

Kajian Perencanaan Kebutuhan dan Pemenuhan Energi Listrik di Kota Manado

Agus Sofyan F. Rajagukguk⁽¹⁾, Ir. Marthinus Pakiding, MT.⁽²⁾, Dr.Eng Meita Rumbayan, ST., M.Eng.⁽³⁾
(1)Mahasiswa (2)Pembimbing 1 (3)Pembimbing 2

Jurusan Teknik Elektro-FT, UNSRAT, Manado-95115, Email: agusrajagukguk09@gmail.com

Abstrak

Seiring dengan perkembangan zaman sekarang ini permintaan akan energi listrik meningkat pesat. Peningkatan ini dipengaruhi oleh pertumbuhan penduduk dan faktor ekonomi suatu daerah. Sehingga dibutuhkan perencanaan untuk dapat memenuhi kebutuhan energi listrik di waktu mendatang. Tugas akhir ini bertujuan untuk memproyeksikan konsumsi energi listrik, jumlah pelanggan listrik, produksi energi listrik dan beban puncak di Kota Manado tahun 2014 sampai 2023 menggunakan perangkat lunak LEAP (*Long-range Energy Alternatives Planning System*). Selain itu, dilakukan juga perencanaan pengembangan pembangkit yang sesuai untuk memenuhi kebutuhan energi listrik Kota Manado.

Hasil proyeksi konsumsi energi listrik di Kota Manado mengalami peningkatan dari tahun 2014 – 2023, dengan pertumbuhan rata – rata sebesar 12,2 persen per tahun atau meningkat dari 541.233 MWh pada tahun 2014 menjadi 1.525.508 MWh pada tahun 2023, pertumbuhan rata – rata jumlah pelanggan energi listrik selama periode tersebut sebesar 3,5 persen per tahun atau sebesar 102.213 pelanggan pada tahun 2023. Proyeksi produksi energi listrik juga meningkat sesuai dengan peningkatan konsumsi energi listrik dengan pertumbuhan rata – rata 11,8 persen per tahun atau sebesar 1.645.830 MWh pada tahun 2023. Hasil proyeksi beban puncak bertumbuh rata – rata 10,4 persen per tahun, dengan total kebutuhan energi listrik pada tahun 2023 sebesar 281,25 MW.

Berdasarkan hasil proyeksi kebutuhan energi listrik Kota Manado tahun 2014 – 2023, untuk dapat memenuhi kebutuhan energi listrik sampai tahun 2023, maka direncanakan pengembangan pembangkit khusus untuk memenuhi kebutuhan energi listrik Kota Manado yang akan interkoneksi melalui sistem Minahasa.

Kata Kunci: Energi listrik, Kebutuhan energi listrik, LEAP, Pemenuhan energi listrik

Abstract

Along with the times electrical energy demand will increase rapidly. This increase is influenced by population growth and economic factors of a region. So be required planning to meet needs of electrical energy in the future. This final project aims for project of electrical energy consumption, the number of customers electrical energy, the production of electric energy and peak load in the City of Manado 2014 to 2023 by using the software LEAP (Long-range Energy Alternatives Planning System). Furthermore, performed also generator development planning who compliance to comply the needs Manado City of electrical energy.

The results of projection electrical energy consumption in the City of Manado increasing from 2014 – 2023, with

average growth is 12.2 percent per year, the increasing of energy consumption is 541,233 MWh in 2014 to 1,525,508 MWh in 2023, the average amount growth of electricity customers during the period by 3.5 percent per year or by ofcustomers is 102,213 in 2023. Projected production of electric energy is also increased according to the increase in electrical energy consumption with average growth 11.8 percent per year or a total of 1,645,830 MWh in 2023. Results of peak load growth projected average is 10.4 percent per year, the total electric energy needs in 2023 amounted to 281,25 MW.

Based on a projection of the electrical energy needs in Manado City for 2014 – 2023, to be able to fulfill electrical energy needs in 2023, the planned development of a special generator to comply the needs Manado City of electrical energy that will interconnect through the Minahasa system.

Keywords: Electrical energy, Electrical energy compliance, Electrical energy needs, LEAP

I. PENDAHULUAN

Energi listrik sangat dibutuhkan bagi masyarakat modern sekarang ini. Seiring dengan kemajuan teknologi, permasalahan pada dunia listrik sering terjadi salah satunya pada kebutuhan energi listrik. Peningkatan kebutuhan energi listrik tidak saja dipengaruhi oleh banyaknya penduduk di suatu wilayah tetapi juga faktor aktifitas ekonomi penduduk yang terus meningkat untuk memenuhi kebutuhan hidupnya. Semakin tinggi aktifitas ekonomi maka akan semakin besar kebutuhan akan energi listriknya. Dapat dipastikan bahwa pertumbuhan suatu masyarakat modern, kebutuhan energi listrik pada umumnya akan meningkat sebanding dengan tingkat aktifitas ekonomi dan juga jumlah penduduk dalam wilayah tersebut.

Ketersediaan energi listrik yang memadai dan tepat sasaran akan memacu perkembangan pembangunan daerah seperti sektor industri, bisnis, pelayanan publik dan bahkan kualitas hidup masyarakat dengan semakin banyaknya warga yang menikmati energi listrik. Kemudian secara langsung maupun tidak langsung, hal itu akan mempengaruhi pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan masyarakat.

Seiring dengan peningkatan kebutuhan energi listrik pada suatu wilayah maka dibutuhkan perencanaan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di waktu mendatang. Perencanaan kebutuhan energi listrik tidak saja diperlukan sebagai data masukan bagi proses

perencanaan pembangunan suatu sistem kelistrikan, tetapi juga diperlukan untuk pengoperasian sistem tenaga listrik dalam penyediaan energi yang sesuai dengan kebutuhan.

Dalam perencanaan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik masyarakat Kota Manado, potensi energi terbarukan dapat dipertimbangkan sebagai alternatif sumber energi pembangkit tenaga listrik. Sesuai dengan Undang-Undang Ketenagalistrikan No. 3 Tahun 2009 yang menyatakan bahwa usaha penyediaan tenaga listrik dikuasai oleh negara dan dipergunakan sebesar-besarnya untuk kemakmuran rakyat yang penyelenggaraannya dilakukan oleh pemerintah pusat dan pemerintah daerah. Oleh sebab itu, penulis mengajukan judul tugas akhir "*Kajian Perencanaan Kebutuhan dan Pemenuhan Energi Listrik di Kota Manado*".

II. LANDASAN TEORI

A. Perencanaan

Dalam kehidupan ada berbagai alternatif atau pilihan. Perencanaan dibuat untuk membantu memilih alternatif yang paling baik dan paling efisien. Jadi perencanaan merupakan kumpulan dari pengambilan keputusan. Perencanaan ketenagalistrikan merupakan suatu proses multidisiplin yang komprehensif dan berpedoman pada doktrin – doktrin perencanaan tertentu.

Rencana kebijakan bidang ketenagalistrikan dituangkan dalam Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN) dan Rencana Umum Ketenagalistrikan Daerah (RUKD). Dalam melakukan penyusunan RUKD harus mempertimbangkan RUKN dan disusun sesuai pedoman yang dikeluarkan oleh Pemerintah.

Tujuan Perencanaan Ketenagalistrikan

Perencanaan merupakan awal dari pengembangan sistem tenaga listrik, jadi sangat diharapkan dari perencanaan ini dapat memenuhi :

Kebutuhan kapasitas dan tenaga listrik setiap tahun dengan tingkat keandalan yang diinginkan.

Tercapainya bauran bahan bakar yang lebih baik, dicerminkan oleh pengurangan penggunaan bahan bakar minyak hingga kontribusi produksi pembangkit berbahan bakar minyak menjadi lebih kecil.

Mengatasi krisis kelistrikan yang terjadi di beberapa daerah.

Tercapainya angka rugi jaringan transmisi dan distribusi lebih kecil dari 10 persen.

Tercapainya tara kalor yang membaik sehingga dapat dicapai biaya pokok produksi (BPP) yang lebih baik dan rasional.

B. Faktor – faktor yang Mempengaruhi Tingkat Kebutuhan Energi Listrik

Penggunaan tenaga listrik diperkirakan akan selalu meningkat setiap tahunnya. Hal ini dikarenakan oleh semakin berkembangnya kebutuhan masyarakat yang harus dipenuhi. Banyak faktor yang berpengaruh terhadap tingkat kebutuhan energi listrik, seperti faktor ekonomi, kependudukan, kewilayahan, dan lain – lain. Menurut tingkat kebutuhan energi listrik dipengaruhi oleh faktor – faktor berikut ini :

Faktor ekonomi yang mempengaruhi tingkat kebutuhan energi listrik adalah pertumbuhan PDRB (Produk Domestik Regional Bruto). Secara umum, PDRB dapat dibagi menjadi 3 sektor, yaitu PDRB sektor komersial (bisnis), sektor industri dan sektor publik. Kegiatan ekonomi yang dikategorikan sebagai sektor komersial atau 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, termasuk lembaga keuangan selain perbankan. Sektor industri sendiri adalah mencakup kegiatan industri migas dan manufaktur.

Pertumbuhan penduduk memiliki pengaruh besar terhadap kebutuhan energi listrik selain faktor ekonomi. Penduduk akan naik setiap tahunnya sampai pada suatu saat akan berada pada kondisi yang stabil.

Berjalannya pembangunan daerah akan sangat dipengaruhi oleh tingkat perekonomian daerah itu sendiri. Dalam hal ini baik langsung maupun tidak langsung. Faktor ekonomi sangat berpengaruh terhadap kebutuhan energi listrik seiring dengan berjalannya pembangunan. Pemerintah Daerah sebagai pelaksana pemerintahan di tingkat daerah akan mengambil peran penting dalam perencanaan pengembangan wilayah. Hal itu berbentuk kebijakan yang tertuang dalam berbagai produk peraturan daerah. Termasuk di dalamnya adalah perencanaan tentang tata guna lahan, pengembangan industri, kewilayahan, pemukiman dan faktor geografis.

C. Kebutuhan Beban (Load Demand)

Kebutuhan beban dari suatu daerah tergantung dari kondisi daerah, penduduk dan standart kehidupannya, rencana pengembangannya sekarang dan masa akan datang, harga daya dan sebagainya. Seorang konsumen boleh meminta pelayanan pada jumlah, waktu dan tempat sesuai kebutuhannya dan perusahaan listrik diharapkan memenuhinya. Konsumen mengharap untuk menerima pelayanan terus menerus dengan tegangan yang teratur sesuai yang seharusnya.

Permintaan konsumen bahwa daya harus dicatu pada sembarang waktu membuat perusahaan listrik harus menyediakan fasilitas untuk kebutuhan maksimumnya, mungkin diperlukan cadangan energi listrik. Konsumen tidak boleh dibiarkan menunggu. Konsumen harus langsung dicatu dengan pelayanan penuh saat konsumen tersebut membutuhkan. Karena kebutuhan konsumen bersamaan waktu, mengakibatkan terjadinya "puncak" dan "lembah" pada kurva beban. Ada saat – saat peralatan mempunyai beban penuh, sedang pada saat – saat lain peralatan tersebut tidak dipakai. (pabla, 1994).

D. Peramalan Beban Listrik

Kebutuhan tenaga listrik suatu daerah tergantung dari letak daerah, jumlah penduduk, standar kehidupan, rencana pembangunan atau pengembangan daerah di masa yang akan datang. Peramalan kebutuhan tenaga listrik yang kurang tepat (lebih rendah dari permintaan) dapat menyebabkan kapasitas pembangkitan tidak mencukupi untuk melayani konsumen yang dapat

merugikan perekonomian negara dan sebaliknya, bila peramalan terlalu besar dari permintaan maka akan mengalami kelebihan pembangkitan yang merupakan pemborosan.

Elastisitas dan Faktor Pelanggan

Elastisitas adalah sebuah ukuran berapa banyak pembeli atau penjual berespon terhadap perubahan – perubahan kondisi pasar. Elastisitas permintaan merupakan ukuran derajat kepekaan permintaan suatu barang terhadap perubahan faktor –faktor yang mempengaruhinya. Elastisitas pertumbuhan energi listrik yaitu perbandingan pertumbuhan konsumsi energi listrik dengan pertumbuhan ekonomi (PDRB).

Faktor pelanggan atau CF (*Capacity Factor*) yaitu perbandingan antara jumlah pelanggan dengan pertumbuhan ekonomi (PDRB).

Produk Domestik Regional Bruto (PDRB)

Pengertian Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) pada dasarnya merupakan jumlah nilai tambah yang dihasilkan oleh seluruh unit usaha dalam suatu daerah tertentu, atau merupakan jumlah nilai barang dan jasa akhir yang dihasilkan oleh seluruh unit ekonomi. PDRB atas dasar harga berlaku digunakan untuk melihat pergeseran struktur ekonomi sedangkan PDRB atas dasar harga konstan digunakan untuk mengetahui pertumbuhan ekonomi dari tahun ke tahun.

E. Perangkat Lunak LEAP (Long-range Energy Alternatives Planning System)

Tidak dapat dipungkiri bahwa energi tidak dapat lepas dari kehidupan manusia, termasuk energi listrik. Pada dekade terakhir perhatian terhadap energi semakin meningkat bersamaan dengan meningkatnya kebutuhan masyarakat akan energi. Oleh karena itu pula berbagai perangkat lunak yang digunakan sebagai media perencanaan energi. Penyediaan program tersebut juga muncul dari berbagai kalangan, baik dari kalangan akademisi maupun dari pelaku usaha.

Perangkat lunak LEAP merupakan salah satu perangkat lunak yang sangat komprehensif dalam melakukan perencanaan energi. LEAP dirancang unuk dapat bekerja sama dengan produk Microsoft Office (Word, Excel, Power Point) sehingga mudah untuk impor, ekspor dan menghubungkan ke data serta model yang dibuat di tempat lain. Perancang program aplikasi ini adalah dari *Stokholm Environment Institute* (SEI) dan memiliki komunitas yang saling berintraksi yaitu *COMMEND (Community for Energy Environment and Development)*.

Metode Perencanaan Energi

Untuk melakukan perencanaan dalam bidang apapun, tentu harus ada metode yang digunakan. Dalam hal ini perencanaan dilakukan menggunakan perangkat lunak LEAP. Perangkat lunak LEAP menggabungkan beberapa model pendekatan perencanaan energi, yaitu: *Trend*, *Ekonometri* dan *End Use*.

Pendekatan Trend

Pendekatan *trend* dilakukan dengan melakukan proyeksi berdasarkan data historis di masa lalu. Data tersebut kemudian diekstrapolasikan berdasarkan kecenderungan yang terjadi. Bisa dihubungkan dengan rata – rata dari data tersebut maupun dengan memilih jenis kurva yang diinginkan. Keunggulannya adalah data yang diperlukan bersifat sederhana. Namun, ada juga kelemahannya terutama karena tidak dapat menggambarkan perubahan struktural yang terjadi dari masing – masing variabel yang berpengaruh baik untuk faktor teknologi maupun ekonomi. Selain itu, ada kecenderungan bahwa kejadian di masa lalu tidak secara tegas akan menggambarkan kondisi pada masa yang akan datang.

Pendekatan Ekonometri

Komponen utama dari analisis dengan model ekonometri adalah pada data masukkan atau variabel yang bersifat ekonomi yang kemudian dihubungkan dengan tingkat kebutuhan energi listrik. Kelebihan dari model ini adalah tidak terlalu banyaknya data yang harus digunakan sebagai variabel input. Biasanya proyeksi kebutuhan energi listrik dengan pendekatan model ini tidak memperhitungkan secara detail teknologi yang digunakan dalam ketenagalistrikan.

Pendekatan End – Use

Model pendekatan *end-use* juga dikenal sebagai pendekatan *engineering model*. Pendekatan ini akan lebih detail walaupun secara perhitungan menggunakan fungsi yang lebih sederhana. Pertimbangan teknologi yang digunakan dalam proses aliran energi juga menjadi variabel perhitungan. Pendekatan ini sangat cocok untuk keperluan proyeksi efisiensi energi karena dimungkinkan untuk secara eksplisit mempertimbangkan 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 sektoral dipengaruhi oleh rincian kegiatan berbeda yang membentuk komposisi atau struktur permintaan energi.

Persamaan yang digunakan dalam perangkat lunak LEAP adalah seperti yang ditunjukkan pada persamaan 1 sampai persamaan 15 berikut ini.

Jumlah Pelanggan / Number of Customer ($NC_{R(t)}$)

$$NC_{R(t)} = \left(\left(\frac{RE_{(t)}}{100} \right) \left(\frac{JP_{(t)}}{(P/Hh)_{(t)}} \right) \right) \quad (1)$$

Dimana:

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

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

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

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

$$NC_{B(t)} = \left(1 + \frac{(CF_{B(t)} \times GD_{B(t)})}{100}\right) NC_{B(t-1)} \quad (2)$$

Dimana:

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

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

$GD_{B(t)}$ = Pertumbuhan PDRB sektor bisnis tahun t [%]

$$NC_{S(t)} = \left(1 + \frac{(CF_{S(t)} \times GD_{S(t)})}{100}\right) NC_{S(t-1)} \quad (3)$$

Dimana:

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

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

$GD_{S(t)}$ = Pertumbuhan PDRB sektor sosial tahun t [%]

$$NC_{P(t)} = \left(1 + \frac{(CF_{P(t)} \times GD_{P(t)})}{100}\right) NC_{P(t-1)} \quad (4)$$

Dimana:

$NC_{P(t)}$ = Jumlah pelanggan publik t [jiwa]

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

$GD_{P(t)}$ = Pertumbuhan PDRB sektor publik tahun t [%]

$$NC_{I(t)} = \left(1 + \frac{(CF_{I(t)} \times GD_{I(t)})}{100}\right) NC_{I(t-1)} \quad (5)$$

Dimana:

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

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

$GD_{I(t)}$ = Pertumbuhan PDRB sektor industri tahun t [%]

Konsumsi Energi / Energy Consumption ($EC_{(t)}$)

$$EC_{R(t)} = \left(1 + \left(E_{R(t)} \times \frac{GD_{R(t)}}{100}\right)\right) EC_{R(t-1)} \quad (6)$$

Dimana:

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

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

$GD_{R(t)}$ = Pertumbuhan PDRB sektor rumah tangga tahun t [%]

$$EC_{B(t)} = \left(1 + \left(E_{B(t)} \times \frac{GD_{B(t)}}{100}\right)\right) EC_{B(t-1)} \quad (7)$$

Dimana:

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

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

$GD_{B(t)}$ = Pertumbuhan PDRB sektor bisnis tahun t [%]

$$EC_{S(t)} = \left(1 + \left(E_{S(t)} \times \frac{GD_{S(t)}}{100}\right)\right) EC_{S(t-1)} \quad (8)$$

Dimana:

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

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

$GD_{S(t)}$ = Pertumbuhan PDRB sektor bisnis tahun t [%]

$$EC_{P(t)} = \left(1 + \left(E_{P(t)} \times \frac{GD_{P(t)}}{100}\right)\right) EC_{P(t-1)} \quad (9)$$

Dimana:

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

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

$GD_{P(t)}$ = Pertumbuhan PDRB sektor publik tahun t [%]

$$EC_{I(t)} = \left(1 + \left(E_{I(t)} \times \frac{GD_{I(t)}}{100}\right)\right) EC_{I(t-1)} \quad (10)$$

Dimana:

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

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

$GD_{I(t)}$ = Pertumbuhan PDRB sektor publik tahun t [%]

Total Produksi dan Beban Puncak /Peak Load [MW]

$$PL_{(t)} = TP_{(t)} / \left((365 \times 24 / 1000) \times (LF_{(t)} / 100) \right) \quad (11)$$

$$TP_{(t)} = PP_{(t)} + PUR_{(t)} \quad (12)$$

$$PP_{(t)} = \frac{SO_{(t)}}{1 - (SU_{(t)} / 100)} \quad (13)$$

$$SO_{(t)} = ER - PUR_{(t)} \quad (14)$$

$$ER_{(t)} = \frac{EC_{(t)}}{1 - (LOS / 100)} \quad (15)$$

Dengan,

TP = Total Produksi [GWh]

PP = Produksi PLN [GWh]

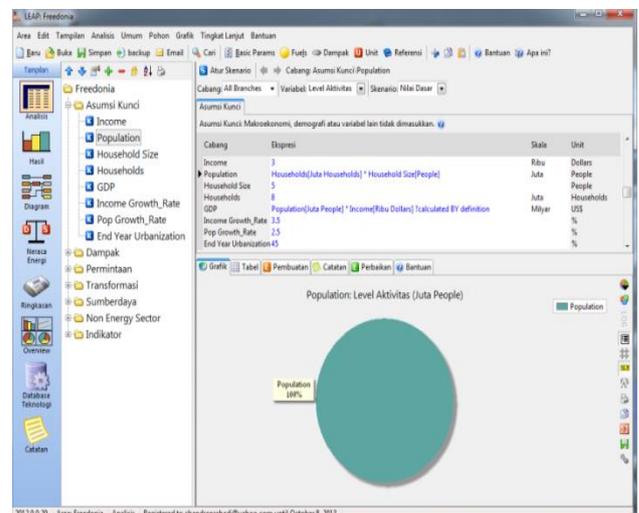
SO = Energi yang disalurkan [GWh]

ER = Energi yang diterima [GWh]

LF = Load Factor [Persen]

LOS = Losses Transmisi dan Distribusi [Persen]

PUR = Pembelian Energi Listrik [GWh]



Gambar 1. Tampilan LEAP

Bagian – bagian LEAP

Ketika pertama membuka aplikasi LEAP, maka akan muncul tampilan seperti pada gambar 1. Perangkat lunak LEAP yang digunakan adalah keluaran tahun 2014 seri 2014.0.1.11

LEAP memiliki beberapa terminologi umum, di antaranya sebagai berikut:

Area

Area merupakan sistem yang sedang dikaji (contoh : negara atau wilayah).

Current Accounts

Current Accounts merupakan data yang menggambarkan tahun dasar (tahun awal) dari jangka waktu kajian.

Scenario

Scenario merupakan sekumpulan asumsi mengenai kondisi masa depan.

Tree

Tree merupakan diagram yang mempresentasikan struktur model yang disusun seperti tampilan dalam *windows explorer*. *Tree* terdiri atas beberapa *branch*. Terdapat empat *Branch* utama, yaitu *Driver Variable*, *Demand*, *Transformation*, and *Resources*. Masing – masing *Branch* utama dapat dibagi lagi menjadi beberapa *Branch* tambahan (anak cabang).

Branch

Branch merupakan 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*).

Expression

Expression merupakan formula matematis untuk menghitung perubahan nilai suatu variabel.

Saturation

Saturation adalah perilaku variabel yang digambarkan mencapai suatu kejenuhan tertentu. Presentase kejenuhan adalah $0 \% \leq X \leq 100 \%$. Nilai dari total persen dalam suatu *Branch* dengan saturasi tidak perlu berjumlah 100%.

Share

Share adalah perilaku suatu variabel yang menggambarkan mencapai suatu kejenuhan 100%. Nilai dari total persen dalam suatu *Branch* dengan *Share* harus berjumlah 100%.

F. Proses Pemenuhan Sistem Ketenagalistrikan

Proses pemenuhan sistem ketenagalistrikan terbagi atas beberapa tahap sebagai berikut :

Perencanaan pemenuhan kebutuhan energi listrik diawali dengan peramalan kebutuhan atau ramalan beban tenaga listrik untuk 10 tahun ke depan di setiap sektor pemakai energi listrik, yaitu sektor

industri, komersial (bisnis), rumah tangga, sosial dan publik (pemerintahan). Rencana pemenuhan kebutuhan tenaga listrik ini dipengaruhi oleh tingkat pertumbuhan ekonomi daerah setempat, program elektrifikasi dan mempertimbangkan kemungkinan pemanfaatan *captive power*.

Perencanaan pengembangan pembangkit (*generation expansion planning*) direncanakan berdasarkan asas optimasi atau biaya terendah dengan memperhatikan ketersediaan sumber energi primer setempat, sifat ragam beban, beban puncak, teknologi/jenis pembangkitan, dan faktor eksternal lain yang perlu diperhatikan, seperti dampak lingkungan hidup. Metode optimasi biaya penyediaan tenaga listrik dan pemilihan teknologi pembangkit harus memperhatikan ketersediaan energi primer, biaya tetap dan biaya variabel.

Tingkat kehandalan dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik dengan adanya cadangan tenaga listrik yang memadai. Hal ini akan menjadi pertimbangan sebagai kriteria dalam perencanaan ketenagalistrikan. Tingkat cadangan atau kehandalan ini juga memperhatikan penalti ekonomi yang akan diterima masyarakat apabila terjadi pemadaman. Selain itu hendaknya mempertimbangan faktor kebijakan setempat yang akan mempengaruhi biaya penyediaan dan tarif tenaga listrik.

Mengedepankan ketersediaan energi primer, terutama energi terbarukan. Selain itu juga mempertimbangkan alternatif pilihan teknologi dan jenis pembangkitan agar dapat tercapai hasil yang optimal pada pemanfaatan potensi, efisiensi dan dampak yang tidak merugikan terhadap lingkungan.

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.

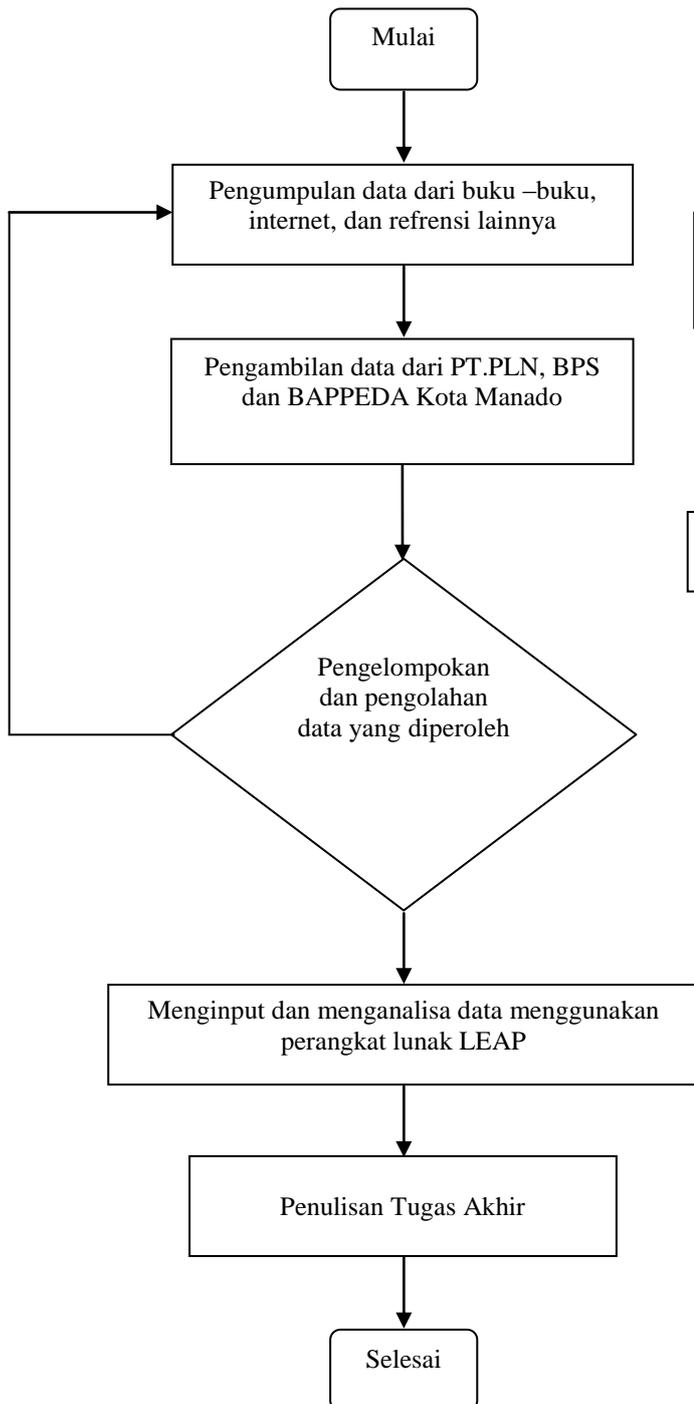
Perencanaan penyediaan energi listrik hendaknya diintegrasikan dengan perencanaan pemanfaatan energi di sisi pemakaian energi listrik.

III. METODE PENELITIAN

Pelaksanaan pengumpulan data dilakukan pada bulan September – Oktober 2014. Pengambilan data ini meliputi, pengambilan data di Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Manado, Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (BAPPEDA) Kota Manado dan PT. PLN (Persero) Cabang Manado. Secara umum prosedur penelitian ini terdiri atas beberapa langkah – langkah, yaitu: tahap persiapan, tahap pengambilan data, tahap pengolahan data dan tahap simulasi. Diagram Alir penelitian secara umum dalam penyusunan tugas akhir dapat dilihat pada gambar 2 dan untuk diagram alir melakukan proyeksi menggunakan perangkat lunak LEAP dapat dilihat pada gambar 3.

Jenis Data Penelitian

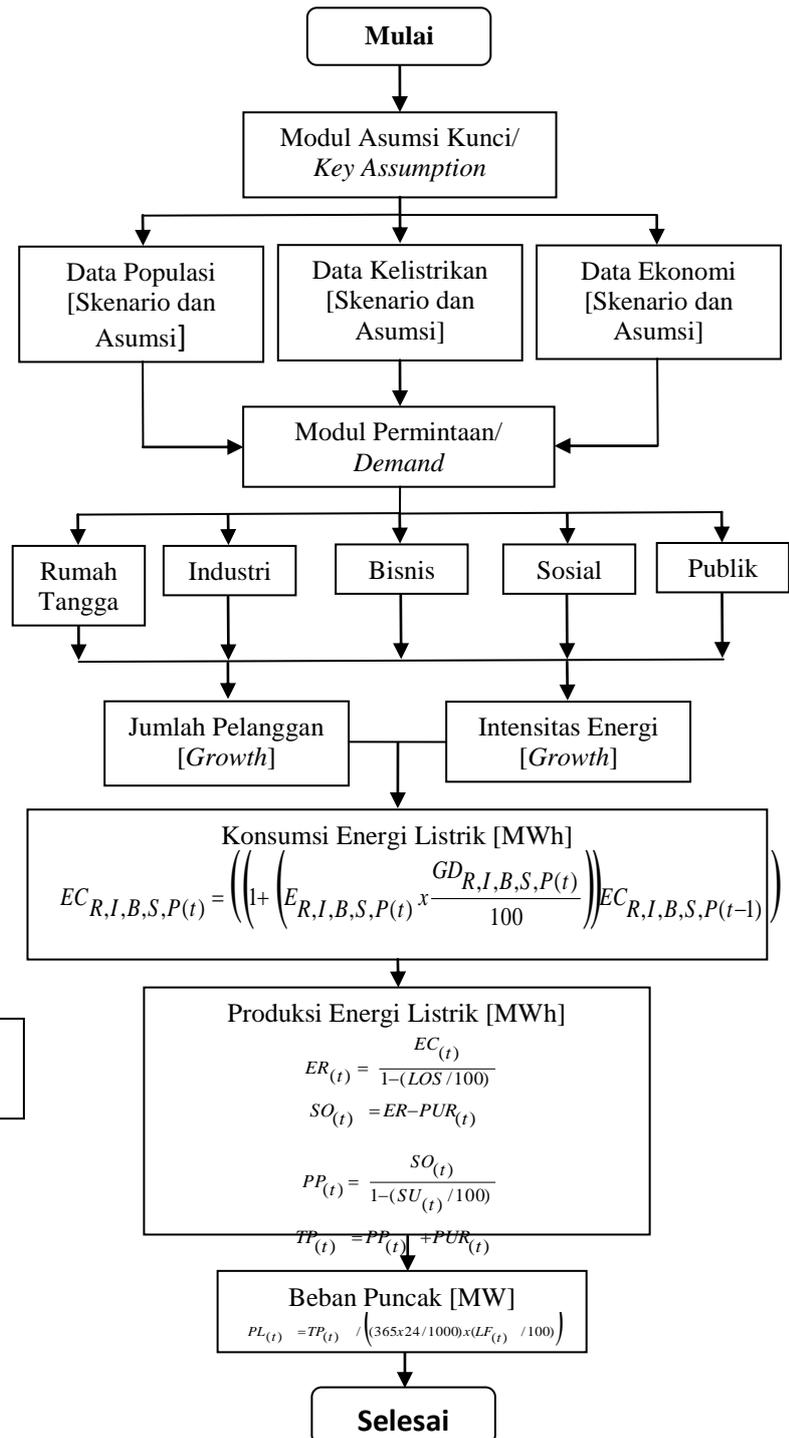
Data yang dikumpulkan untuk penyusunan tugas akhir ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Manado, Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (BAPPEDA) Kota Manado dan PT. PLN (Persero) Cabang Manado. Dalam melakukan proyeksi energi listrik diperlukan beberapa data historis, yaitu: data jumlah penduduk (lihat tabel I) data ekonomi dalam bentuk data PDRB (lihat tabel II), data jumlah pelanggan (lihat tabel III), data konsumsi energi listrik (lihat tabel IV), data intensitas energi listrik (lihat tabel V) dan data beban puncak Kota Manado (lihat tabel VI)



Gambar 2. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

Data Asumsi Untuk Simulasi

Dalam melakukan simulasi menggunakan LEAP, diperlukan beberapa variabel perhitungan. Hasil dari penentuan variabel ini tidak mungkin diperoleh secara pasti, sehingga untuk memudahkan perhitungan diperlukan scenario yang di dalamnya terdapat berbagai asumsi – asumsi. Adapun data – data asumsi yang digunakan dalam simulasi menggunakan perangkat lunak LEAP yaitu: asumsi *losses* T&D, *load factor*, *use station* (lihat tabel VII), elastisitas tenaga listrik (lihat tabel VIII), faktor kapasitas pelanggan (lihat tabel IX) dan pertumbuhan PDRB (lihat tabel X)



Gambar 3. Diagram Alir dan Susunan Modul dalam Perangkat Lunak LEAP

Simulasi LEAP

Untuk melakukan simulasi menggunakan LEAP, perlu melihat kembali data yang dimiliki. Hal ini dimungkinkan karena algoritma LEAP yang memiliki fleksibilitas tinggi yang memberi keluasaan bagi pengguna dalam melakukan simulasi. LEAP dapat diatur sesuai data yang dimiliki. Apabila data yang dimiliki sangat lengkap seperti emisi buang, teknologi pembangkitan, hingga peralatan elektronik dan penerangan dalam bangunan mampu diakomodasi oleh LEAP. Demikian juga apabila data yang dimiliki sangat terbatas seperti simulasi pada penelitian ini dimana hanya memiliki data yang berkaitan dengan konsumsi energi listrik pun dapat digunakan.

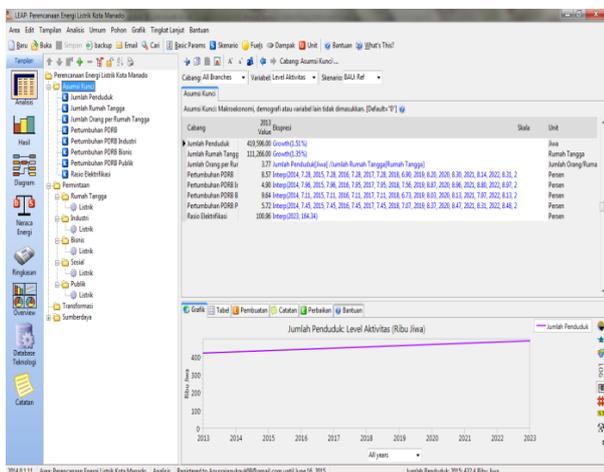
Basic Parameter

Langkah pertama dalam simulasi adalah mengatur dan menentukan parameter dasar simulasi. Di dalam parameter dasar, lingkup kerja ditentukan yaitu hanya pada analisis permintaan (*demand*). Kemudian menentukan tahun dasar simulasi. Dalam penelitian ini yang digunakan sebagai tahun dasar adalah tahun 2013, setelah itu menentukan batas akhir periode simulasi yaitu tahun 2023. Yang terakhir adalah menentukan unit satuan yang digunakan seperti unit energi, unit panjang, massa dan mata uang.

Key Assumptions

Key Assumptions merupakan bagian dari cabang (branch) yang berfungsi sebagai variabel penggerak. Asumsi yang digunakan sebagai kunci adalah intensitas energi dan pelanggan untuk masing-masing sektor tarif, misalnya pertumbuhan PDRB total, pertumbuhan PDRB bisnis, pertumbuhan PDRB industri dan pertumbuhan PDRB publik. Secara detail nama-nama tersebut ditunjukkan oleh gambar 4. Untuk unit satuan yang digunakan pada pertumbuhan PDRB adalah persen, sedangkan untuk level aktivitas adalah pelanggan.

Setelah pembuatan *key assumptions*, maka selanjutnya adalah memberikan masukan dalam kondisi *current account* yaitu kondisi tahun dasar (*base year*). Karena tahun dasar yang digunakan adalah tahun 2013 maka input awalnya yang ditulis pada bagian expression seperti ditunjukkan oleh gambar 5.



Gambar 4. Tampilan *Key Assumptions*

Demand Analysis

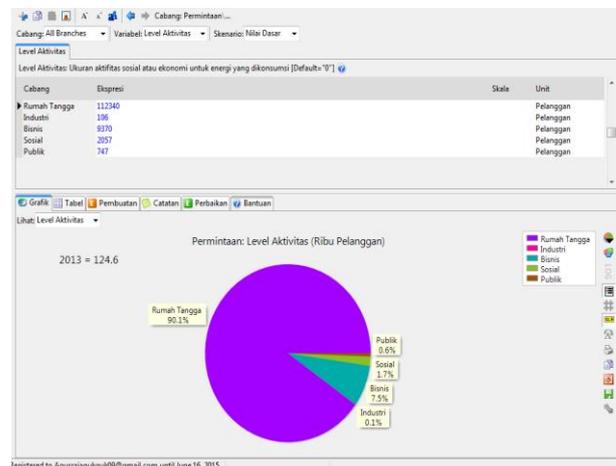
Demand Analysis adalah cabang yang menentukan akan seperti apa karakteristik nilai permintaan. Dalam penelitian ini permintaan dihitung berdasarkan 2 variabel yaitu intensitas energi dan pelanggan. Tingkat permintaan ditentukan dengan mengalikan nilai proyeksi intensitas energi dan pelanggan yang ada pada asumsi kunci. Satuan yang digunakan dan diharapkan sebagai satuan keluaran/hasilnya adalah MWh. Demand dibagi menjadi 5 sektor tarif yaitu rumah tangga, bisnis, industri, sosial dan publik. Tampilan *Demand Analysis* dapat dilihat pada gambar 6.

Setelah memasukkan data *current account* selesai, maka perlu menentukan skenario yang digunakan. Skenario yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Business As Usual* (BAU). BAU merupakan skenario dimana proyeksi didasarkan pada anggapan bahwa pertumbuhan konsumsi listrik akan berjalan sebagaimana biasanya seperti waktu sebelumnya. Untuk menggunakan skenario BAU dapat dilakukan dengan memilih *Reffrence* (REF) pada kotak scenario ditunjukkan pada gambar 7. Setelah itu muncul tampilan dimana harus memasukkan data expression.

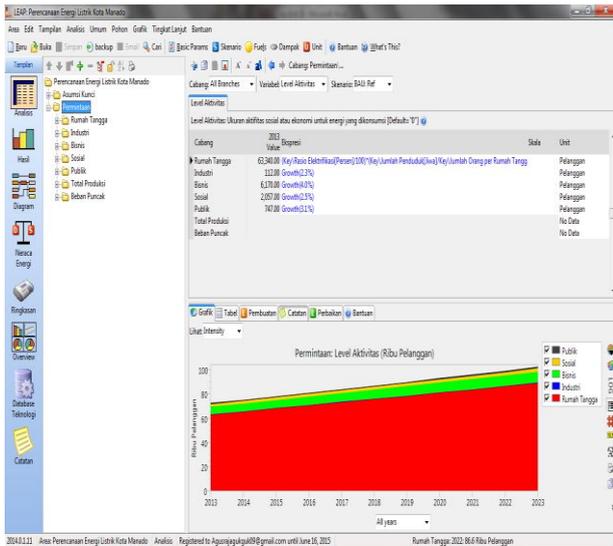
Skenario yang digunakan dalam penelitian ini adalah skenario dasar atau biasa juga disebut *Base Scenario* atau *Business As Usual* (BAU). Skenario *Business As Usual* (BAU) merupakan skenario yang menggambarkan proyeksi kondisi masa depan dianggap akan berjalan seperti kecenderungan yang sudah dan yang sedang terjadi. Dalam penelitian ini, faktor utama penggerak permintaan energi ditentukan oleh pertumbuhan ekonomi (PDRB) dan pertumbuhan penduduk.

Analisis Hasil

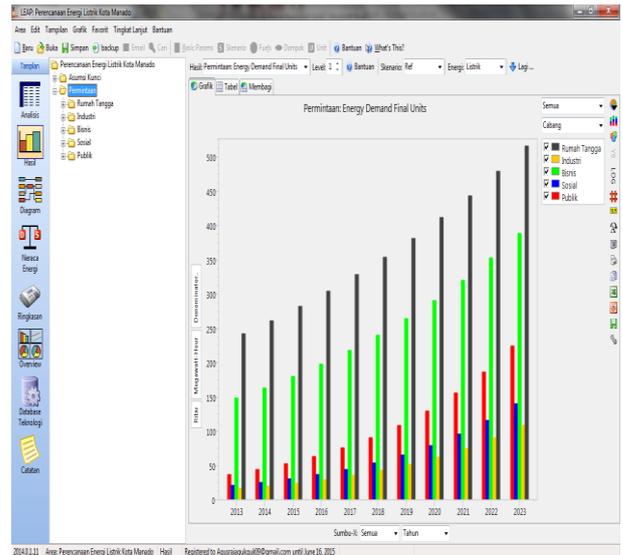
Apabila semua data masukkan telah selesai, berikutnya adalah mensimulasikan dengan memilih *Result View*. Kemudian *Result View* akan menampilkan hasil simulasi berupa proyeksi konsumsi energi listrik masing-masing sektor pada Kota Manado. Adapun tampilan *Result View* dapat dilihat pada gambar 8.



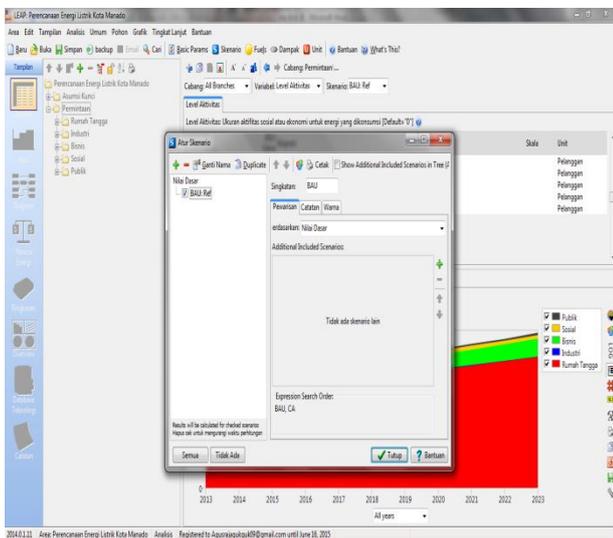
Gambar 5. Tampilan Ekspresi dalam simulasi LEAP



Gambar 6. Tampilan Demand Analysis



Gambar 8. Tampilan Result View



Gambar 7. Tampilan Scenario

TABEL XI. HASIL PROYEKSI KONSUMSI ENERGI LISTRIK KOTA MANADO TAHUN 2014 – 2023 MENGGUNAKAN LEAP

Tahun	Sektor Tarif (MWh)					Total
	Rumah Tangga	Industri	Bisnis	Sosial	Publik	
2014	289.308	20.480	162.657	25.049	43.736	541.233
2015	319.362	24.660	178.298	30.323	52.442	605.087
2016	352.163	29.692	195.443	36.707	62.881	676.889
2017	387.946	35.751	214.237	44.435	75.398	757.769
2018	426.965	43.047	234.838	53.789	90.406	849.048
2019	469.493	51.832	257.420	65.114	108.402	952.263
2020	515.828	62.410	282.174	78.822	129.979	1.069.215
2021	566.291	75.146	309.208	95.416	155.852	1.202.014
2022	621.228	90.481	339.051	115.503	186.875	1.353.140
2023	681.014	108.945	371.654	139.820	224.073	1.525.508

Pertumbuhan PDRB Kota Manado diperkirakan bertumbuh sebesar 7,5 sampai 8 persen sampai tahun 2023 menjadi 7.382 triliun rupiah pada tahun 2013 menjadi 15.562 triliun rupiah pada tahun 2023, sedangkan jumlah penduduk meningkat dari 419.596 jiwa pada tahun 2013 menjadi 459.400 jiwa pada tahun 2023 atau meningkat rata – rata 0,91 persen pertahun. Dengan kedua penggerak parameter tersebut di atas, maka dibuat proyeksi kebutuhan energi listrik. Dalam penelitian ini, akan dianalisa berdasarkan lima sektor utama pengguna energi listrik, yaitu : sektor rumah tangga, sektor industri, sektor bisnis, sektor sosial dan sektor publik.

A. Proyeksi Konsumsi Energi Listrik Kota Manado Tahun 2014 sampai 2023

Proyeksi konsumsi energi listrik Kota Manado tahun 2014 sampai 2023 diproyeksikan menggunakan perangkat lunak LEAP, yang perhitungannya didasarkan pada persamaan (6) sampai persamaan (10).

Hasil proyeksi konsumsi energi listrik setelah menjalankan perangkat lunak LEAP dapat dilihat pada tabel XI.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kota Manado merupakan sistem yang terinterkoneksi dengan AP2B (Area Penyaluran dan Pengatur Beban) membawahi sistem interkoneksi mulai dari Minahasa sampai Palu melalui jaringan transmisi saluran udara tegangan tinggi (SUTT) 70 kV dan 150 kV. Dimana seluruh pusat pembangkit dari Minahasa sampai Palu sudah terinterkoneksi. Sampai tahun 2013 konsumen PLN Kota Manado mencapai 72.426 pelanggan dengan konsumsi tenaga listrik sebesar 485,18 GWh dan beban puncak 103,17 MW.

Sampai tahun 2013 konsumsi energi listrik Kota Manado mencapai 485.180 MWh, dengan konsumen PLN sebesar 72.426 pelanggan dan beban puncak sebesar 103,17 MW.

Pada dasarnya kebutuhan energi suatu daerah sangat dipengaruhi oleh pertumbuhan ekonomi (PDRB) dan pertumbuhan penduduk yang selalu meningkat dari waktu ke waktu.

Hasil proyeksi permintaan energi listrik Kota Manado menunjukkan adanya peningkatan dari 2014 dengan total konsumsi 541.233 MWh menjadi 1.525.508 MWh. Dengan kata lain peningkatan konsumsinya selama 9 tahun adalah 181,8%. Nilai ini menjadi sangat signifikan. Bila dibandingkan dengan periode 2009 – 2013, maka peningkatannya sekitar 53% dalam kurun waktu 4 tahun. Karakteristik pertumbuhan konsumsi listrik rata-rata pada tahun 2009 – 2013 adalah 11,2% tiap tahun, sedangkan untuk tahun 2014–2023 rata-rata pertumbuhannya 12,2% tiap tahunnya. Perbedaan tingkat pertumbuhannya hanya 1%. Namun, peningkatan secara akumulasi pada akhir tahun 2023 menjadi sangat signifikan.

B. Proyeksi Jumlah Pelanggan Energi Listrik Kota Manado Tahun 2014 sampai 2023

Proyeksi jumlah pelanggan energi listrik Kota Manado tahun 2014 sampai 2023 diproyeksikan menggunakan perangkat lunak LEAP, menggunakan dasar perhitungan pada persamaan (1) sampai persamaan (5).

Hasil proyeksi jumlah pelanggan energi listrik Kota Manado menunjukkan adanya peningkatan dari 2014 dengan total 75.147 pelanggan menjadi 102.213 pelanggan di tahun 2023. Dengan kata lain peningkatan jumlah pelanggan energi listrik selama 9 tahun adalah 36%. Nilai ini menjadi sangat signifikan. Bila dibandingkan dengan periode 2009-2013, maka peningkatannya sekitar 14,9% dalam kurun waktu 4 tahun. Karakteristik pertumbuhan jumlah pelanggan energi listrik rata-rata pada tahun 2009 – 2013 adalah 3,4%, sedangkan untuk tahun 2014 – 2023 rata-rata pertumbuhannya 3,5% tiap tahunnya. Perbedaan tingkat pertumbuhannya hanya 0,1%. Namun, peningkatan secara akumulasi pada akhir tahun 2023 menjadi sangat signifikan.

Hasil proyeksi jumlah pelanggan energi listrik setelah menjalankan perangkat lunak LEAP dapat dilihat pada tabel XII.

TABEL XII. HASIL PROYEKSI PELANGGAN ENERGI LISTRIK KOTA MANADO TAHUN 2014 – 2023 MENGGUNAKAN LEAP

Tahun	Pelanggan Energi Listrik					
	Rumah Tangga	Industri	Bisnis	Sosial	Publik	Total
2014	65.739	114	6.416	2.108	770	75.147
2015	68.268	117	6.673	2.161	794	78.013
2016	70.818	119	6.940	2.215	818	80.910
2017	73.390	122	7.218	2.270	844	83.844
2018	75.984	125	7.506	2.327	870	86.812
2019	78.601	128	7.807	2.385	897	89.818
2020	81.240	131	8.119	2.445	924	92.859
2021	83.902	134	8.444	2.506	953	95.939
2022	86.586	137	8.781	2.568	983	99.055
2023	89.294	140	9.133	2.633	1.013	102.213

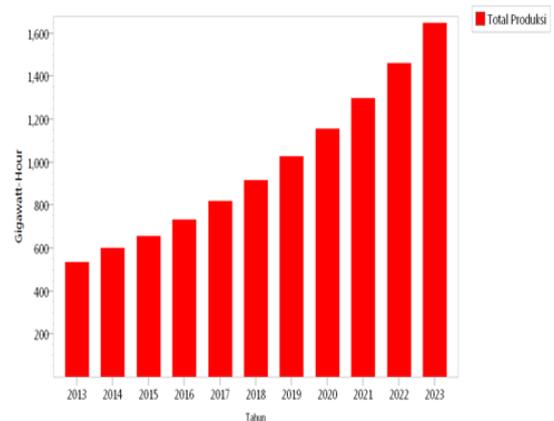
C. Proyeksi Produksi Energi Listrik Kota Manado Tahun 2014 sampai 2023

Proyeksi produksi energi listrik Kota Manado tahun 2014 sampai 2023 diproyeksikan menggunakan perangkat lunak LEAP, yang perhitungannya didasarkan pada persamaan (12) sampai persamaan (15). Berdasarkan hasil proyeksi kebutuhan konsumsi energi listrik pada Tabel XI, maka hasil proyeksi produksi energi listrik diperoleh seperti pada tabel XIII dan gambar 9 dibawah. Pada tahun 2014 total kebutuhan konsumsi energi listrik sebesar 541,23 GWh, rugi-rugi di saluran (transmisi dan distribusi) sebesar 8,56 persen, sehingga energi listrik yang harus diproduksi di sisi pembangkit sebesar 599,00 GWh. Demikian juga untuk tahun 2023 total kebutuhan konsumsi energi listrik sebesar 1.525,50 GWh, maka yang harus diproduksi di sisi pembangkit adalah sebesar 1.645,83 GWh. Jadi, selama periode 2014 sampai 2023 produksi energi listrik bertumbuh rata-rata 11,8 persen per tahun.

TABEL XIII. HASIL PROYEKSI PRODUKSI ENERGI LISTRIK KOTA MANADO TAHUN 2014 – 2023 MENGGUNAKAN LEAP

Tahun	Produksi Energi Listrik (GWh)
2014	599,00
2015	654,47
2016	731,03
2017	817,79
2018	915,88
2019	1.027,14
2020	1.153,46
2021	1.296,31
2022	1.459,18
2023	1.645,83

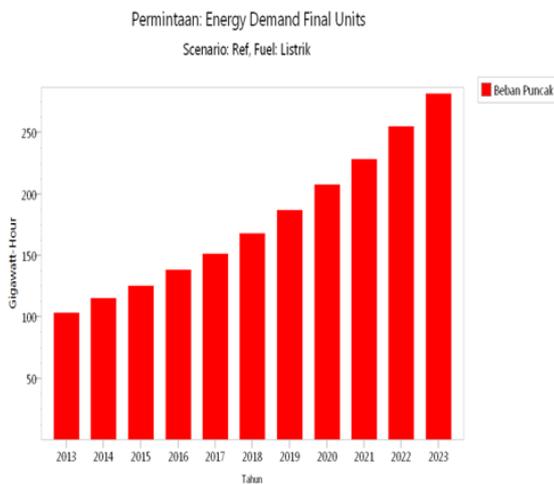
Permintaan: Energy Demand Final Units
Scenario: Ref. Fuel: Listrik



Gambar 9. Hasil Proyeksi Produksi Energi Listrik Kota Manado Tahun 2014 – 2023 Menggunakan LEAP

TABEL XIV. HASIL PROYEKSI BEBAN PUNCAK KOTA MANADO TAHUN 2014 – 2023 MENGGUNAKAN LEAP

Tahun	Beban Puncak (MW)
2014	115,11
2015	124,93
2016	138,16
2017	151,06
2018	167,55
2019	186,70
2020	207,68
2021	228,36
2022	254,69
2023	281,25



Gambar 10. Hasil Proyeksi Beban Puncak Kota Manado Tahun 2014 – 2023 Menggunakan LEAP

D. Proyeksi Beban Puncak Kota Manado Tahun 2014 sampai 2023

Dengan diketahuinya total produksi energi listrik, maka dapat dihitung beban puncak. Metode perhitungan beban puncak menggunakan persamaan (11).

Berdasarkan hasil proyeksi yang ditunjukkan pada Tabel XIV dan gambar 10, dapat dilihat bahwa kebutuhan energi listrik Kota Manado semakin meningkat setiap tahunnya dengan besar kebutuhan energi listrik pada tahun 2023 sebesar 281,25 MW, atau dapat dikatakan bahwa selama periode tahun 2014 sampai 2023 besarnya kebutuhan energi listrik Kota Manado bertumbuh rata-rata 10,4 persen per tahun.

E. Rencana Pemenuhan Energi Listrik di Kota Manado Tahun 2014 – 2023

Berdasarkan data yang diperoleh dari Dinas Energi dan Sumber Daya Mineral Provinsi Sulawesi Utara, Kota Manado belum memiliki potensi energi terbarukan yang dapat digunakan untuk membangun suatu pembangkit. Sehingga untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di Kota Manado menggunakan pengembangan pembangkit yang ada di daerah Sulawesi Utara yang kemudian akan disalurkan melalui interkoneksi sistem Minahasa. Berikut

TABEL XV. RENCANA PENGEMBANGAN PEMBANGKIT DI SULAWESI UTARA

NO	Jenis Pembangkit	Proyek	COD	MW
1	PLTA	Sawangan	2016	2x35
2	PLTG	Sulut Peaker	2018	3x50
3	PLTU	Sulut I - Kema	2015	2x25
4	PLTP	Lahendong V	2015	20
TOTAL				290

TABEL XVI. ALASAN PEMILIHAN PENGEMBANGAN PEMBANGKIT LISTRIK

NO	Jenis Pembangkit	Alasan Pemilihan Pengembangan Pembangkit
1	PLTA	Standby operasinya cepat sehingga cocok untuk memenuhi beban puncak dan beban dasar, Daya yang dihasilkan besar, Biaya perawatan murah (penggantian suku cadang tidak terlalu sering), Usia mesin lebih lama.
2	PLTG	Standby operasinya cepat sehingga cocok untuk memenuhi beban puncak, Waktu Start yang relatif singkat, Tidak memerlukan air pendingin, Dapat ditempatkan di segala lokasi, Masa pembangunan yang 1-2 tahun
3	PLTP	Geothermal merupakan jenis energi terbarukan yang relatif tidak akan habis. Sumber energi ini terus-menerus aktif akibat peluruhan radioaktif mineral. Energi Geothermal ramah lingkungan yang tidak menyebabkan pencemaran (baik pencemaran udara maupun pencemaran suara)
4	PLTU	Dapat dibangun dengan kapasitas yang bervariasi, Dapat dioperasikan dengan berbagai mode pembebanan, Usia pakai (life time) relatif lama

rencana pengembangan pembangkit di Sulawesi Utara (lihat tabel XV) dan alasan pemilihan pengembangan pembangkit listrik (lihat tabel XVI)

Berdasarkan rencana pemenuhan energi listrik Kota Manado tahun 2014-2023 pada tabel 4.15, yaitu sebesar 290 MW, maka kebutuhan energi listrik sampai tahun 2023 sebesar 281,25 MW dapat terpenuhi.

V. KESIMPULAN

Besar konsumsi energi listrik Kota Manado dari tahun 2014 hingga tahun 2023 terus mengalami peningkatan dari 541.233 MWh menjadi 1.525.508 MWh atau pertumbuhan rata-rata konsumsi energi listrik selama periode tersebut sebesar 12,2 persen per tahun, dengan jumlah pelanggan energi listrik pada tahun 2014 sebesar 75.147 pelanggan menjadi 102.213 pelanggan pada tahun 2023 atau bertumbuh rata-rata 3,5 persen per tahun, dengan beban puncak sebesar 281,25 MW pada tahun 2023. Hal ini dipicu oleh tiga faktor utama, yaitu: tingkat perekonomian, pertumbuhan penduduk dan pembangunan daerah.

Berdasarkan hasil proyeksi kebutuhan energi listrik Kota Manado tahun 2014-2023, untuk dapat memenuhi kebutuhan listrik sampai tahun 2023, maka dilakukan perencanaan pengembangan pembangkit sebesar 295 MW yang akan interkoneksi melalui sistem Minahasa.

Perlu adanya penelitian lebih lanjut oleh Pemerintah Kota Manado mengenai potensi terbarukan yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di masa depan agar tidak bergantung pasokan energi listrik dari daerah lain. Kemudian perlu adanya pembahasan

lebih lanjut mengenai regulasi penambahan kebutuhan energi listrik, sebagai pertimbangan untuk permintaan listrik yang besar oleh konsumen.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonimous, "Pedoman Penyusunan Rencana Umum Ketenagalistrikan", Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, Jakarta, 2003
- [2] Data Statistik PT. PLN (Persero) Cabang Manado, Tahun 2013.
- [3] Kota Manado dalam Angka, Badan Pusat Statistik Kota Manado, 2013
- [4] M. Djiteng, "*Pembangkit Energi Listrik*", Penerbit Erlangga, Jakarta, 2005
- [5] M. Djiteng, "*Operasi Sistem Tenaga Listrik*", Penerbit Graha Ilmu, Jakarta, 2006
- [6] A.S. Pabla, "*Sistem Distribusi Daya Listrik*", Penerbit Erlangga, Jakarta, 1994
- [7] Pendapatan Domestik Regional Bruto, Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kota Manado, 2013
- [8] Suhono, Kajian Perencanaan Permintaan dan Penyediaan Energi Listrik Di Wilayah Kabupaten Sleman Menggunakan Perangkat Lunak LEAP. *Tugas Akhir Program S1 Teknik Fisika Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2009*
- [9] E.H.Tampubolon, Kajian Perencanaan Energi Listrik di Wilayah Kabupaten Sorong Menggunakan Perangkat Lunak Leap, *Skripsi Program S1 Teknik Elektro Universitas Sam Ratulangi, Manado, 2013*
- [10] UU RI No. 30 Tentang Ketenagalistrikan, 2009
- [11] W. Muhammad and L. Bundit. *Thammasat Int. J. Sc. Tech, Journal*, Vol. 14. No. 4, October, December, 1-4, 2009
- [12] W. Muhammad dan R. Muhammad, Modul Pelatihan Perencanaan Energi Menggunakan LEAP, Jurusan Teknik Fisika. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2009