sederhana agar memudahkan untuk perhitungan dengan mengubahnya menjadi bentuk logaritma, sehingga lebih mudah untuk mencari variabel a dan b, persamaannya sebagai berikut:

$$\log Y_t = \log a + b \log t \quad (2.47)$$

$$a = \text{anti log} \left[\frac{\sum \log Y}{n} \right] \quad (2.48)$$

$$b = \text{anti log} \left[\frac{\sum t \log Y}{\sum t^2} \right] \quad (2.49)$$

Ada beberapa jenis trend yang tidak linier akan tetapi dapat dibuat linier, dengan jalan melakukan transformasi (perubahan bentuk), seperti dalam membuat ramalan jumlah penduduk, konsumsi energi listrik, faktor beban dan lain-lain. Dalam kasus ini dibuat persamaan sebagai berikut:

$$p_n = p_0 (1 + \alpha)^n \quad (2.50)$$

Dimana:

p_n = data tahun terakhir

p_0 = data pada tahun permulaan

α = tingkat kenaikan ataupun pertumbuhan

n = jumlah interval tahun

Rumus tersebut sebenarnya sama dengan rumus $Y = ab^x$, untuk $Y = p^n$; $a = p_0$; $b = 1 + \alpha$; dan $x = n$.

Untuk mengadakan ramalan di tahun yang akan datang maka rumus $p_n = p_0 (1 + \alpha)^n$ dapat diubah menjadi:

$$\alpha = \sqrt[n]{\frac{p_n}{p_0}} - 1 \quad (2.51)$$

Rumus ini adalah rumus rata-rata ukur (geometric mean). Trend eksponensial pada studi ini digunakan untuk meramalkan jumlah penduduk, GDP, konsumsi energi listrik, faktor beban dimana perkembangannya secara geometris (berkembang dengan cepat).

d. Trend Gompertz

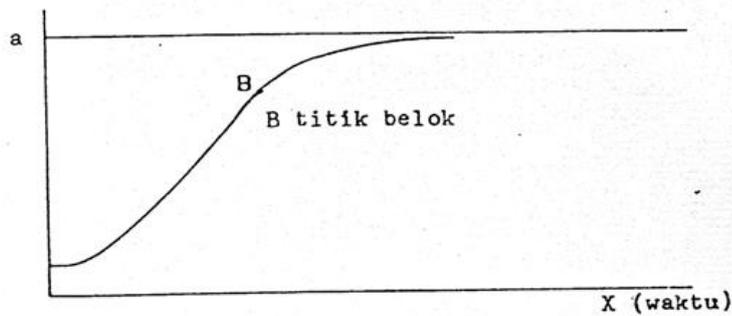
Trend ini biasanya digunakan untuk mewakili data yang menggambarkan perkembangan / pertumbuhan yang mula-mula tumbuh dengan cepat sekali akan tetapi lambat laun agak lambat, kecepatan pertumbuhannya makin berkurang sampai tercapai suatu titik jenuh (saturation point). Rumus dari model ini yaitu:

$$y = a x b^{c^x} \quad (2.52)$$

Atau

$$\text{Log } Y = \log a + (\log b) (c)^x \quad (2.53)$$

Bentuk kurvanya sebagai berikut:



Gambar 2. 15 kurva trend gompertz

Dimana:

a = menunjukkan harga batas atau asimtot.

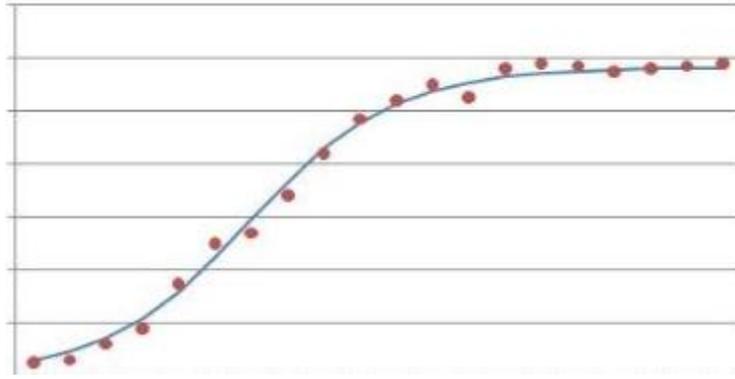
b = menunjukkan rasio yang konstan.

c = menunjukkan tingkat pertumbuhan.

Sebelum titik B, tingkat pertumbuhan terjadi cepat sekali setelah titik B, tingkat kenaikan tersebut berangsur-angsur menurun ketika mendekati nilai a . Bilangan konstanta a , b , dan c dapat dicari dengan cara menggunakan seperti trend yang dirubah, yaitu dengan memilih beberapa titik. Trend Gompertz ini sangat cocok di terapkan dalam meramalkan Rasio Elektrifikasi dimasa yang akan datang, karena rasio elektrifikasi berkembang sangat cepat sekali pada saat sekarang.

e. Trend *S-Curve*

Trend *S-Curve* merupakan trend apabila data dari *time series* cenderung membentuk huruf *S*. Pada trend tipe ini terjadi mulanya ketika data menunjukkan pertumbuhan yang lambat setelah itu meningkat dengan pesat sampai pada titik tertentu melambat kembali dan cenderung tetap.



Gambar 2. 16 kurva trend *s-curve* (Ibrahim, 2018)

Adapun rumus untuk persamaan *s – curve* yaitu sebagai berikut:

$$Y_t = e^{(a+\frac{b}{t})} \quad (2.54)$$

2.9.4. Pendekatan Gabungan

Pendekatan gabungan merupakan sebuah metode pendekatan yang strukturnya merupakan gabungan dari beberapa metode yaitu metode analitis (*end use*), metode ekonometri, dan metode kecenderungan dimana setiap metode tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan sendiri – sendiri. Perusahaan listrik melihat beberapa kelebihan dan kekurangan dari beberapa metode tersebut sehingga lebih memilih untuk menggabungkannya menjadi satu metode bagian sehingga dapat diminimalisir kekurangannya pada tiap metode. Pemilihan metode ini harus memperhatikan beberapa hal diantaranya: (Husaien, 2016)

- Tujuan prakiraan kebutuhan energi listrik
- Subjektivitas yang membuat prakiraan
- Kemudahan metodenya serta kemudahan dalam memperoleh data – data yang dibutuhkan

2.10. Skenario Perencanaan Energi

Terdapat 3 (tiga) skenario perencanaan energi listrik yaitu menggunakan skenario DKL 3.2, skenario BAU (*Bussines As Usual*) , dan skenario KEN (Kebijakan Energi Nasional). (Afdhol, 2020)

2.10.1. Skenario DKL 3.2

Metode DKL 3.2 yaitu suatu metode yang disusun dengan menggabungkan beberapa metode perencanaan energi listrik seperti metode ekonometri, metode kecenderungan dan metode analisis dengan menggunakan pendekatan sektoral. Metode ini disusun oleh dinas penelitian kebutuhan energi listrik biasa yang biasa disebut dengan metode DKL 3.2. (Afdhol, 2020)

Pada skenario DKL 3.2 pelanggan akan dikelompokkan dan dibagi menjadi 4 (empat) sektor diantaranya sebagai berikut: (Fauzi, 2021)

1. Sektor rumah tangga dengan golongan tarif (R1, R2, dan R3)
2. Sektor komersil/bisnis dengan golongan tarif (B1, B2, B3, T, C, dan TM)
3. Sektor publik/umum dengan golongan tarif (P1, P2, dan P3)
4. Sektor Industri dengan golongan tarif (I1, I2, I3, dan I4)
5. Sektor sosial dengan golongan tarif (S1, S2, dan S3)

Berikut merupakan rumus – rumus dari perhitungan skenario DKL 3.2:

a. Perhitungan Sektor Rumah Tangga

- Secara umum rumus perhitungan dari jumlah pelanggan rumah tangga yaitu dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$PRT_t = PRT_{-1} \left(1 + \left(CFHx \frac{gE}{100} \right) \right) \quad (2.55)$$

Dimana:

PRT_t = Jumlah pelanggan rumah tangga tahun berlaku

PRT_{-1} = Jumlah pelanggan rumah tangga tahun sebelumnya

CFH = Faktor kapasitas pelanggan sektor rumah tangga

gE = Pertumbuhan PDRB total

- Perhitungan jumlah konsumsi listrik rumah tangga dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$ERT_t = ERT_{-1} \left(1 + \left(eRT \times \frac{gE}{100} \right) \right) + \Delta PRT \times UK \quad (2.56)$$

Dimana:

PRT_t = Jumlah pelanggan rumah tangga tahun berlaku

PRT_{-1} = Jumlah pelanggan rumah tangga tahun sebelumnya

eRT = Elastisitas Energi

ΔPRT = Selisih pelanggan rumah tangga

UK = Unit konsumsi rumah tangga (kWh/pelanggan)

- Perhitungan daya yang tersambung sektor rumah tangga dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$DRT = DRT_{-1} + (PRT - PRT_{-1}) \times D_rRT \quad (2.57)$$

Dimana:

DRT = Jumlah daya yang tersambung sektor rumah tangga

DRT_{-1} = Jumlah daya yang tersambung rumah tangga tahun sebelumnya

D_rRT = Rata – rata daya yang tersambung sektor rumah tangga

b. Perhitungan Sektor Industri

- Perhitungan jumlah pelanggan sektor industri dapat dirumuskan sebagai berikut ini:

$$PI = PI_{-1} \left(1 + \left(CFI \times \frac{gI}{100} \right) \right) \quad (2.58)$$

Dimana:

PI = Jumlah pelanggan listrik sektor industri

PI_{-1} = Jumlah pelanggan energi listrik industri tahun sebelumnya

CFI = Faktor kapasitas pelanggan

gI = Pertumbuhan rata – rata PDRB sektor industri

- Perhitungan jumlah konsumsi energi listrik pelanggan sektor industri dapat dirumuskan sebagai berikut ini:

$$EI = EI_{-1} \left(1 + \left(eI \times \frac{gI}{100} \right) \right) \quad (2.59)$$

Dimana:

EI = Jumlah konsumsi energi listrik pelanggan sektor industri

EL_{-1} = Jumlah konsumsi energi listrik sektor industri tahun sebelumnya

eI = Elastisitas energi listrik pelanggan sektor industri

- Perhitungan daya yang tersambung sektor industri dapat dirumuskan sebagai berikut ini:

$$DI = DI_{-1} + (PI - PI_{-1}) \times D_r I \quad (2.60)$$

Dimana:

DI = Jumlah daya yang tersambung pelanggan sektor industri

DI_{-1} = Jumlah daya yang tersambung sektor industri tahun sebelumnya

$D_r I$ = Rata – rata daya yang tersambung sektor industri

c. Perhitungan Sektor Komersil/Bisnis

- Perhitungan jumlah pelanggan komersil dapat dirumuskan sebagai berikut ini:

$$PB = PB_{-1} \left(1 + \left(CFB \times \frac{gB}{100} \right) \right) \quad (2.61)$$

Dimana:

PB = Jumlah pelanggan listrik sektor komersial

PB_{-1} = Jumlah pelanggan energi listrik komersil tahun sebelumnya

CFB = Faktor kapasitas pelanggan sektor komersial

gB = Pertumbuhan rata – rata PDRB sektor komersial

- Perhitungan jumlah konsumsi energi listrik pelanggan sektor komersial dapat dirumuskan sebagai berikut ini:

$$EB = EB_{-1} \left(1 + \left(eB \times \frac{gB}{100} \right) \right) \quad (2. 62)$$

Dimana:

EB = Jumlah konsumsi energi listrik pelanggan sektor komersial

EB_{-1} = Jumlah konsumsi listrik sektor komersial tahun sebelumnya

eB = Elastisitas energi listrik pelanggan sektor komersial

- Perhitungan daya yang tersambung sektor komersial dapat dirumuskan sebagai berikut ini:

$$DB = DB_{-1} + (PB - PB_{-1}) \times D_rB \quad (2. 63)$$

Dimana:

DB = Jumlah daya yang tersambung pelanggan sektor komersial

DB_{-1} = Jumlah daya yang tersambung komersial tahun sebelumnya

D_rB = Rata – rata daya yang tersambung sektor komersial

d. Perhitungan Sektor Umum/Publik

- Perhitungan jumlah pelanggan publik dapat dirumuskan sebagai berikut ini:

$$PP = PP_{-1} \left(1 + \left(CFP \times \frac{gP}{100} \right) \right) \quad (2.64)$$

Dimana:

PP = Jumlah pelanggan listrik sektor publik

PP_{-1} = Jumlah pelanggan energi listrik sektor publik tahun sebelumnya

CFP = Faktor kapasitas pelanggan sektor publik

gP = Pertumbuhan rata – rata PDRB sektor publik

- Perhitungan jumlah konsumsi energi listrik pelanggan sektor publik dapat dirumuskan sebagai berikut ini:

$$EP = EP_{-1} \left(1 + \left(eP \times \frac{gP}{100} \right) \right) \quad (2.65)$$

Dimana:

EP = Jumlah konsumsi energi listrik pelanggan sektor publik

EP_{-1} = Jumlah konsumsi listrik sektor publik tahun sebelumnya

eP = Elastisitas energi listrik pelanggan sektor publik

- Perhitungan daya yang tersambung sektor publik dapat dirumuskan sebagai berikut ini:

$$DP = DP_{-1} + (PP - PP_{-1}) \times D_rP \quad (2.66)$$

Dimana:

DP = Jumlah daya yang tersambung pelanggan sektor publik

DP_{-1} = Jumlah daya yang tersambung publik tahun sebelumnya

D_rP = Rata – rata daya yang tersambung sektor publik

e. Perhitungan Sektor Sosial

- Perhitungan jumlah pelanggan sosial dapat dirumuskan sebagai berikut ini:

$$PS = PS_{-1} \left(1 + \left(CFS \times \frac{gS}{100} \right) \right) \quad (2.67)$$

Dimana:

PS = Jumlah pelanggan listrik sektor sosial

PS_{-1} = Jumlah pelanggan energi listrik sektor sosial tahun sebelumnya

CFS = Faktor kapasitas pelanggan sektor sosial

gS = Pertumbuhan rata – rata PDRB sektor sosial

- Perhitungan jumlah konsumsi energi listrik pelanggan sektor sosial dapat dirumuskan sebagai berikut ini:

$$ES = ES_{-1} \left(1 + \left(eS \times \frac{gS}{100} \right) \right) \quad (2.68)$$

Dimana:

ES = Jumlah konsumsi energi listrik pelanggan sektor sosial

ES_{-1} = Jumlah konsumsi listrik sektor sosial tahun sebelumnya

eS = Elastisitas energi listrik pelanggan sektor sosial

- Perhitungan daya yang tersambung sektor sosial dapat dirumuskan sebagai berikut ini:

$$DS = DS_{-1} + (PS - PS_{-1}) \times D_rS \quad (2.69)$$

Dimana:

DS = Jumlah daya yang tersambung pelanggan sektor sosial

DS_{-1} = Jumlah daya yang tersambung sosial tahun sebelumnya

D_rS = Rata – rata daya yang tersambung sektor sosial

- Total Produksi dan Beban Puncak (*Peak Load*) (MW)
(Rajagukguk, Ir. Marthinus Pakiding, & & Dr.Eng Meita Rumbayan, 2015)

$$PL_{(t)} = \frac{TP_{(t)}}{\left(\left(\frac{365 \times 24}{1000} \right) \times \left(\frac{LF_{(t)}}{100} \right) \right)} \quad (2.70)$$

Dimana :

$PL_{(t)}$ = Beban Puncak

$TP_{(t)}$ = Total Produksi (GWh)

$LF_{(t)}$ = Load Faktor (%)

$$TP_{(t)} = PP_{(t)} + PUR_{(t)} \quad (2.71)$$

Dimana :

$PP_{(t)}$ = Produksi PLN (GWh)

$PUR_{(t)}$ = Pembelian Energi Listrik (GWh)

$$PP_{(t)} = \frac{SO_{(t)}}{1 - \frac{SU_{(t)}}{100}} \quad (2.72)$$

Dimana:

$SO_{(t)}$ = Energi yang disalurkan (GWh)

$$SO_{(t)} = ER - PUR_{(t)} \quad (2.73)$$

Dimana:

ER = Energi yang diterima (GWh)

$$ER_{(t)} = \frac{EC_{(t)}}{1 - \left(\frac{LOS}{100}\right)} \quad (2.74)$$

Dimana:

$EC_{(t)}$ = konsumsi energi listrik

LOS = Losses transmisi dan distribusi

2.10.2. Skenario BAU (Business As Usual)

Business As Usual (BAU) atau skenario dasar yaitu suatu rancangan prakiraan energi yang merupakan sebuah kelanjutan dari perkembangan historis, dalam artian yaitu pada akhir gambaran kecenderungan pola pada pemakaian energi

listrik masih sama seperti tahun dasar. Pada metode BaU asumsi kunci yang digunakan hampir sama dengan asumsi kunci pada metode DKL 3.2, untuk perbedaannya yaitu pada metode DKL 3.2 itu asumsi kunci menambahkan adanya faktor pelanggan, sedangkan pada metode BAU tidak adanya faktor pelanggan. (Afdhol, 2020)

2.10.3. Skenario KEN (Kebijakan Energi Nasional)

Skenario KEN merupakan sebuah metode prakiraan perencanaan energi listrik yang hasil proyeksinya mendapatkan pengaruh atau intervensi dari kebijakan pemerintah, KEN juga merupakan bagian kebijakan umum. Maksudnya yaitu saling berkaitannya ketetapan dan keputusan dari pemerintah untuk membuat tindakan yang dianggap akan membawa dampak positif bagi kehidupan masyarakatnya. Dengan begitu kebijakan umum untuk menunjukkan suatu konsep untuk dapat menentukan suatu pilihan-pilihan tindakan tertentu yang spesifik, yang meliputi berbagai bidang seperti bidang ekonomi, sosial, budaya, politik, keamanan dan lingkungan. Dalam hal ini kebijakan energi merupakan kebijakan umum dalam ekonomi yang lebih luas dan berkaitan dengan berbagai masalah yang dikedepankan seperti lingkungan, sosial, politik, pertahanan dan keamanan nasional. (Afdhol, 2020)

Kebijakan Energi Nasional diatur dalam Peraturan Pemerintah No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional. Dalam pasal 9 terdapat beberapa point penting terkait kebijakan energi nasional yaitu terdapat sasaran kebijakan energi nasional yang dijelaskan pada pasal 9 point a sampai dengan f diantaranya : (PPRI, 2014)

- a. Terwujudnya paradigma baru bahwa sumber energi merupakan modal pembangunan nasional;
- b. Tercapainya elastisitas energi lebih kecil dari 1 (satu) pada tahun 2025 yang diselaraskan dengan target pertumbuhan ekonomi;
- c. Tercapainya penurunan intensitas energi final sebesar 1% (satu persen) per tahun sampai dengan tahun 2025;
- d. Tercapainya rasio elektrifikasi sebesar 85% (delapan puluh lima persen) pada tahun 2015 dan mendekati sebesar 100% (seratus persen) pada tahun 2020;
- e. Tercapainya rasio penggunaan gas rumah tangga pada tahun 2015 sebesar 85% (delapan puluh lima persen); dan
- f. Tercapainya bauran energi primer yang optimal
 1. Pada tahun 2025 peran Energi Baru dan Energi Terbarukan paling sedikit 23% (dua puluh tiga persen) dan pada tahun 2050 paling sedikit 31% (tiga puluh satu persen) sepanjang keekonomiannya terpenuhi;
 2. Pada tahun 2025 peran minyak bumi kurang dari 25% (dua puluh lima persen) dan pada tahun 2050 menjadi kurang dari 20% (dua puluh persen);
 3. Pada tahun 2025 peran batubara minimal 30% (tiga puluh persen) dan pada tahun 2050 minimal 25% (dua puluh lima persen);

4. Pada tahun 2025 peran gas bumi minimal 22% (dua puluh dua persen) dan pada tahun 2050 minimal 24% (dua puluh empat persen)

2.11. Analisa Permintaan Energi

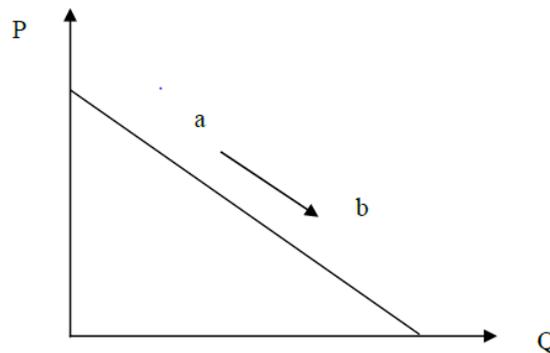
2.11.1. Teori Permintaan

Perubahan permintaan akan barang dan jasa dapat dilihat dari perubahan pada kurva permintaan. Analisis dari suatu barang atau jasa yang ada pada kurva permintaan akan erat kaitannya dengan perilaku konsumen. Konsumen ialah mereka yang mempunyai pendapatan berupa uang yang dapat membeli suatu barang dan jasa di suatu pasar ataupun dagangan dengan ditukar menggunakan uang tersebut. (Adiningsih dan Kadarusman, 2003 dalam (Parahate & Sutarta, 2012)

Menurut Gilarso (2003) dalam (Parahate & Sutarta, 2012) permintaan merupakan jumlah dari suatu barang dan jasa yang mau dan mampu dibeli pada berbagai kemungkinan harga selama jangka waktu tertentu dengan anggapan hal – hal yang lain tetap sama (*ceteris paribus*). Sedangkan permintaan turunan (*derived demand*) merupakan permintaan akan faktor produksi yang tergantung pada permintaan akan barang dan jasa yang dapat dihasilkan oleh suatu sumber daya tersebut.

Kurva permintaan merupakan suatu grafik yang menggambarkan suatu bentuk hubungan antara harga suatu barang atau jasa dan jumlah barang atau jasa yang diminta oleh konsumen. Biasanya bentuk umum dari kurva permintaan ini yaitu turun dari sebelah kiri – atas menuju kanan – bawah sesuai dengan hukum permintaan. Kurva permintaan dapat diklasifikasikan menjadi dua macam yaitu

kurva permintaan individu dan kurva permintaan pasar (agregat). Pengertian dari kurva permintaan individu merupakan kedudukan dari suatu titik-titik yang menghubungkan berbagai harga suatu komoditas dan kuantitas komoditas barang atau jasa yang dibeli oleh setiap konsumen individu. Sedangkan pengertian dari kurva permintaan pasar merupakan penjumlahan dari permintaan – permintaan individu atas suatu barang dan jasa dalam berbagai tingkatan harga tertentu. (Parahate & Sutarta, 2012)



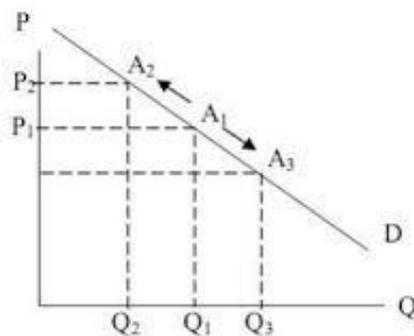
Gambar 2. 17 pergerakan kurva permintaan

Hukum permintaan merupakan kuantitas yang diminta oleh konsumen terhadap suatu barang berhubungan terbalik dengan harga barang tersebut. Pada kurva permintaan jika terjadi perubahan harga maka akan menghasilkan suatu pergerakan sepanjang kurva permintaan yang tetap, tidak akan ada perubahan lain yang dapat mengakibatkan pergerakan sepanjang kurva tersebut. (Miller dan Meiners, 2000 dalam (Surbakti & Kodoatie, 2013)

Menurut Nicholson (2002) dalam (Surbakti & Kodoatie, 2013) kuantitas yang diminta (*quantity demand*) terhadap suatu barang atau jasa yaitu sejumlah barang atau jasa yang ingin atau diminta oleh pembeli yang mampu memilikinya. Permintaan individu dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain harga,

pendapatan, harga barang lain yang berkaitan, selera, dan ekspektasi. Selain faktor tersebut ada faktor lain yang mempengaruhi suatu permintaan yaitu jumlah penduduk. Miller dan Meiners (2000) dalam (Surbakti & Kodoatie, 2013) mengemukakan bahwa jumlah penduduk merupakan determinan dari permintaan terhadap barang atau jasa. Jumlah penduduk yang meningkat dengan pendapatan perkapita masih konstan akan mempengaruhi nilai permintaan dan pada kurva permintaan akan menggeser garis permintaan pasar ke arah kanan. Hal ini berlaku untuk sebagian barang dikarenakan ketika jumlah penduduk meningkat maka permintaan barang atau jasa akan terus bertambah.

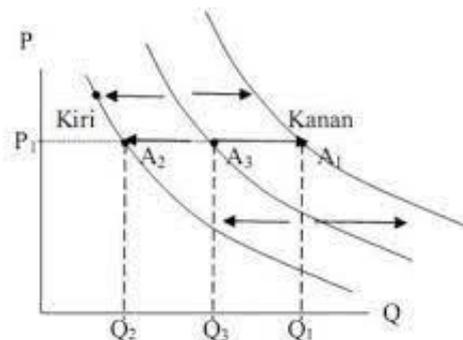
Perubahan permintaan dapat dilihat dari dua segi sudut pandang dari kurva permintaan yang telah ada, perubahan kurva permintaan tersebut dapat dilihat dari sudut pandang pergerakan (*movement*) dan dari sudut pandang pergeseran (*shift*). Pergerakan (*movement*) sepanjang kurva permintaan dapat dilihat pada grafik dibawah ini yang menunjukkan variasi antara kuantitas barang dengan harga barang pada titik – titik kombinasi di sepanjang kurva permintaan. (Parahate & Sutarta, 2012)



Gambar 2. 18 pergerakan (movement) pada kurva permintaan

Pergerakan (*movement*) pada kurva permintaan tersebut menunjukkan bahwa hubungan dalam permintaan masih konsisten. Ketika terjadi perubahan harga maka akan menimbulkan pergerakan (*movement*) di sepanjang kurva permintaan pasar yang tetap, dilihat dari grafik tersebut tidak ada faktor lain yang dapat menyebabkan terjadinya pergerakan (*movement*) sepanjang kurva permintaan tersebut. (Parahate & Sutarta, 2012)

Pergeseran (*shift*) pada kurva permintaan merupakan sebuah kondisi dimana terjadinya peningkatan jumlah barang yang diminta sedangkan harga suatu barang tersebut tidak berubah atau tetap yang ada pada gambar grafik berikut ini. Pergeseran tersebut akan menimbulkan suatu dampak pada hubungan akan permintaan suatu barang ataupun jasa. Hal ini menandakan bahwa selain harga terdapat faktor – faktor lain yang menjadi penentu atas pergeseran kurva permintaan yang ada. (Parahate & Sutarta, 2012)



Gambar 2. 19 pergeseran (shift) pada kurva permintaan

Pada permintaan suatu barang ataupun jasa terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi permintaan konsumen terhadap barang ataupun jasa yang dibutuhkan. Dilihat dari hukum permintaan (*the law of demand*) ketika terjadi perubahan permintaan akan barang dan jasa itu semua ditentukan oleh harga dari

barang atau jasa tersebut, namun pada kenyataannya perubahan permintaan suatu barang atau jasa dapat disebabkan oleh hal – hal lain selain faktor harga tersebut. (Parahate & Sutarta, 2012)

Menurut Sukirno (1985) dalam (Parahate & Sutarta, 2012) faktor – faktor selain harga yang dapat mempengaruhi pergerakan ataupun pergeseran pada kurva permintaan akan suatu barang atau jasa yaitu terdapat faktor lain diantaranya:

- a. Harga barang substitusi, penggenap dan netral
- b. Pendapatan konsumen
- c. Distribusi pendapatan masyarakat
- d. Selera masyarakat
- e. Jumlah penduduk
- f. Ekspektasi dimasa yang akan datang

2.11.2. Elastisitas Permintaan

Elastisitas merupakan suatu pengukuran kuantitatif yang memperlihatkan besarnya pengaruh perubahan harga terhadap perubahan permintaan. Nilai koefisien elastisitas permintaan yaitu angka yang diperoleh dari hasil pembagian dari presentase perubahan atau jumlah barang atau jasa yang diminta dengan jumlah presentase perubahan harga. Nilai koefisien elastisitas permintaan berkisar antara 0 sampai dengan tak terhingga. Ketika nilai koefisien elastisitas akan permintaan suatu barang atau jasa bernilai lebih dari satu maka dapat disebut sebagai permintaan elastis dan jika nilai koefisien elastisitas akan permintaan suatu barang atau jasa bernilai kurang dari satu maka dapat disebut sebagai permintaan inelastic dan jika nilai koefisien elastisitas akan permintaan suatu barang atau jasa bernilai sama dengan nol maka dapat disebut sebagai permintaan uniter. Elastisitas

permintaan dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) macam secara umum yaitu: (Parahate & Sutarta, 2012)

2.11.2.1. Elastisitas Permintaan Terhadap Harga

Elastisitas permintaan terhadap harga ini digunakan untuk mengetahui tingkat kepekaan perubahan permintaan suatu barang yang diakibatkan oleh perubahan harga. Elastisitas permintaan dipresentasikan dalam bentuk koefisien elastisitas yang didefinisikan sebagai suatu angka penunjuk yang menggambarkan sampai seberapa besar perubahan jumlah barang yang diminta dibandingkan dengan perubahan harga. (Parahate & Sutarta, 2012)

Nilai koefisien elastisitas berkisar antara nol sampai dengan tak terhingga. Elastisitas bernilai nol apabila ketika perubahan harga terjadi dan jumlah barang yang diminta tidak berubah. Elastisitas nol disebut juga sebagai tidak elastis sempurna. Koefisien elastisitas permintaan bernilai tak terhingga apabila pada suatu harga tertentu pasar sanggup membeli semua barang yang ada. Koefisien elastisitas yang tak terhingga ini disebut elastis sempurna. Elastisitas lainnya yang dianggap sempurna adalah elastisitas dengan nilai sama dengan satu, yang disebut elastisitas uniter, dimana perubahan harga akan selalu sama dengan perubahan permintaan. Suatu permintaan bersifat tidak elastis apabila koefisien elastisitas permintaannya berada diantara nol dan satu. Hal ini berarti prosentase perubahan harga lebih besar daripada prosentase perubahan jumlah barang yang diminta. Sedangkan permintaan yang bersifat elastis terjadi apabila permintaan mengalami perubahan dengan prosentase yang melebihi prosentase perubahan harga. Nilai koefisien elastisitas permintaan yang bersifat elastis adalah lebih besar dari satu. (Parahate & Sutarta, 2012)

2.11.2.2. Elastisitas Permintaan Pendapatan

Elastisitas permintaan dari pendapatan merupakan koefisien yang menunjukkan besarnya perubahan permintaan atas suatu barang sebagai akibat dari perubahan pendapatan konsumen. Pada barang – barang tertentu seperti barang – barang normal ketika konsumen mengalami kenaikan pendapatan tentunya permintaan akan suatu barang normal tersebut juga ikut mengingkat, hal ini menyebabkan nilai koefisien elastisitas pendapatan untuk barang normal tersebut menjadi bernilai positif. Pada barang-barang inferior, terjadi pengurangan permintaan apabila pendapatan meningkat, sehingga nilai koefisiennya adalah negatif. (Parahate & Sutarta, 2012)

2.11.2.3. Elastisitas Permintaan Silang

Elastisitas permintaan silang merupakan suatu koefisien yang memperlihatkan besarnya perubahan permintaan suatu barang jika terjadi suatu perubahan terhadap barang lain. Nilai elastisitas silang berkisar antara tak terhingga yang negatif sampai dengan tak terhingga yang positif. Barang-barang komplementer elastisitas silangnya bernilai negatif, sedangkan nilai elastisitas silang untuk barang-barang substitusi adalah positif. (Parahate & Sutarta, 2012)

2.11.3. Teori Permintaan Listrik

Teori permintaan suatu barang tidak dapat terlepas dari hukum penawaran yaitu kuantitas suatu barang berbanding terbalik dengan harga barang yang diminta tersebut. Kurva permintaan berisi tentang kuantitas permintaan suatu barang terhadap harga barang tersebut ketika terjadi perubahan harga maka akan terjadi pergerakan sepanjang kurva permintaan yang tetap, dan tidak ada faktor lain yang menyebabkan pergerakan sepanjang kurva permintaan. (Miller dan Meiners, 2000)

dalam (Surbakti & Kodoatie, 2013) Model permintaan listrik secara umum dapat digolongkan menjadi dua, yaitu: model persamaan statis dan model persamaan dinamis. Model dinamis biasa juga disebut dengan model Koyck Distributed Lag. (Parahate & Sutarta, 2012)

2.12. Perhitungan untuk Asumsi Kunci (*Key Assumption*)

Dalam melakukan penelitian terdapat beberapa hal yang harus dilakukan yaitu dengan menghitung data sekunder untuk mendapatkan asumsi kunci (*key assumption*) terlebih dahulu ketika data tersebut akan dimasukkan kedalam aplikasi LEAP hal yang diperlukan dalam asumsi kunci (*key assumption*) diantaranya yaitu dengan menghitung nilai dari intensitas energi, nilai pertumbuhan intensitas energi, nilai elastisitas energi, dan nilai faktor pelanggan (CF) dan disesuaikan dengan kebutuhan masing – masing skenario.

2.12.1. Perhitungan Intensitas Energi

Intensitas energi merupakan parameter yang sangat penting untuk menggambarkan tingkat efisiensi energi. Intensitas energi yaitu pembagian antara jumlah konsumsi energi yang digunakan oleh konsumen energi listrik yang dibagi dengan unit aktivitas (*activity level*) yang merupakan pengguna energi (konsumen listrik). (Harahap, 2019)

Intensitas energi merupakan suatu parameter yang berbanding terbalik dengan efisiensi energi, ketika semakin kecil ataupun sedikit energi yang digunakan untuk menghasilkan suatu keluaran maka akan semakin efisien tingkat penggunaan energi tersebut. Intensitas energi tidak mendeskripsikan secara keseluruhan tentang efisiensi energi namun dengan nilai intensitas energi suatu negara kecil maka suatu

negara tersebut dapat mengelola suatu energi listriknya dengan baik. Oleh karena itu intensitas energi dapat dijadikan sebagai bahan acuan untuk melihat seberapa besar nilai intensitas energi dan juga tingkat efisiensinya. Nilai intensitas energi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor – faktor seperti berikut ini yaitu: (Harahap, 2019)

- a. Pendapatan per Kapita
- b. Harga suatu energi
- c. Pertumbuhan penduduk
- d. Impor energi

Intensitas energi secara umum dapat dirumuskan sebagai berikut ini:

$$\text{Intensitas Energi} = \frac{\text{Konsumsi energi listrik (kWh)}}{\text{Jumlah pelanggan listrik}} \quad (2.75)$$

Sedangkan rumus pertumbuhan intensitas energi yaitu sebagai berikut:

$$\text{Pertumbuhan IE} = \frac{IE_t - IE_{(t-1)}}{IE_{(t-1)}} \times 100\% \quad (2.76)$$

Dimana:

IE = jumlah intensitas energi

IE_t = jumlah intensitas energi tahun ke-t

$IE_{(t-1)}$ = jumlah intensitas energi tahun sebelumnya

$$\text{Pertumbuhan}_t = \frac{\text{Nilai tahun}_{(t)} - \text{Nilai tahun}_{(t-1)}}{\text{Nilai tahun}_{(t-1)}} \times 100\% \quad (2.77)$$

Dimana:

Pertumbuhan_t = presentase pertumbuhan tahun ke-t

Nilai tahun_t = jumlah pelanggan energi tahun ke-t

Nilai tahun_(t-1) = jumlah pelanggan energi tahun sebelumnya

Rumus diatas juga berlaku untuk menghitung pertumbuhan penduduk, PDRB, konsumsi energi, serta penjualan energi listrik. Setelah diperoleh pertumbuhan dari pelanggan dan intensitas energi masing-masing tahun, kemudian dihitung rata-rata pertumbuhannya. Rata-rata pertumbuhan (*Growthrate*) inilah yang digunakan dalam simulasi. Rata-rata pertumbuhan dihitung menggunakan persamaan berikut ini :

$$\text{Rata - rata pertumbuhan} = \frac{\text{Jumlah data pertumbuhan}}{\text{Banyaknya data}} \quad (2. 78)$$

2.12.2. Perhitungan Elastisitas Energi

Elastisitas energi merupakan perbandingan pertumbuhan konsumsi energi terhadap pertumbuhan produk atau keluaran yang berdasarkan pertumbuhan ekonomi, ketika pemanfaatan energi efisien maka akan semakin rendah tingkat elastisitasnya. Elastisitas energy merupakan perbandingan antara pertumbuhan konsumsi intensitas energi terhadap GDP (Gross National Product). Secara matematik elastisitas permintaan energi dapat dirumuskan sebagai berikut: (Husaien, 2016)

$$\text{Elastisitas Energi} = \frac{\text{Pertumbuhan Konsumsi Energi}}{\text{Pertumbuhan PDRB}} \quad (2. 79)$$

2.12.3. Perhitungan Faktor Pelanggan (CF)

Faktor pelanggan merupakan pembagian antara jumlah pelanggan persektor pada PLN yang mengkonsumsi energi listrik dengan besarnya presentase

pertumbuhan PDRB yang secara garis besar dapat dirumuskan sebagai berikut ini:
(Afdhol, 2020)

$$CF = \frac{\text{Pertumbuhan Pelanggan Energi}}{\text{Pertumbuhan PDRB}} \quad (2.80)$$

2.12.4. Perhitungan Rasio Elektrifikasi

$$\text{Rasio Elektrifikasi} = \frac{\text{Jumlah Pelanggan Listrik}}{\text{Jumlah Rumah Tangga}} \times 100\% \quad (2.81)$$

2.12.5. Perhitungan Kesalahan Nilai Error

Perhitungan kesalahan nilai error dengan data aktual akan sangat berguna agar hasil perhitungan lebih presisi dan akurat. Berikut formula rumus untuk menghitung nilai error suatu perhitungan: (Husaien, 2016)

$$\text{Forreasting Error} = \frac{\text{Forreecast} - \text{Actual}}{\text{Actual}} \times 100\% \quad (2.82)$$

2.12.6. Verifikasi Perhitungan Manual

Verifikasi merupakan suatu tindakan yang dimana ketika telah melakukan suatu hal maka akan dicek kebenarannya dengan berbagai pembuktian, jadi data yang telah terverifikasi akan menjadi tepat dan akurat. Verifikasi manual pada penelitian ini bertujuan untuk memvalidasi hasil simulasi pada software agar hasil perkiraan lebih akurat. Berikut rumus untuk menghitung verifikasi perhitungan manual: (Afdhol, 2020)

$$\text{nilai tahun}_t = \text{nilai tahun}_{-t} + (\text{nilai tahun}_{-t} \times \text{pertumbuhan}) \quad (2.83)$$

2.13. Perangkat Lunak LEAP

Long-range Energy Alternatives Planning Sistem atau biasa disingkat dengan sebutan LEAP merupakan sebuah program perangkat lunak sistem perencanaan energi listrik untuk jangka panjang. LEAP merupakan sebuah pemodelan terpadu yang berbasis dasar dengan lingkungan dan energi. LEAP mampu merangkai beberapa skenario perencanaan energi dengan menggabungkan beberapa variabel dasar seperti pertumbuhan jumlah konsumsi energi listrik, pertumbuhan PDRB, dan variabel lain yang berkaitan dengan perencanaan energi listrik serta dapat memetakan teknologi apa yang cocok digunakan di suatu wilayah tersebut. Dengan adanya hal ini maka akan mempermudah pemodel dalam mendapatkan perencanaan energi yang diinginkan dalam memperoleh fleksibilitas, kenyamanan, dan transparansi data. (Afdhol, 2020)

LEAP ini dirancang untuk membuat beberapa skenario, mengelola dan mendokumentasikan hasil data dan suatu asumsi energi dan dapat melihat laporan hasil asumsi dengan mudah dan fleksibel. Sebagai contoh untuk struktur utama yang terdapat dalam LEAP yaitu yang ditampilkan sebagai hirarki “*tree*” atau pohon yang dapat diedit dengan cara menyeret ataupun menjatuhkan (*drag and drop*) serta dapat mengcopy atau paste setiap “*branch*” atau cabang yang telah ada. Tabel standar energi serta diagram RES (*Reference Energi Sistem*) secara otomatis akan terus digenerasi ataupun disinkronisasi ketika pengguna (*user*) mengedit sebuah “*tree*” atau pohon yang diinginkan. Hasil laporannya yaitu berupa diagram atau tabel yang sangat banyak sehingga akan lebih terperinci. (Afdhol, 2020)

LEAP ini juga dirancang untuk dapat mengekspor ataupun mengimpor dari software yang satu menuju software yang lain seperti misalnya dapat dihubungkan

dengan program Microsoft Office salah satunya yaitu pada Microsoft Excel, yang dimaksudkan untuk perhitungan beberapa variabel menggunakan Microsoft Excel yang nantinya hasil dari perhitungan ini akan dianalisis asumsi perencanaan energi listriknya di perangkat lunak LEAP. Perancang program aplikasi LEAP ini yaitu adalah dari *Stokholm Environment Institute* (SEI) yang diperkenalkan pertama pada tahun 1980 yang berpusat di Boston Amerika Serikat dan mempunyai komunitas yang saling berinteraksi yaitu COMMEND. Administrator dan moderator dari perangkat lunak LEAP ini adalah Dr. Charles Heaps. (Harahap, 2019)

LEAP memiliki beberapa keunggulan diantaranya yaitu memiliki sistem antar muka (*interface*) dalam programnya yang membuat lebih menarik dibandingkan dengan perangkat lunak lainnya dan dapat memberikan kemudahan dalam penggunaannya serta dapat digunakan secara gratis (*free*) atau cuma – cuma yang dikhususkan untuk negara berkembang seperti Indonesia. LEAP ini juga berfungsi sebagai database sehingga pengguna perangkat lunak ini dapat menganalisis permintaan energi secara cepat dan tepat dari sebuah kebijakan energi ke sebuah hasil dari kebijakan energi tersebut. (Harahap, 2019)

2.13.1. Macam – Macam Pelatihan Pada Perangkat Lunak LEAP

Pelatihan pada perangkat lunak LEAP bertujuan agar pengguna software ini dapat memahami dengan baik tentang perangkat lunak LEAP serta dapat memahami karakteristik dari perencanaan energi listrik untuk beberapa tahun kedepan. Latihan pada perangkat lunak LEAP terbagi menjadi beberapa Latihan yaitu diantaranya sebagai berikut ini:

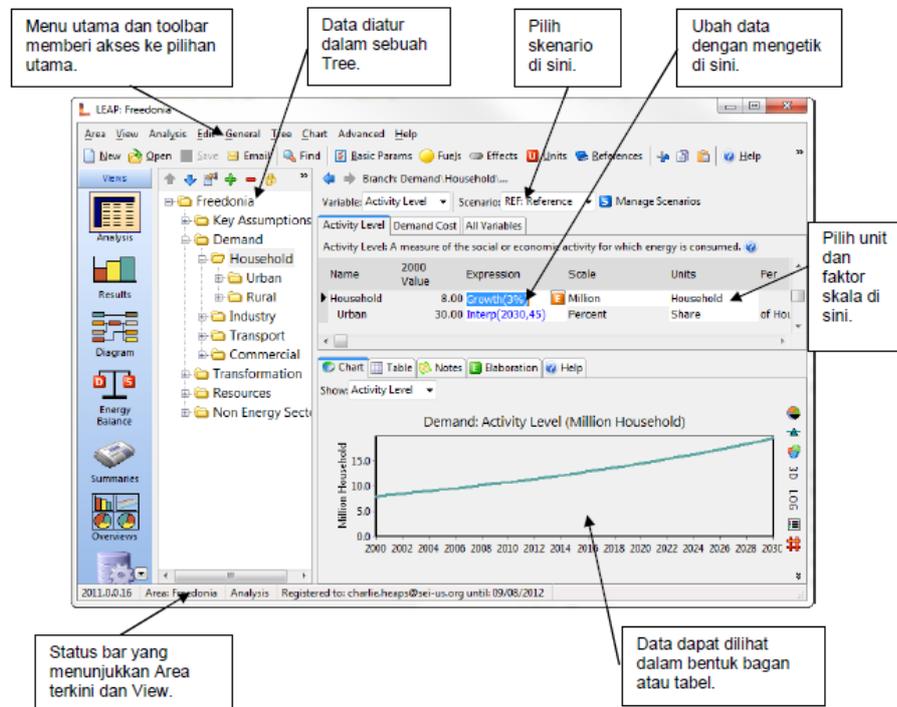
- a. Latihan pertama merupakan sebuah pelatihan pada perangkat lunak LEAP yang bertujuan untuk mengetahui serta memahami elemen dasar analisis permintaan dan penyediaan energi dalam memproyeksikan atau meramalkan kebutuhan energi di masa mendatang termasuk emisi yang dihasilkan.
- b. Latihan kedua dan latihan ketiga merupakan sebuah latihan pada perangkat lunak LEAP yang merupakan lanjutan dari latihan pertama yang berisi tentang analisis dasar energi (dan emisi), membuat beragam skenario seperti skenario BAU dan KEN, serta mengevaluasi setiap kebijakan dan teknologi yang dipilih seperti teknologi pembangkit listrik, standar efisiensi energi, dan konversi pembangkit listrik batubara ke gas alam. Pada latihan ini berisi tentang permintaan dan penyediaan energi, dampak lingkungan dan juga analisis skenario yang bisa dikerjakan masing-masing secara terpisah ataupun digabung. Biasanya membutuhkan waktu dua sampai dengan empat hari untuk menyelesaikan seluruh latihannya. Seluruh latihan ini menggunakan informasi dasar dari sebuah negara fiksi yang bernama “Freedonia” (Negeri Merdeka). Pada Freedonia ini cukup mirip dengan keadaan energi yang ada di dunia sekarang sehingga data yang dimuat cukup realistis. Latihan ini menyediakan beragam petunjuk yang akan membantu untuk memastikan langkah perhitungan yang dilakukan telah sesuai atau tidak. Supaya latihan tersebut berjalan dengan baik, “jawaban yang benar” dari latihan pertama sampai dengan latihan ketiga sudah tersedia sehingga kita dapat memeriksa hasilnya apakah telah sesuai atau tidak dengan “lembar jawaban”. Perlu diingat bahwa struktur data yang dimiliki bisa bervariasi, namun persyaratan energi terproyeksi harus sesuai dengan lembar jawaban.

- c. Latihan 4 akan mengarahkan kita untuk bagaimana caranya mengembangkan beragam pilihan skenario secara bebas (tidak ada lagi “lembar jawaban”). Dalam latihan ini, peran dari setiap kelompok kerja ditentukan, misalnya sebagai perusahaan penyedia energi, lembaga swadaya masyarakat bidang lingkungan, atau badan pengembangan daerah pedesaan. Kemudian LEAP digunakan untuk merancang, menyajikan dan mempertahankan skenario Policy energi sesuai dengan perspektif dan kepentingan masing-masing kelompok.
- d. Latihan 5 berisi tentang penggunaan fitur-fitur analisis transportasi pada LEAP dalam merancang beragam skenario untuk memeriksa kebijakan-kebijakan yang berbeda dalam menurunkan penggunaan bahan bakar dan emisi polusi dari kendaraan jenis mobil dan SUV atau Sport Utility Vehicles.
- e. Latihan 6 adalah tentang penggunaan fitur-fitur optimalisasi LEAP untuk mengembangkan sistem energi dengan optimalisasi berbiaya rendah. Anda juga dapat membuat pemodelan batasan emisi CO₂ – termasuk juga bagaimana sebuah pilihan batasan bisa mengubah seluruh set perangkat teknologi dan skenario pembiayaan yang telah dipilih.

2.13.2. Bagian – Bagian Perangkat Lunak LEAP

Ketika program LEAP telah terpasang pada komputer ataupun laptop maka jalankan LEAP dari menu Start/Programs/LEAP. Cara lain adalah dengan menjalankan program setup secara langsung dari file setup.exe atau unduh dan jalankan program LEAP dari internet lalu ikuti petunjuk yang terdapat pada layer pengguna. Sesaat setelah menjalankan program LEAP, akan muncul layar judul dan

kemudian disusul dengan jendela utama pada LEAP. Pada saat melakukan latihan dapat menggunakan LEAP dengan versi yang tidak terdaftar akan tetapi hasil dari latihan tidak dapat disimpan sehingga perlu untuk mendaftarkan akun terlebih dahulu untuk mendapatkan nomor registrasi dari LEAP secara resmi. (SEI, 2011)



Gambar 2. 20 Bagian – bagian LEAP

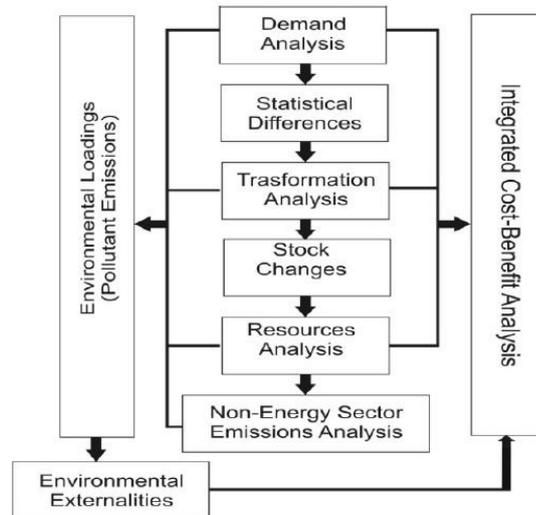
Layar LEAP terdiri atas beberapa bagian yang dapat diuraikan sebagai berikut: (Fauzi, 2021)

1. Baris teratas terdapat tulisan LEAP dan nama *file* yang sedang dibuka.
2. Baris kedua adalah menu-menu utama (*main menu*): *Area, Edit, View, General, tree, dan Help*.
3. Baris ketiga adalah *main toolbar*: *New, Save, Fuels, Effects, Units, References, dan sebagainya*.

4. *View bar* adalah menu vertikal di sisi kiri layar, yang terdiri atas: *Analysis, Detailed Result, Energy Balance, Summaries, Overviews, Technology Database, dan Notes.*
5. Kolom di sebelah *view bar* adalah tempat untuk menuliskan diagram pohon (*Tree*). Pada baris paling atas dari kolom ini terdapat *toolbar* untuk membuat/mengedit *Tree*.
6. Kolom berikutnya terdiri atas tiga bagian, yaitu: (a) *toolbar* untuk membuat/meng-*edit* skenario, (b) bagian untuk memasukkan data, dan (c) tampilan *input* data.
7. Baris terbawah adalah status bar, yang berisi: nama *file* yang sedang dibuka, *view* yang sedang dibuka, dan status registrasi.

LEAP terdiri dari 4 modul utama yang pertama yaitu modul variable penggerak (*driver variable*) atau yang dalam versi terbaru disebut *key assumptions*, yang kedua yaitu modul permintaan (*demand*), yang ketiga ada modul transformasi (*transformation*) dan yang terakhir ada modul sumber daya energi (*resources*). Modul tambahannya adalah pelengkap terhadap modul utama jika diperlukan, yang terdiri dari *statistical differences, stock changes, dan non energy sector effects*. Proses proyeksi penyediaan energi dilakukan pada Modul Transformasi dan Modul Sumber Daya Energi. Sebelum memasukkan data ke dalam Modul Transformasi untuk diproses, terlebih dahulu dimasukkan data cadangan sumber energi primer dan sekunder ke Modul Sumber Daya Energi yang akan di akseskan ke Modul Transformasi. Demikian juga untuk data permintaan dengan beberapa skenario yang telah dimasukkan ke dalam Modul Permintaan yaitu skenario BAU dan

skenario KEN, yang kemudian di akseskan ke Modul Transformasi. (Fauzi, 2021) dalam (Tri purnomo, 2005)



Gambar 2. 21 Struktur model LEAP (Fauzi, 2021) dalam (Suhono, 2010)

2.13.3. Modul Variabel Penggerak (*Driver Variable/Key Assumptions*)

Modul variabel penggerak (*Driver Variable*) yang cabangnya dinamakan dengan cabang “*Key Assumptions*” digunakan untuk menampung parameter-parameter umum yang dapat digunakan pada modul permintaan maupun modul transformasi. Parameter umum ini misalnya adalah jumlah penduduk; PDRB (Produk Domestik Regional Bruto); jumlah pelanggan listrik di beberapa sektor seperti sektor rumah tangga, sektor industri, sektor komersil, & sektor sosial; intensitas energi; tingkat aktivitas dan lain sebagainya. Modul variabel penggerak bersifat komplementer terhadap modul yang lain. Pada model yang sederhana dapat saja modul ini tidak digunakan. (Fauzi, 2021)

2.13.4. Modul Permintaan (*Demand*)

Modul ini digunakan untuk menghitung permintaan energi. Metode analisis yang digunakan dalam model ini didasarkan pada pendekatan end-use (pemakai

akhir) secara terpisah untuk masing-masing sektor pemakai sehingga diperoleh jumlah permintaan energi per sektor pemakai dalam suatu wilayah pada rentang waktu tertentu. Informasi mengenai variabel ekonomi, demografi dan karakteristik pemakai energi dapat digunakan untuk membuat alternatif skenario kondisi masa depan sehingga dapat diketahui hasil proyeksi dan pola perubahan permintaan energi berdasarkan skenario-skenario tersebut. (Fauzi, 2021)

Pembagian sektor pemakai energi sepenuhnya dapat dilakukan sesuai kebutuhan pengguna. Permintaan energi didefinisikan sebagai perkalian antara aktifitas pemakaian energi (misalnya jumlah penduduk, jumlah kendaraan, volume nilai tambah, dan lain sebagainya) serta intensitas pemakaian energi kegiatan yang bersangkutan. (Muliwandana, 2019) dalam (Muhammad at all, 2009)

2.13.5. Analisis Permintaan Energi Final (*Final Energy Demand Analysis*)

Permintaan energi dihitung sebagai hasil perkalian antara aktivitas total pemakaian energi dengan intensitas energi pada setiap cabang teknologi (*technology branch*).

2.13.6. Analisis Permintaan Energi Terpakai (*Useful Energy Demand Analysis*)

Pada metode ini, intensitas energi ditentukan pada cabang Intensitas Energi Gabungan (*Aggregate Energy Intensity Branch*), bukan pada cabang Teknologi (*Technology Branch*). Pada tahun dasar, ketika digunakan 2 metode sekaligus yaitu analisis permintaan energi final dan analisis permintaan energi terpakai (*Final Energy Demand dan Useful Energy Demand*). (Fauzi, 2021)

2.13.7. Modul Transformasi (*Transformation*)

Modul transformasi ini digunakan untuk menghitung pasokan energi. Pasokan energi dapat terdiri atas produksi energi primer (misalnya seperti gas bumi, minyak bumi dan batubara) dan energi sekunder (misalnya seperti listrik, bahan bakar minyak, LPG, briket batubara dan arang). Susunan cabang dalam modul transformasi sudah ditentukan strukturnya dimana masing-masing kegiatan transformasi energi terdiri atas proses dan output. (Fauzi, 2021)

2.13.8. Modul *Resources*

Modul *resources* atau sumber daya terdiri atas bagian primer dan sekunder. Kedua cabang ini sudah didesain secara *default*. Cabang-cabang dalam modul sumber daya akan muncul dengan sendirinya sesuai dengan jenis-jenis energi yang dimodelkan dalam modul transformasi. Beberapa modul dalam sumber daya ini pada hal parameter perlu diisi, seperti parameter jumlah cadangan seperti minyak bumi, gas bumi, batubara, & lain sebagainya, serta parameter mengenai potensi energi seperti tenaga air, biomasa, & lain sebagainya. (Muliwandana, 2019) dalam (Muhammad at all, 2009).

2.13.9. Modul *Statistical Differences*

Modul *statistical differences* merupakan sebuah modul pada LEAP yang menuliskan asumsi – asumsi selisih antara data demand dan supply karena perbedaan pendekatan dalam perhitungan demand dan perhitungan supply energi. Cabang – cabang dalam Modul *Statistical Differences* akan muncul dengan sendirinya sesuai dengan jenis-jenis energi yang dimodelkan dalam Modul Demand. Pada umumnya, *statistical differences* pada pemodelan dianggap nol. (Muliwandana, 2019) dalam (Oetomo, 2006)

2.13.10. Modul *Stock Changes*

Modul *stock changes* merupakan sebuah modul dalam LEAP yang menuliskan asumsi-asumsi perubahan stok atau cadangan energi pada awal tahun tertentu dengan awal tahun berikutnya. Cabang-cabang dalam Modul *Stock Changes* akan muncul dengan sendirinya sesuai dengan jenis-jenis energi yang dimodelkan dalam Modul *Transformation*. Pada umumnya, perubahan stok pada pemodelan dianggap nol. (Muliwandana, 2019) dalam (Oetomo, 2006)

2.13.11. Modul *Non-Energy Sector Effect*

Modul *non-energy sector effect* merupakan sebuah modul pada LEAP yang menempatkan variabel-variabel dampak negatif kegiatan sektor energi, seperti tingkat kecelakaan, penurunan kesehatan, terganggunya ekosistem, dan lain sebagainya. (Muliwandana, 2019) dalam (Oetomo, 2006)

2.13.12. Terminologi Umum Dalam LEAP

Beberapa terminologi umum yang digunakan dalam LEAP antara lain :
(Muliwandana, 2019) dalam (Oetomo, 2006)

1. Area: merupakan sistem pada LEAP yang sedang dikaji (contoh : negara atau wilayah)
2. Current Accounts: merupakan sebuah data yang menggambarkan tahun dasar (tahun awal) dari jangka waktu kajian.
3. Scenario: merupakan sekumpulan asumsi mengenai kondisi di masa yang akan datang.
4. Tree: merupakan diagram yang merepresentasikan struktur model yang disusun seperti tampilan dalam *windows explorer*. *Tree* terdiri atas beberapa

Branch. Terdapat 4 (empat) cabang (*branch*) utama, yaitu *Driver Variable*, *Demand*, *Transformation*, dan *Resources*. Masing-masing cabang utama dapat dibagi lagi menjadi beberapa cabang tambahan (anak cabang).

5. Branch: merupakan sebuah cabang atau bagian dari Tree, Branch utama ada empat, yaitu Modul Variabel Penggerak (*Driver Variable*), Modul Permintaan (*Demand*), Modul Transformasi (*Transformation*) dan Modul Sumber Daya Energi (*Resources*).
6. Expression: formula matematis untuk menghitung perubahan nilai suatu variabel.
7. Saturation: perilaku suatu variabel yang digambarkan mencapai suatu kejenuhan tertentu. Persentase kejenuhan adalah $0\% \leq X \leq 100\%$. Nilai dari total persen dalam suatu Branch dengan saturasi tidak perlu berjumlah 100%.
8. Share: perilaku suatu variabel yang menggambarkan mencapai suatu kejenuhan 100%. Nilai dari total persen dalam suatu Branch dengan Share harus berjumlah 100%.