

Prediksi Konsumsi Energi Listrik Tahun 2015-2020 Menggunakan Perangkat Lunak LEAP (Long-range Energy Alternative Planning System) di UPJ Purbalingga

Istirom H., S.T^{1*)}, Daru T.N., S.T, M.T²⁾, Eko M., S.T, M.T³⁾

^{1,2,3)}Program Studi Teknik Elektro
Universitas Jenderal Soedirman

^{*)}Korespondensi : istiromhandhayani@gmail.com

Abstrak

Pada sistem kelistrikan prediksi sangat dibutuhkan untuk memperkirakan dengan tepat seberapa besar energi listrik yang dibutuhkan untuk melayani beban dan kebutuhan energi dalam distribusi energi listrik dimasa yang akan datang. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui jumlah konsumsi energi listrik, mengetahui nilai elastisitas energi, dan menganalisis nilai *losses* daya dan *drop voltage* di wilayah UPJ Purbalingga tahun 2015-2020. Metode dalam penelitian ini menggunakan LEAP (Long-range Energy Alternative Planning System) dengan skenario BAU (Business As Usual). Hasil analisis dan simulasi diperoleh total konsumsi energi sebesar 266,5 gWh meningkat menjadi 449,6 gWh pada tahun 2020. Hasil perhitungan elastisitas energi untuk Purbalingga yaitu dengan membandingkan rata-rata pertumbuhan konsumsi energi listrik sebesar 9,07% dengan rata-rata pertumbuhan ekonomi (PDRB) sebesar 12,25%, sehingga diperoleh nilai elastisitas energinya adalah 0,74. Hasil dari analisis *losses* daya dan *drop voltage*, sesuai standar SPLN No. 1 : 1995 nilai *losses* daya dan *drop voltage* adalah (20 KV : + 5%; – 10%), maka *losses* daya di semua *feeder* memenuhi standar PLN, namun pada *feeder* PBG 02 dan PBG 03 dari tahun 2014-2020 nilai *drop* tegangannya termasuk *critical voltage*, dimana nilai tegangannya kurang dari 95%, untuk mengurangi kondisi tersebut perlu dilakukan pemerataan beban di Purbalingga agar dapat mensuplai energi hingga ditahun mendatang.

Kata kunci : Prediksi, *drop voltage*, nilai *losses*, skenario BAU, LEAP, ETAP

Abstract

In the electrical system, prediction is needed to estimate exactly how much electrical energy is needed to serve the load and energy needs in the distribution of electrical energy in the future. The purpose of this study is to determine the amount of electrical energy consumption, find out the value of energy elasticity, and analyze the value of power losses and voltage drops in the UPJ Purbalingga area in 2015-2020. The method in this study uses LEAP (Long-range Energy Alternative Planning System) with bau (Business As Usual) scenario. The results of the analysis and simulation obtained a total energy consumption of 266.5 gWh increased to 449.6 gWh in 2020. The result of the calculation of energy elasticity for Purbalingga is by comparing the average growth of electrical energy consumption of 9.07% with the average economic growth (GRDP) of 12.25%, so that the energy elasticity value is 0.74. The results of the analysis of power losses and voltage drops, according to SPLN standards No. 1: 1995 the value of power losses and voltage drops is (20 KV: + 5%; – 10%), then the power losses in all feeders meet PLN standards, but in pbg 02 and PBG 03 feeders from 2014-2020 the voltage drop value includes critical voltage, where the voltage value is less than 95%, To reduce these conditions, it is necessary to equalize the load in Purbalingga in order to supply energy until the next year.

Keywords :Prediction, *drop voltage*, power losses, BAU scenario, LEAP, ETAP

I. PENDAHULUAN

Pertambahan penduduk yang semakin pesat dan diiringi pertumbuhan ekonomi yang tinggi menyebabkan kebutuhan akan tenaga listrik semakin meningkat. Seperti halnya di wilayah Purbalingga yang saat ini sedang banyak dilakukan pembangunan di segala bidang, sehingga dibutuhkan penyediaan

dan penyaluran tenaga listrik yang memadai, baik dari segi teknis maupun ekonomisnya. Sehubungan dengan hal tersebut diperlukan suatu prediksi konsumsi energi listrik untuk mengetahui jumlah konsumsi energi listrik di Purbalingga di masa mendatang[1].

Prediksi sangat dibutuhkan untuk memperkirakan dengan tepat seberapa besar energi listrik yang dibutuhkan untuk mensuplai beban dan kebutuhan energi dalam distribusi energi listrik dimasa yang akan datang[2]. Kebutuhan tenaga listrik pada suatu daerah didorong oleh dua faktor utama, yaitu faktor teknis dan faktor ekonomi. Faktor teknis terdiri dari program elektrifikasi dan pengalihan *captive power* (penggunaan pembangkit sendiri berbahan bakar minyak) ke jaringan PLN. Faktor ekonomi terdiri dari Produk Domestik Bruto (PDB), pengeluaran konsumsi rumah tangga, PDB dari industri manufaktur, dan nilai tambah industri berat[3].

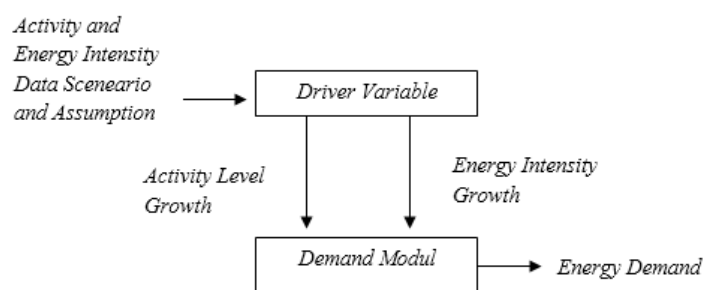
Oleh karena tingginya permintaan akan daya listrik maka prediksi terhadap beban listrik sangat diperlukan untuk membantu pengambilan kebijakan mengenai pertambahan beban listrik baik jangka pendek, menengah, dan panjang. Dengan mengetahui jumlah permintaan beban listrik pada periode tertentu, akan dapat diproyeksikan kebutuhan beban listrik untuk periode berikutnya. Sehubungan dengan hal-hal tersebut, maka penulis memprediksi jumlah kebutuhan energi listrik di wilayah Purbalingga untuk lima tahun yang akan datang menggunakan *software LEAP (Long-range Energy Alternative Planing System)*.

II. METODE

A. Metode LEAP

The Long-range Energy Alternatives Planning atau kemudian disingkat menjadi LEAP adalah sebuah perangkat lunak yang dapat digunakan sebagai alat bantu dalam perencanaan/pemodelan energi-lingkungan[4]. LEAP bekerja berdasarkan asumsi skenario yang pengguna inginkan, skenario tersebut didasarkan pada perhitungan dari proses pengkonversian bahan bakar menjadi energi hingga proses energi tersebut dikonsumsi oleh masyarakat[5].

LEAP terdiri dari 4 modul utama yaitu Modul Variabel Penggerak (*Driver Variable*) yang dalam versi baru disebut juga *Key Assumptions*, Modul Permintaan (*Demand*), Transformasi (*Transformation*) dan Sumber Daya Energi (*Resources*). Modul tambahan adalah pelengkap terhadap modul utama jika diperlukan, yaitu *Statistical Differences*, *Stock Changes*, dan *Non Energy Sector Effects*. Berikut ini merupakan skema permodelan LEAP.



Gambar 1 Pemodelan LEAP [5]

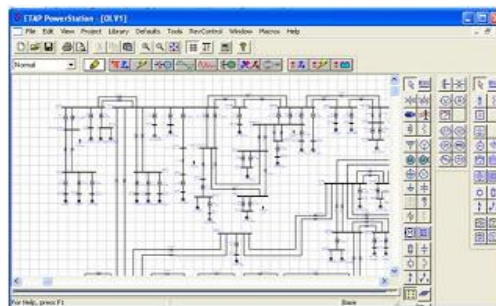
Modul variabel penggerak (*Driver Variable*) yang cabangnya dinamakan dengan cabang “*Key Assumptions*” digunakan untuk menampung parameter-parameter umum yang dapat digunakan adalah jumlah penduduk, PDRB (Produk Domestik Regional Bruto), jumlah rumah tangga, intensitas energi, tingkat aktivitas dan sebagainya. Modul Permintaan (*Demand*) digunakan untuk menghitung permintaan energi. Analisis yang digunakan dalam model ini menggunakan metode yang didasarkan pada pendekatan *end-use* (pengguna akhir) secara terpisah untuk masing-masing sektor pemakai (dalam penelitian ini dengan sektor tarif) sehingga diperoleh jumlah permintaan energi per sektor pemakai

dalam suatu wilayah pada rentang waktu tertentu. Sedangkan penentuan proyeksinya menggunakan trend yang terjadi dalam beberapa waktu yang ditentukan[6].

B. Metode ETAP

ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan *offline* untuk simulasi tenaga listrik, *online* untuk pengelolaan data *real-time* atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara *real-time*.

ETAP dapat digunakan untuk membuat proyek sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (*one line diagram*) dan jalur sistem pentanahan untuk berbagai bentuk analisis, antara lain aliran daya, hubung singkat, *starting* motor, *transient stability*, koordinasi relay proteksi dan sistem harmonisasi. Proyek sistem tenaga listrik memiliki masing-masing elemen rangkaian yang dapat diedit langsung dari diagram satu garis dan atau jalur sistem pentanahan. Untuk kemudahan hasil perhitungan analisis dapat ditampilkan pada diagram satu garis[7].



Gambar 2 Single Line Diagram di ETAP [8]

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Prediksi Konsumsi Energi Listrik Dengan Software LEAP

Dalam simulasi LEAP, langkah pertama yang perlu dilakukan 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.

Selanjutnya menentukan *key assumptions* yang merupakan bagian dari cabang (*branch*) yang berfungsi sebagai variabel penggerak. Asumsi yang digunakan sebagai *key* adalah intensitas energi dan pelanggan untuk masing-masing sektor tarif. Untuk unit satuan yang digunakan pada intensitas energi adalah KWh/Pelanggan, sedangkan untuk level aktivitas adalah pelanggan. Berikut data jumlah konsumsi energi listrik dan data jumlah pelanggan dari tahun 2009-2014.

Tabel 1 Jumlah pemakai energi listrik di UPJ Purbalingga per sektor (gWh)

Pemakaian energi listrik (gWh)					
Tahun	Sosial	Rumah tangga	Bisnis	Industri	Publik
2009	5,4	130,1	10,2	20,5	6,8
2010	5,8	139,5	11,1	21,2	7,2
2011	6,4	148,1	11,7	23,9	7,7
2012	7,1	161,5	12,7	28,3	8,1
2013	7,8	176,7	13,7	31,6	8,5
2014	8,5	193,4	14,7	35,2	9,02

Tabel 2 Jumlah pelanggan per sektor di UPJ Purbalingga

Pelanggan					
Tahun	Sosial	Rumah tangga	Bisnis	Industri	Publik
2009	3.461	124.508	2.117	70	846
2010	3.695	133.178	2.344	75	862
2011	3.941	141.375	2.482	80	887
2012	4.364	158.763	2.691	85	914
2013	4.724	175.860	2.932	96	953
2014	5.002	185.958	3.287	119	987

Tabel 3 Hasil persentase pertumbuhan jumlah pelanggan per tahun

Sektor	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014
sosial	6,76%	6,66%	10,73%	8,25%	5,88%
rumah tangga	6,96%	6,15%	12,3%	10,77%	5,74%
bisnis	10,7%	5,89%	8,42%	8,96%	12,11%
industri	7,14%	6,67%	6,25%	12,94%	23,96%
publik	1,89%	2,9%	3,04%	4,27%	3,57%

Setelah diketahui total konsumsi energi listrik dan jumlah pelanggan pada tahun 2014 sebagai tahun dasar prediksi, maka dapat diperoleh nilai intensitas energi per sektornya di UPJ Purbalingga sebagai berikut.

$$\text{Intensitas Energi} = \frac{\text{Pemakai energi listrik}}{\text{Pelanggan}} \quad (1)$$

Sektor sosial (tahun 2014)

$$\begin{aligned} \text{Intensitas Energi} &= \frac{\text{Pemakai energi listrik}}{\text{Pelanggan}} \\ &= \frac{8.246.616}{5.002} = 1.648,66 \text{ kWh/pelanggan} \end{aligned}$$

Sektor rumah tangga (tahun 2014)

$$\begin{aligned} \text{Intensitas Energi} &= \frac{\text{Pemakai energi listrik}}{\text{Pelanggan}} \\ &= \frac{198.511.673}{185.958} = 1.067,51 \text{ kWh/pelanggan} \end{aligned}$$

Sektor bisnis (tahun 2014)

$$\begin{aligned} \text{Intensitas Energi} &= \frac{\text{Pemakai energi listrik}}{\text{Pelanggan}} \\ &= \frac{16.137.352}{3.287} = 4.909,44 \text{ kWh/pelanggan} \end{aligned}$$

Sektor industri (tahun 2014)

$$\begin{aligned} \text{Intensitas Energi} &= \frac{\text{Pemakai energi listrik}}{\text{Pelanggan}} \\ &= \frac{35.380.470}{119} = 297.314,87 \text{ kWh/pelanggan} \end{aligned}$$

Sektor publik (tahun 2014)

$$\text{Intensitas Energi} = \frac{\text{Pemakai energi listrik}}{\text{Pelanggan}}$$

$$= \frac{8.120.434}{987} = 8.227,39 \text{ kWh/pelanggan}$$

Dari tabel 3 seperti yang sudah dijelaskan di atas dapat diketahui pertumbuhan jumlah pelanggan per sektor tiap tahunnya dari tahun 2009 sampai dengan tahun 2014. Hasil perhitungan untuk pertumbuhan jumlah pelanggan per sektor tiap tahunnya untuk data jumlah pelanggan dari tahun 2009-2014 dapat dihitung seperti di bawah ini.

Pertumbuhan pelanggan pada sektor sosial (2009 – 2010)

$$\% \text{ pelanggan sosial} = \frac{3.695 - 3.461}{3.461} \times 100 = 6,76 \% \quad (2)$$

Pertumbuhan pelanggan pada sektor rumah tangga (2009 – 2010)

$$\% \text{ pelanggan rumah tangga} = \frac{133.178 - 124.508}{124.508} \times 100\% = 6,96 \%$$

Pertumbuhan pelanggan pada sektor bisnis (2009 – 2010)

$$\% \text{ pelanggan bisnis} = \frac{2.344 - 2.117}{2.117} \times 100\% = 10,7 \%$$

Pertumbuhan pelanggan pada sektor industri (2009 – 2010)

$$\% \text{ pelanggan industri} = \frac{75 - 70}{70} \times 100\% = 7,14 \%$$

Pertumbuhan pelanggan pada sektor publik (2009-2010)

$$\% \text{ pelanggan publik} = \frac{862 - 846}{846} \times 100\% = 1,89 \%$$

Dapat dibuat Tabel 4 perhitungan pertumbuhan jumlah pelanggan dari tahun 2009 sampai dengan tahun 2014 di bawah ini.

Tabel 4 Hasil persentase pertumbuhan jumlah pelanggan per tahun

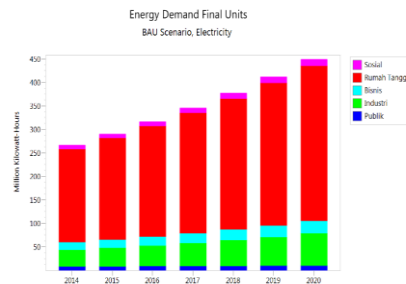
Sektor	2009-2010	2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014
sosial	6,76%	6,66%	10,73%	8,25%	5,88%
rumah tangga	6,96%	6,15%	12,3%	10,77%	5,74%
bisnis	10,7%	5,89%	8,42%	8,96%	12,11%
industri	7,14%	6,67%	6,25%	12,94%	23,96%
publik	1,89%	2,9%	3,04%	4,27%	3,57%

Sebelum masuk ke tahap analisis berikutnya yaitu memasukan parameter nilai rata-rata pertumbuhan intensitas energi listrik dan pertumbuhan pelanggan per sektor tiap tahunnya dari tahun 2009-2014. Tabel 5 di bawah ini menunjukan besar nilai intensitas energi listrik per sektor tiap tahunnya.

Tabel 5 Hasil perhitungan nilai intensitas energi listrik per sektor

Tahun	kWh/pelanggan				
	sosial	rumah tangga	bisnis	industri	Publik
2009	1.548	1.045	4.835	293.059	8.111
2010	1.589	1.048	4.699	283.421	8.423
2011	1.633	1.047	4.754	299.806	8.732
2012	1.638	1.017	4.734	333.361	8.846
2013	1.654	1.005	4.674	329.264	8.961
2014	1.707	1.040	4.485	296.313	9.140

Dari Tabel 5 di atas, dihitung nilai pertumbuhan intensitas energi persektor tiap tahunnya, rumus dan cara mencarinya sama dengan mencari nilai pertumbuhan pelanggan. Pertumbuhan kedua faktor tersebut menjadi dasar perhitungan dengan tahun 2014 sebagai tahun dasar prediksi. Hasil dari prediksi konsumsi / permintaan energi listrik di UPJ Purbalingga di tunjukan oleh Gambar 3.



Gambar 3 Hasil prediksi konsumsi energi listrik UPJ Purbalingga 2015-2020 dengan LEAP

Tabel 6 Hasil Prediksi konsumsi energi listrik UPJ Purbalingga 2015-2020 dengan LEAP (gWh)

Sektor Tarif	2014	%	2015	%	2016	%	2017	%
Sosial	8,2	3	8,9	3	9,7	3	10,6	3
Rumah tangga	198,6	75	216,2	74	235,3	74	256,2	74
Bisnis	16,1	6	17,58	6	19,2	6	20,9	6
Industri	35,4	13	39,5	14	44,2	14	49,3	14
Publik	8,1	3	8,4	3	8,7	3	8,9	3
Total	266,4	100	290,6	100	317,05	100	345,9	100

Sektor Tarif	2018	%	2019	%	2020	%
Sosial	11,5	3	12,5	3	13,5	3
Rumah tangga	278,8	74	303,5	74	330,3	74
Bisnis	22,7	6	24,7	6	26,9	6
Industri	55,1	15	61,6	15	68,7	15
Publik	9,3	2	9,6	2	9,9	2
Total	377,4	100	411,9	100	449,6	100

Berdasarkan Gambar 3 dan Tabel 6 terlihat bahwa jumlah konsumsi energi total di UPJ Purbalingga pada tahun 2020 akan mencapai 449.629.510 kWh (449,6 gWh). Hasil prediksi permintaan konsumsi energi listrik di UPJ Purbalingga menunjukkan adanya peningkatan dari tahun 2014 dengan total konsumsi 266,5 gWh menjadi 449,6 gWh pada tahun 2020, sehingga peningkatan konsumsinya selama lima tahun adalah 62,96%. Permintaan konsumsi energi listrik di sektor sosial meningkat menjadi 13,5 gWh atau naik 65,8% pada tahun 2020, sektor rumah tangga 66%, sektor bisnis 67%, sektor industri 94%, dan sektor publik 22%.

Tabel 7 Persentase total rata-rata konsumsi energi listrik dengan LEAP

Sektor Tarif	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020
sosial	8,63%	8,6%	8,64%	8,6%	8,64%	8,6%
rumah tangga	8,85%	8,9%	8,85%	8,9%	8,85%	8,9%
Bisnis	8,94%	8,9%	8,94%	8,9%	8,94%	8,9%
industri	11,71%	11,7%	11,72%	11,7%	11,72%	11,7%
publik	3,43%	3,39%	3,43%	3,4%	3,43%	3,4%
Total rata-rata	8,31%	8,32%	8,32%	8,32%	8,32%	8,32%

Berdasarkan Tabel 7 terlihat bahwa persentase total rata-rata pertumbuhan konsumsi energi listrik dari hasil analisis pada tahun 2015-2020 yaitu sebesar 8,32%. Bisa dilihat bahwa dengan menggunakan asumsi skenario BAU laju pertumbuhan konsumsi energi listrik per tahunnya dapat dikatakan sama, adapun selisih kenaikan per tahunnya sangat kecil yaitu sekitar 0,01%.

Tabel 8 Nilai error peramalan pada masing-masing sektor tarif

Pembuktian Penelitian Tahun 2015			
Sektor Tarif	Aktual	LEAP	Error
Sosial	8.963.296	8.960.665	0,029%
Rumah Tangga	216.192.339	216.183.868	0,004%
Bisnis	17.779.129	17.578.570	1,141%
Industri	39.894.359	39.525.651	0,933%
Publik	8.505.801	8.398.660	1,276%
Total	290.933.924	290.647.414	0,099%

Dari hasil nilai error diatas dapat dijelaskan bahwa prediksi konsumsi energi untuk tahun mendatang berhasil karena nilai presentase errornya kurang dari 5%.

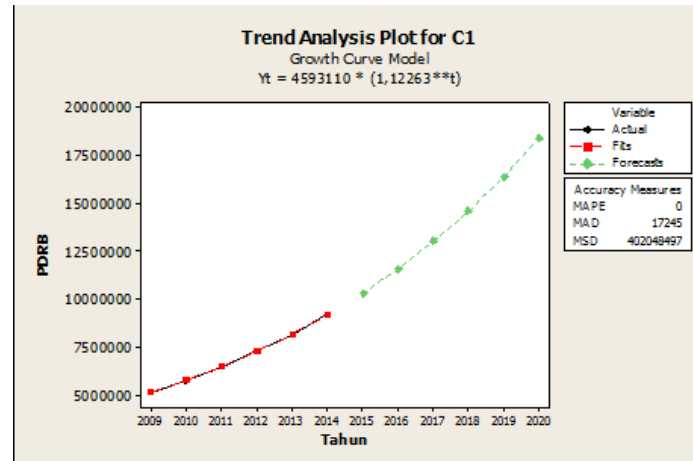
B. Menghitung Elastisitas Energi Di Purbalingga

Untuk mencari pertumbuhan Pendapatan Domestik Regional Bruto (PDRB) digunakan simulasi dengan menggunakan *software* Minitab 16. Pada simulasi yang akan penulis lakukan adalah dengan memasukkan data jumlah pertumbuhan ekonomi per tahun yaitu dari tahun 2009 sampai dengan tahun 2014 dalam (juta Rp), seperti tabel yang dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 9 Pertumbuhan ekonomi (PDRB) di wilayah Purbalingga

PDRB atas dasar harga berlaku		
Tahun	PDRB (juta Rp)	Pertumbuhan (%)
2009	5.161.810	
2010	5.770.135	11,79%
2011	6.521.622	13,02%
2012	7.298.610	11,91%
2013	8.156.951	11,76%
2014	9.214.364	12,96%

Berdasarkan dari tabel data pertumbuhan ekonomi dari tahun 2009-2014 diperoleh hasil analisis perkiraan pertumbuhan PDRB untuk lima tahun kedepan yaitu sampai dengan tahun 2020. Model analisis perkiraan pada simulasi yang penulis lakukan disini salah satunya yaitu dengan analisis *Exponential Growth Curve Model* dan hasil dari simulasinya dapat dilihat seperti gambar di bawah ini.



Gambar 4 Exponential Growth Curve Model

Pada hasil analisis dengan data pertumbuhan ekonomi (PDRB) dari tahun 2009-2014 diperoleh jumlah perkiraan pertumbuhan perekonomian (PDRB) di wilayah Purbalingga untuk tahun 2015-2020. Berikut adalah tabel perbandingan pertumbuhan konsumsi energi listrik dan pertumbuhan ekonomi (PDRB).

Tabel 10 Pertumbuhan PDRB, konsumsi energi listrik dan elastisitas energi

Tahun	Konsumsi Energi		PDRB	
	GWh	Pertumbuhan (%)	PDRB (Juta Rp)	Pertumbuhan (%)
2009	173,18		5.161.810	
2010	185,86	7,32%	5.770.135	11,79%
2011	197,55	6,29%	6.521.622	13,02%
2012	220,64	11,69%	7.298.610	11,91%
2013	245,38	11,21%	8.156.951	11,76%
2014	266,39	8,56%	9.214.364	12,96%
2015	290,64	9,10%	10.321.722	12,02%
2016	317,04	9,08%	11.587.433	12,26%
2017	345,90	9,10%	13.008.352	12,26%
2018	377,44	9,12%	14.603.513	12,26%
2019	411,92	9,14%	16.394.282	12,26%
2020	449,62	9,15%	18.404.645	12,26%

Berikut rata-rata pertumbuhan konsumsi energi listrik dan pertumbuhan perekonomiannya dari tahun 2009-2020, adapun perhitungannya dapat dilihat seperti dibawah ini.

$$\begin{aligned} & \text{Mencari nilai rata-rata pertumbuhan konsumsi energi listrik dalam (\%):} \\ & = \frac{7,3 + 6,3 + 11,7 + 11,2 + 8,6 + 9,1 + 9,1 + 9,1 + 9,1 + 9,2}{11} \\ & = 9,07\% \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \text{Mencari nilai rata-rata pertumbuhan ekonomi (PDRB) dalam (\%):} \\ & = \frac{11,8 + 13,02 + 11,9 + 11,7 + 12,9 + 12,02 + 12,3 + 12,3 + 12,3 + 12,3}{9} \\ & = 12,25\% \end{aligned}$$

Prediksi Konsumsi Energi Listrik Tahun 2015-2020 Menggunakan Perangkat Lunak LEAP (Long-range Energy Alternative Planning System) di UPJ Purbalingga (Istirom H., S.T., Daru T. N, S.T, M.T, Eko M., S.T, M.T: Halaman 41-53)

Nilai elastisitas energinya dapat diketahui yaitu dengan perbandingan antara pertumbuhan konsumsi energi listrik dengan pertumbuhan ekonomi (PDRB), yaitu rumusnya adalah sebagai berikut. Nilai elastisitas energinya dapat diketahui yaitu dengan perbandingan antara pertumbuhan konsumsi energi listrik dengan pertumbuhan ekonomi (PDRB), yaitu rumusnya adalah sebagai berikut.

$$\text{Elastisitas Energi} = \frac{\text{Pertumbuhan Konsumsi Energi Listrik}}{\text{Pertumbuhan ekonomi (PDRB)}} \quad (4)$$

$$E = \frac{9,07\%}{12,25\%} = 0,74$$

Dari hasil analisis perbandingan jumlah konsumsi energi listrik dengan pertumbuhan ekonomi di wilayah Purbalingga sampai tahun 2020, Purbalingga dapat dikatakan sebagai wilayah yang memiliki tingkat efisiensi yang baik bila dibandingkan dengan nilai elastisitas energi di Indonesia yang saat ini mencapai 1,63[3]. Elastisitas energi yang rendah di Purbalingga didukung dengan adanya langkah Pemkab Purbalingga melalui surat edaran Sekda Purbalingga Nomor 071/1142 tentang penghematan energi dan air, dimana dalam surat edaran tersebut terdapat anjuran untuk melakukan penghematan[9]

C. Menghitung Kapasitas Beban Trafo di UPJ Purbalingga

Dari hasil analisis yang telah dilakukan pada perhitungan kapasitas beban trafo daya yang ada di gardu induk Purbalingga, bahwa dengan melihat data tahun dasar prediksi yaitu tahun 2014 diperoleh hasil perhitungan untuk memperkirakan jumlah kapasitas beban trafo daya yang ada di gardu induk Purbalingga untuk jangka waktu lima tahun kedepan yaitu dari tahun 2015-2020 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 11 Perhitungan total kapasitas beban trafo tahun 2014-2020 (GWh)

Sektor Tarif	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Sosial	8,24	8,96	9,74	10,6	11,5	12,5	13,6
Rumah tangga	198,6	216,18	235,32	256,2	278,8	303,5	330,4
Bisnis	16,13	17,6	19,2	20,9	22,7	24,8	26,9
Industri	35,38	39,2	44,2	49,32	55,1	61,6	68,7
Publik	8,12	8,4	8,7	8,9	9,3	9,6	9,94
Total konsumsi	266,5	290,6	317,04	345,9	377,4	411,9	449,6
Total beban	44,73 MVA	48,77 MVA	53,23 MVA	58,08 MVA	63,38 MVA	69,15 MVA	75,44 MVA

Berdasarkan Tabel 11 terlihat bahwa besar total beban trafo daya yang harus disuplai untuk pelanggan selalu bertambah. Hal ini dikarenakan jumlah konsumsi energi listrik di wilayah Purbalingga selalu meningkat per tahunnya dari tahun 2015-2020. Untuk menghitung besar kapasitas beban trafo dalam (VA) per tahunnya harus diketahui faktor beban dan faktor dayanya, berdasarkan sumber referensi PT. PLN tahun 2011 region Jawa-Bali diketahui nilai faktor bebannya yaitu 0,8[10]. Besar nilai faktor daya yang ditetapkan oleh PT. PLN (Persero) sebagai penyedia listrik SPLN 70-1 adalah > 0,85 agar mendapatkan besar total kapasitas beban trafo daya perlu diketahui jumlah konsumsi energi listrik per tahunnya yaitu dari tahun 2015-2020, contoh perhitungannya adalah seperti di bawah ini.

Jumlah konsumsi energi listrik tahun 2014 (266.487.859 kWh)

Mencari daya rata-rata :

$$\text{Per hari} = \frac{266.487.859.000 \text{ Wh}}{365} = 730.103.723,3 \text{ Wh} \quad (5)$$

$$\text{Per jam} = \frac{730.103.723 \text{ Wh}}{24} = 30.420.988,47 \text{ W}$$

$$= 30,42 \text{ MW}$$

Beban maksimum :

$$\text{Dengan melihat faktor beban (0,8)} = \frac{30,42 \text{ MW}}{0,8} \quad (6)$$

$$= 38,025 \text{ MW}$$

$$\text{Jadi, total beban (VA)} = \frac{38,025 \text{ MW}}{0,85} = 44,73 \text{ MVA}$$

D. Analisis Nilai Losses Dan Drop Voltage Menggunakan ETAP

Setelah hasil prediksi konsumsi energi listrik untuk jangka lima tahun didapatkan, data tersebut kemudian dimasukkan kedalam suatu jaringan distribusi GI Purbalingga untuk dianalisa nilai *losses* dan *drop voltage*. Penggambaran jaringan distribusi GI Purbalingga menggunakan *software* ETAP 12.6.0. adalah sebagai berikut. Data hasil prediksi yang kita dapatkan kemudian dimasukkan kedalam 7 *feeder* GI Purbalingga dengan nilai prosentase tertentu berdasarkan dari perhitungan data aktual dikurangi data hasil prediksi kemudian dikalikan 100%. Didapatkan untuk tahun 2014 pembagian bebannya setiap *feeder* sebesar 41%, 2015 sebesar 35%, 2016 sebesar 30%, 2017 sebesar 23%, 2018 sebesar 16%, 2019 sebesar 9%, dan 2020 sebesar 0,1%. Nilai *losses* dan *drop voltage* yang akan dicari merupakan nilai tegangan yang berada diujung beban. *Drop* tegangan dan *losses* yang diizinkan oleh jaringan sesuai dengan SPLN No.1 : 1995 (20 KV : + 5%; – 10%). Saat tegangan melebihi batas yang ditentukan oleh PLN yang sesuai SPLN, maka tegangan yang ada pada *feeder* dianggap tidak aman untuk sistem.

E. Hasil Analisis Nilai Losses dan Drop Voltage Untuk Prediksi Konsumsi Energi Lima Tahun Mendatang (2015 – 2020)

Dari hasil analisis diatas dapat diketahui nilai *losses* daya dan *drop voltage* tahun 2019 sebagai berikut. Contoh perhitungan nilai *losses* daya PBG 01

$$\Delta P = \frac{\text{Losses}}{\text{Daya Pengirim}} \times 100\% \quad (7)$$

$$= \left[\frac{26,6 + j62,6}{6570 + j4118} \right] \times 100\%$$

$$= 0,87 \%$$

Contoh perhitungan nilai *drop voltage* PBG 06

$$\Delta V = \frac{V \text{ pengirim} - V \text{ ujung}}{V \text{ pengirim}} \times 100\% \quad (8)$$

$$= \frac{20 \text{ Kv} - 19,004 \text{ Kv}}{20 \text{ Kv}} \times 100\% = 4,98 \%$$

Dari hasil contoh perhitungan di atas dapat diketahui nilai *losses* daya tahun 2015 – 2020 pada tabel 12 dan *drop voltage* tahun 2015 – 2020 pada Tabel 12 di bawah ini.

Tabel 12 Nilai *Losses* Daya Tahun 2014 – 2020

FEEDER	2014		2015		2016	
	Losses (kVA)	% Losses	Losses (kVA)	% Losses	Losses (kVA)	% Losses
PBG 01	27,6	0,54%	33,91	0,61%	38,16	0,65%
PBG 02	246,16	2,51%	300,69	2,79%	349,67	3,01%
PBG 03	127,14	3,14%	154,22	3,47%	180,08	3,76%
PBG 04	200,92	1,94%	249,64	2,17%	290,34	2,35%
PBG 05	84,32	1,10%	102,73	1,22%	119,98	1,32%
PBG 06	30,73	0,60%	37,27	0,66%	43,27	0,71%
PBG 07	0,31	0,03%	0,31	0,03%	0,44	0,04%
rata-rata % losses		1,41%		1,56%		1,69%
FEEDER	2017		2018		2019	
	Losses (kVA)	% Losses	Losses (kVA)	% Losses	Losses (kVA)	% Losses
PBG 01	47,90	0,73%	57,52	0,80%	68,01	0,87%
PBG 02	428,48	3,35%	515,12	3,69%	609,13	4,04%
PBG 03	219,90	4,14%	265,93	4,59%	313,95	5,01%
PBG 04	353,38	2,60%	423,98	2,85%	501,94	3,12%
PBG 05	146,28	1,47%	174,61	1,61%	206,45	1,75%
PBG 06	52,91	0,79%	63,26	0,87%	74,59	0,95%
PBG 07	0,53	0,04%	0,63	0,04%	0,76	0,05%
rata-rata % losses		1,87%		2,32%		2,26%

FEEDER	2020	
	Losses (kVA)	% Losses
PBG 01	82,57	0,97%
PBG 02	743,05	4,47%
PBG 03	383,45	5,56%
PBG 04	616,15	3,47%
PBG 05	251,04	1,95%
PBG 06	90,73	1,05%
PBG 07	0,58	0,05%
rata-rata % losses		2,51%

Tabel 13 Nilai Drop Voltage tahun 2014 – 2020

FEEDER	2014		2015		2016	
	Tegangan Ujung (kV)	Drop Voltage	Tegangan Ujung (kV)	Drop Voltage	Tegangan Ujung (kV)	Drop Voltage
PBG 01	19,382	3,1%	19,315	3,4%	19,26	3,7%
PBG 02	18,992	5,39%	18,806	5,97%	18,711	6,45%
PBG 03	18,967	5,2%	18,857	5,7%	18,764	6,2%
PBG 04	19,071	4,64 %	18,965	5,18%	18,882	5,59%
PBG 05	19,297	3,5 %	19,22	3,9%	19,156	4,2%
PBG 06	19,374	3,13 %	19,307	3,47%	19,251	3,74%
PBG 07	19,487	2,26 %	19,432	2,8%	19,386	3,1%
Rata -rata % Drop Voltage		3,9 %		4,4%		4,7%

FEEDER	2017		2018		2016	
	Tegangan Ujung (kV)	Drop Voltage	Tegangan Ujung (kV)	Drop Voltage	Tegangan Ujung (kV)	Drop Voltage
PBG 01	19178	4,1%	19,097	4,5%	19,015	3,7%
PBG 02	18,57	7,15%	18,429	7,86%	18,711	6,45%
PBG 03	18,632	6,8%	18,496	8%	18,764	6,2%
PBG 04	18,764	6,18%	18,643	6,79%	18,882	5,59%
PBG 05	19,066	4,7%	18,975	5,12%	19,156	4,2%
PBG 06	19,168	4,16%	19,086	4,57%	19,251	3,74%
PBG 07	19,318	3,4%	19,249	3,8%	19,386	3,1%
Rata -rata % Drop Voltage		5,2%		5,7%		4,7%

FEEDER	2020	
	Tegangan Ujung (kV)	Drop Voltage
PBG 01	18,906	5,5%
PBG 02	18,102	9,49%
PBG 03	18,184	9,1%
PBG 04	18,357	8,22%
PBG 05	18,761	6,2%
PBG 06	18,894	5,53%
PBG 07	19,089	4,6%
Rata -rata % Drop Voltage		6,9%

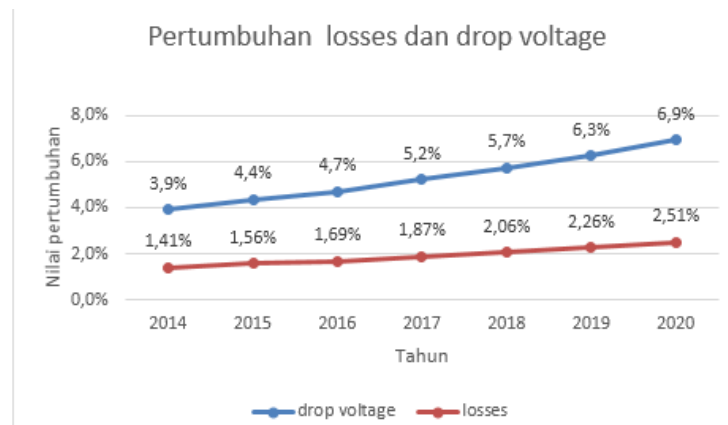
Dari tabel di atas dapat dijelaskan bahwa nilai losses di tiap feeder didapat dari penjumlahan nilai losses tiap cabang yang berada pada feeder tersebut. Tegangan pengirim semua feeder nilainya sama yaitu sebesar 20 kV sedangkan tegangan ujung didapat dari nilai tegangan yang berada pada ujung beban. Sesuai tegangan standar SPLN No.1 : 1985 (220/380 Volt : + 5%; – 10%), maka beban feeder di GI Purbalingga dapat dikatakan memenuhi standar yang ada.

Pada tabel nilai drop voltage terlihat bahwa dari tahun 2014 hingga 2020, feeder PBG 02 dan PBG 03 sudah berada dalam kondisi *critical voltage* dimana nilai tegangannya kurang dari 95%. Kondisi ini

dapat dikarenakan pada *feeder* PBG 02 terdapat jumlah beban berlebih, yaitu sebesar 16,552 MVA yang dibagi ke 8 *section*. Hal yang sama terjadi di *feeder* PBG 03 yang memiliki jumlah beban sebesar 6,803 MVA yang dibagi ke 5 *section*, kemungkinan kondisi *critical voltage* pada *feeder* ini dapat dikarenakan oleh sektor publik yang lebih banyak daripada *feeder* yang lain, yaitu 8 sektor publik.

Pada tahun 2015 hingga 2018 selain *feeder* PBG 02 dan PBG 03, PBG 04 masuk kedalam kondisi *critical voltage*. Hal ini dapat dikarenakan oleh banyaknya *section* yaitu 13 *section*, dengan jumlah beban sebesar 17,868 MVA. Selain itu terdapat beberapa sektor yang ada di *feeder* ini, yaitu sektor rumah tangga, dimana pada sektor ini terdapat 78 desa dan satu buah perumahan yang termasuk kedalam pelanggan sektor rumah tangga, dua sektor bisnis dan satu sektor industri. Di tahun 2019, *feeder* yang masuk kedalam kondisi *critical voltage* bertambah menjadi 4 *feeder* yaitu *feeder* PBG 02, PBG 03, PBG 04, dan PBG 05. Pada *feeder* PBG 05 hal ini dimungkinkan karena jumlah beban yang berlebih, yaitu sebesar 15,06 MVA yang dibagi kedalam 6 *section*. Selain itu, pada *feeder* ini terdapat tiga sektor industri dan satu sektor sosial. Kemudian, di tahun 2020 hampir semua *feeder* di UPJ Purbalingga masuk kedalam *critical voltage* kecuali *feeder* PBG 07.

Hal ini dapat dikarenakan sedikitnya *section* yaitu dua *section* pada *feeder* PBG 07 dengan jumlah beban sebesar 1,718 MVA. Berdasarkan hasil simulasi dan analisis di atas, *feeder* yang sudah masuk kedalam kondisi *critical voltage* perlu dilimpahkan bebannya ke *feeder* lain atau dipindah ke *feeder* baru. Pada *feeder* yang masih baik, jika memungkinkan dapat digunakan untuk membantu *feeder* lain agar bisa memperbaiki *drop voltage* tersebut. Jika kapasitas trafo yang sudah ada tidak memungkinkan untuk mensuplai energi, maka perencanaan penambahan daya trafo diperlukan agar dapat mensuplai energi di Purbalingga hingga ditahun mendatang. Dari hasil analisis diatas dapat dibuat grafik pertumbuhan rata-rata nilai *drop voltage* dan *losses* daya dari tahun 2015 – 2020 seperti di bawah ini.



Gambar 5 Grafik nilai pertumbuhan rata-rata *Losses* Daya dan *Drop Voltage* tahun 2015 – 2020

Grafik pertumbuhan *losses* dan *drop voltage* dapat dilihat pada Gambar 5, nilai rata-rata kenaikan *losses* dan *drop voltage* dari tahun 2015-2020 sebesar 1,99% dan 5,53%. Nilai tersebut semakin meningkat seiring dengan nilai konsumsi energi tiap tahun.

IV. KESIMPULAN

1. Prediksi konsumsi energi listrik dengan menggunakan *software* LEAP di UPJ Purbalingga dari tahun 2015-2020 diperoleh total rata-rata konsumsi energi per tahun sebesar 8,32%.
2. Permintaan konsumsi energi terendah yaitu di sektor publik sebesar 22% dan tertinggi di sektor industri sebesar 94%.
3. Hasil dari perhitungan nilai elastisitas energi untuk wilayah Purbalingga sebesar 0,74, lebih kecil dibanding nilai elastisitas energi Indonesia yang mencapai 1,63.
4. Nilai rata-rata *losses* daya dari tahun 2015-2020 sebesar 1,99%.
5. Nilai rata-rata *drop voltage* dari tahun 2015-2020 sebesar 5,53%.

6. Dari tahun 2015-2020 hampir semua *feeder* di Purbalingga masuk kedalam kondisi *critical voltage*, namun terdapat 2 *feeder* yang sudah dalam kondisi *critical voltage* dari tahun 2015 yaitu *feeder* PBG 02 dan PBG 03.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. E. dan S. D. M. R. I. M. P. P. K. 2010 s. d. 2014 (online), “ESDM.” <http://www.esdm.go.id/berita/migas/40-migas/7645-ketersediaan-energi-syarat-dasar-negara-maju.html>,.
- [2] S. Widoyoko, *Perangkat Lunak untuk Desain dan Analisa Sistem Pengaturan Linier Optimal*. 1994.
- [3] PT PLN, *PT. PLN (Persero)*. 2013.
- [4] Y. A. Masus, B. V Tarigan, and J. S. Bale, “Analisis Kebutuhan Energi di Universitas Nusa Cendana Tahun 2018-2050 Menggunakan Perangkat Lunak Long-range Energy Alternative Planning system (LEAP),” vol. 06, no. 01, pp. 1–12, 2019.
- [5] E. dan B. L. Wijaya, “Optimization of Indonesian Geothermal Energy Resources for Future Clean Electricity Supply: A Case of Java-Madura-Bali System.,” *Conf. Energy Netw. Thailand, Gen. c-5 Naresuan Univ.*, pp. 2–3, 2009.
- [6] R. . Purnomo, “Kajian Perencanaan Permintaan dan Penyediaan Energi di Wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta Menggunakan Perangkat Lunak LEAP. Skripsi,” *Jur. Tek. Fis. Fak. Tek. Univ. Gajah Mada, Yogyakarta*, 2005.
- [7] S. Laboratory, “Etap Online.” <http://stdelaboratory.blogspot.co.id/2013/11/tentang-etap-electric-transient-and.html>.
- [8] D. Mahardika, “Prediksi Konsumsi Energi Listrik Dengan Menggunakan Software DKL 3.2 dan ETAP. Skripsi. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang,” *Jur. Tek. Elektro Fak. Tek. Univ. Diponegoro, Semarang*.
- [9] P. Daerah *et al.*, “Bupati purbalingga,” 2011.
- [10] P. P. (PERSERO) W. J. Tengah, *PT.PLN (PERSERO)*. 2011.