

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### II.1. Kebijakan Ketenagalistrikan di Indonesia

Penyediaan tenaga listrik di Indonesia dikuasai oleh negara yang penyelenggaraannya dilakukan oleh Pemerintah dan Pemerintah Daerah berlandaskan prinsip otonomi daerah. Pelaksanaan usaha penyediaan tenaga listrik oleh Pemerintah dan Pemerintah Daerah dilakukan oleh badan usaha milik negara dan badan usaha milik daerah. Badan usaha swasta, koperasi, dan swadaya masyarakat dapat berpartisipasi dalam usaha penyediaan tenaga listrik (UU Nomor 30, 2009). Usaha penyediaan tenaga listrik untuk kepentingan umum dilakukan oleh satu badan usaha dalam satu wilayah usaha. Penetapan wilayah usaha dilakukan oleh pemerintah melalui Kementerian ESDM.

Setiap badan usaha penyediaan tenaga listrik wajib memiliki izin usaha penyediaan tenaga listrik (IUPTL). PT PLN (Persero) merupakan salah satu pemegang IUPTL sesuai Keputusan Kepala BKPM atas nama Menteri ESDM No. 25/1/IUPTL/PMDN/2016 tanggal 27 September 2016 tentang Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT PLN (Persero). Wilayah usaha PLN meliputi seluruh wilayah Republik Indonesia kecuali wilayah usaha lain yang telah ditetapkan untuk penyedia tenaga listrik lainnya, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1. Wilayah Usaha PT PLN (Persero)

Perencanaan pembangunan sektor ketenagalistrikan di Indonesia dituangkan dalam Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT. PLN (Persero) yang disusun oleh PLN dan ditetapkan oleh Kementerian ESDM. Dalam pembangunan pembangkit listrik PLN memiliki keterbatasan pendanaan sehingga sebagian proyek pembangkit dilaksanakan oleh listrik swasta sebagai *independent power producer* (IPP) maupun pihak ketiga non-IPP dengan model bisnis tertentu seperti *power wheeling*, kerjasama *excess power*, penetapan wilayah usaha tersendiri dan sebagainya. Sedangkan untuk jaringan transmisi dan distribusi sebagian besar milik PLN. Presiden telah mencanangkan Program Pembangunan Pembangkit Tenaga Listrik 35.000 MW. Program tersebut dilaksanakan PLN sebesar 10.000 MW dan pihak swasta 25.000 MW.



**Gambar 2. 2. Sebaran Pembangkit Listrik Program 35.000 MW**

IPP adalah perusahaan produsen listrik swasta yang dibentuk oleh konsorsium untuk melakukan perjanjian PPA dengan PLN. PPA (*Power Purchase Agreement*) adalah perjanjian jual beli tenaga listrik antara perusahaan listrik swasta (IPP) dan PLN. Selain memperoleh tambahan pasokan energi listrik dari IPP, pelanggan yang memiliki kelebihan energi listrik dari suatu captive power yang dapat dibeli oleh PLN. Captive power adalah daya listrik yang dibangkitkan sendiri oleh pelanggan, umumnya pelanggan industri dan komersial. Dalam hal PLN belum mampu melayani suatu wilayah, maka pemerintah menetapkan

wilayah usaha lain untuk perusahaan swasta yang disebut PPU (*Private Power Utility*).

Penyaluran listrik memerlukan jaringan transmisi listrik. Dalam rangka memberikan kemudahan penyaluran listrik maka pemerintah membuka pemanfaatan jaringan transmisi bersama yang sebagian milik PLN (*Power Wheeling*). *Power Wheeling* digunakan oleh pemegang IUPTL lainnya untuk menyalurkan daya dari pembangkit milik pihak tersebut di suatu tempat ke beban khusus pihak tersebut di tempat lain.

## **II.2. Kondisi Kelistrikan di Indonesia**

Indonesia adalah negara dengan jumlah penduduk terbesar nomor empat di dunia. Penduduk tersebar di beberapa kepulauan besar dan menempati lebih dari 6.000 pulau. Terdapat sekitar 17.508 pulau di Indonesia terletak antara garis lintang 6° Utara dan 11° Selatan serta garis bujur 95° Timur dan 141° Timur (Batih K, Sorapipatana C, 2016). Luas wilayah dan jumlah penduduk yang besar menjadikan Indonesia sebagai konsumen dan produsen energi yang besar.

Total konsumsi energi final di Indonesia pada tahun 2015 sebesar 963,23 juta BOE. Porsi konsumsi listrik sebesar 124,34 juta BOE atau 12,91% dari konsumsi energi nasional pada tahun 2015 (KESDM, 2016). Indonesia memiliki kekayaan sumber daya alam yang melimpah seperti batubara, minyak, gas alam, air, panas bumi, surya dan angin. Meskipun memiliki berbagai jenis sumber energi namun penggunaan energi pada sektor ketenagalistrikan sebagai bahan bakar pembangkit listrik masih bergantung pada energi fosil.

Berdasarkan sumber energi primer yang digunakan, pembangkit listrik dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu: pembangkit listrik fosil dan pembangkit listrik energi baru dan terbarukan (EBT). Beberapa jenis pembangkit listrik yang menggunakan energi fosil sebagai sumber energi primer antara lain:

- Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU),
- Pusat Listrik Tenaga Gas (PLTG),
- Pusat Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG),
- Pusat Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU),

- Pusat Listrik Tenaga Diesel (PLTD).

Sedangkan pembangkit listrik energi baru dan terbarukan (EBT) antara lain:

- Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA),
- Pusat Listrik Tenaga Mini/Mikro Hidro (PLTM/MH),
- Pusat Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP),
- Pusat Listrik Tenaga Surya (PLTS),
- Pusat Listrik Tenaga Bayu (PLTB),
- Pusat Listrik Tenaga Gas Batubara (PLTGB),
- Pusat Listrik Tenaga Sampah (PLTSa).

### II.2.1. Kapasitas Pembangkit di Indonesia

Pada tahun 2015, kapasitas terpasang pembangkit listrik di Indonesia mencapai 55,5 GW yang terdiri dari pembangkit PLN sebesar 38,3 GW dan non PLN sebesar 17,2 GW (Ditjen Ketenagalistrikan, 2016). Dibandingkan dengan tahun 2014 sebesar 53,6 GW, maka kapasitas pembangkit naik sebesar 2,5 GW atau 4,64%, seperti terlihat pada Tabel 2.1.

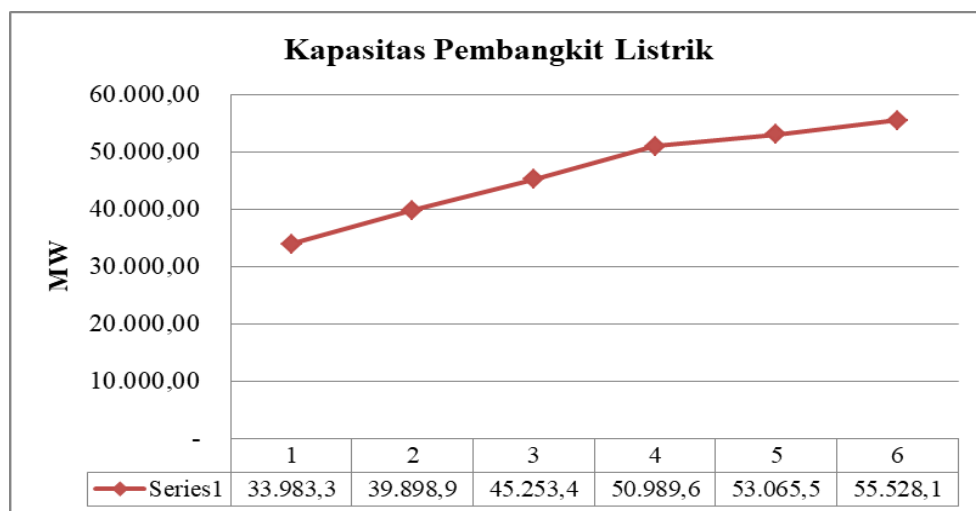
**Table 2. 1. Kapasitas Pembangkit Listrik di Indonesia (MW), 2010-2015**

No.	Jenis Pembangkit	Tahun					
		2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	PLTA	3.719,69	3.880,83	4.078,24	5.058,87	5.059,06	5.079,06
2	PLTU	12.981,50	16.318,00	19.714,00	23.812,53	25.104,23	27.229,73
3	PLTM	13,53	57,66	61,46	77,05	139,87	151,17
4	PLTMH	0,69	5,93	6,71	29,69	30,46	30,46
5	PLTG	3.821,57	4.236,02	4.343,82	4.389,09	4.310,50	4.310,50
6	PLTMG	92,84	169,54	198,74	448,12	610,74	818,74
7	PLTGU	7.590,32	8.480,97	9.461,11	9.852,21	10.146,11	10.146,11
8	PLTP	1.192,75	1.209,00	1.343,80	1.345,40	1.405,40	1.435,40
9	PLTD	4.569,89	5.471,93	5.973,58	5.935,00	6.206,99	6.274,79
10	PLTS	0,19	1,16	4,09	9,02	9,02	9,02
11	PLTB dan lainnya	0,34	67,93	67,93	32,63	43,12	43,12
	<b>Jumlah</b>	33.983,31	39.898,97	45.253,48	50.989,61	53.065,50	55.528,10

Sumber: Ditjen Ketenagalistrikan, 2016

Penambahan kapasitas pembangkit listrik dari tahun 2010 sampai 2015 secara berturut-turut sebesar 14,83%, 11,83%, 11,25%, 3,91% dan 4,43%. Rata-rata penambahan kapasitas pembangkit listrik dari tahun 2010 sampai 2015 sebesar 4.308,96 MW atau 9,25 % per tahun.

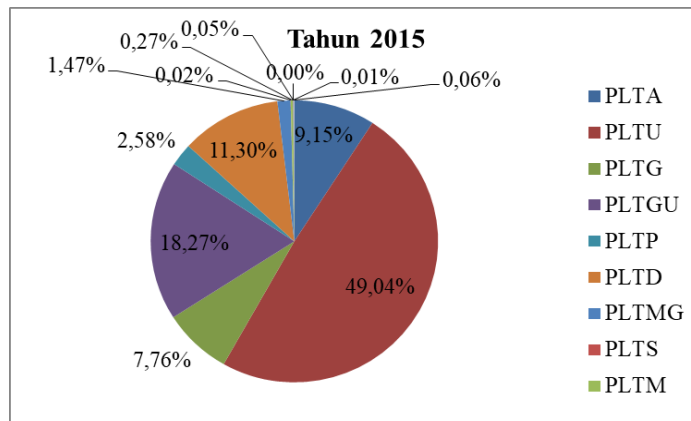
Kapasitas pembangkit listrik di Indonesia dari tahun 2010 sampai 2015 selalu meningkat sesuai dengan pola konsumsi listrik yang terus meningkat seperti ditunjukkan Gambar 2.3.



**Gambar 2. 3. Kapasitas Pembangkit Listrik di Indonesia**

Sumber: Ditjen Ketenagalisikan, 2016

Pada tahun 2015, sebagian besar jenis pembangkit listrik di Indonesia masih menggunakan energi fosil (PLTU, PLTG, PLTGU, PLTMG dan PLTD). Porsi bauran energi pembangkit fosil sebesar 87,85%. Sedangkan pembangkit listrik yang menggunakan energi baru dan terbarukan (PLTA, PLTMH, PLTM, PLTP, PLTB, PLTS, PLGB dan PLTSa) masih relatif sedikit yaitu sebesar 12,15% MW, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4.



**Gambar 2. 4. Bauran Energi Pembangkit Listrik di Indonesia Tahun 2015**

Sumber: PT.PLN (Persero), 2015

Dari Gambar 2.4 terlihat bahwa porsi bauran energi terbesar pada pembangkit listrik tahun 2015 adalah PLTU sebesar 49,04%. Sedangkan kapasitas pembangkit listrik paling kecil adalah PLTB sebesar 0,002%.

## II.2.2. Produksi dan Konsumsi Listrik di Indonesia

PLN sebagai BUMN memiliki kewajiban untuk menyediakan listrik bagi seluruh masyarakat Indonesia. Dalam penyediaan listrik tersebut, produksi listrik dihasilkan dari pembangkit milik PLN sendiri maupun pembelian dari luar PLN. Total produksi listrik PLN termasuk pembelian dari luar PLN pada tahun 2015 sebesar 233.981,99 GWh, mengalami peningkatan sebesar 5.427,08 GWh atau 2,37% dari tahun sebelumnya. Dari total produksi listrik PLN tersebut, energi listrik yang dibeli dari luar PLN sebesar 57.509,77 GWh (24,58%). Pembelian energi listrik tersebut meningkat 4.251,84 GWh atau 7,98% dibandingkan tahun 2014. Dari total energi listrik yang dibeli, pembelian terbesar sebanyak 8.219 GWh (14,29%) berasal dari PT. Jawa Power, dan 9.010 GWh (15,67%) berasal dari PT Paiton Energy Company.

Pada tahun 2015 konsumsi energi listrik di Indonesia sebesar 202.845,82 GWh atau meningkat sebesar 2,14% jika dibandingkan tahun sebelumnya. Tahun 2014 konsumsi energi listrik sebesar 198.601,77 GWh, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.2.

**Table 2. 2. Produksi dan Konsumsi Listrik PLN (GWh), 2010-2015**

No.	Tahun	Produksi Listrik			Total	Konsumsi Listrik
		PLN	Sewa Genset	Pembelian		
1	2010	123.476,85	8.233,21	38.076,16	169.786,22	147.297,47
2	2011	128.853,40	13.885,67	40.681,87	183.420,94	157.992,66
3	2012	131.682,15	18.070,82	50.562,62	200.315,59	173.990,74
4	2013	144.220,03	19.745,72	52.222,79	216.188,54	187.541,02
5	2014	152.853,43	22.443,56	53.257,93	228.554,92	198.601,77
6	2015	156.630,65	19.841,58	57.509,77	233.982,00	202.855,82

Sumber: PT. PLN (Persero), 2015

Berdasarkan Tabel 2.2 produksi listrik yang dihasilkan PLN sendiri terdiri dari produksi pembangkit milik PLN dan produksi listrik dari sewa genset. Total produksi listrik PLN dari tahun 2010 sampai 2015 selalu mengalami peningkatan sesuai dengan pola konsumsi listrik yang juga meningkat. Rata-rata peningkatan produksi listrik PLN dari tahun 2010 sampai 2015 sebesar 12.839,16 GWh. Sedangkan rata-rata konsumsi listrik dari tahun 2010 sampai 2015 sebesar 11.111,67 GWh.

### **II.2.3. Jaringan Transmisi dan Distribusi**

Untuk menyalurkan energi listrik yang dihasilkan dari pembangkit listrik ke konsumen dibutuhkan jaringan transmisi dan distribusi. Listrik yang dihasilkan dari pembangkit listrik dinaikkan tegangannya menggunakan trafo *step up* kemudian disalurkan melalui jaringan transmisi menuju gardu induk. Tegangan tinggi pada penyaluran energi listrik dimaksudkan untuk memperkecil rugi-rugi energi listrik yang hilang selama proses penyaluran (susut jaringan).

Di Indonesia jaringan transmisi terdiri dari saluran udara tegangan ekstra tinggi (SUTET) tegangan 500 kV dan saluran udara tegangan tinggi (SUTT) tegangan 150 kV. Dari gardu induk tegangan tinggi diturunkan menjadi tegangan menengah menggunakan trafo *step down* menjadi 20 kV. Untuk pelanggan tegangan rendah maka tegangan menengah 20 kV diturunkan menjadi tegangan 220 Volt.

Total panjang jaringan transmisi pada tahun 2015 sebesar 41.682,56 kms, terdiri dari JTET (Jaringan Tegangan Ekstra Tinggi) sepanjang 5.053 kms dan JTT (Jaringan Tegangan Tinggi) sepanjang 41.682,56 kms. Total jaringan distribusi sebesar 890.099,64 kms yang terdiri dari JTM (Jaringan Tegangan Menengah) sepanjang 346.978,98 kms dan JTR (Jaringan Tegangan Rendah) sepanjang 543.120,66 kms. Kapasitas Gardu Induk sebesar 92.651 MVA, dan Gardu Distribusi sebesar 50.151,14 MVA.

Susut jaringan PLN tahun 2015 sebesar 22.056,89 GWh terdiri dari susut transmisi sebesar 5.248,08 GWh dan susut distribusi sebesar 16.808,81 GWh. Dibandingkan dengan produksi netto sebesar 225.723,37 GWh maka total susut jaringan sebesar 9,77%. Rata-rata susut jaringan dari tahun 2010 sampai 2015 sebesar 9,62% seperti ditunjukkan Tabel 2.3.

**Table 2. 3. Susut Jaringan PT. PLN (Persero), 2010-2015**

No	Parameter	Tahun					
		2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	Susut Jaringan (%)	9,70	9,41	9,21	9,91	9,71	9,77

Sumber: KESDM, 2015

#### II.2.4. Kelompok Pelanggan PLN

Pelanggan PLN dibagi menjadi empat kelompok yaitu pelanggan rumah tangga, pelanggan industri, pelanggan bisnis dan pelanggan publik. Jumlah pelanggan pada akhir tahun 2015 mencapai 61.167.980 pelanggan atau meningkat sebesar 6,39% dari tahun sebelumnya sebesar 57.493.234 pelanggan, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.4.

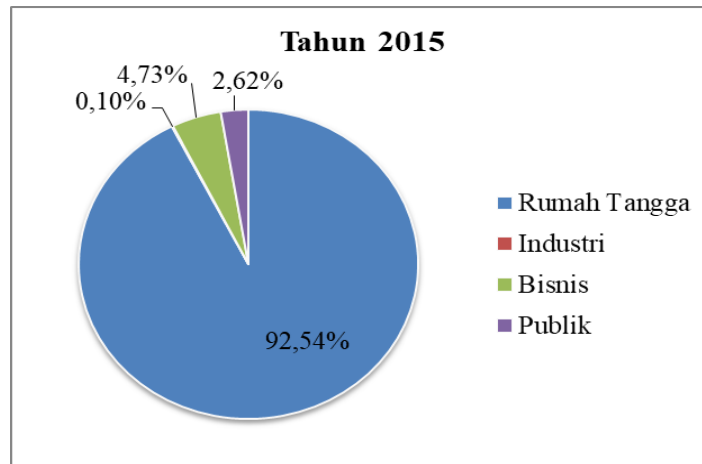
**Table 2. 4. Jumlah Pelanggan Per Kelompok Pelanggan, 2010-2015**

No.	Kelompok Pelanggan	Tahun					
		2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	Rumah Tangga	39.324.520	42.577.542	46.219.780	50.116.127	53.309.325	56.605.260
2	Industri	48.675	50.365	52.661	55.546	58.350	63.314
3	Bisnis	1.912.150	2.049.361	2.218.342	2.418.431	2.626.160	2.894.990
4	Publik	1.150.042	1.217.877	1.304.466	1.406.104	1.499.399	1.604.396
	<b>Total</b>	<b>42.435.387</b>	<b>45.895.145</b>	<b>49.795.249</b>	<b>53.996.208</b>	<b>57.493.234</b>	<b>61.167.960</b>

Sumber: PT. PLN (Persero), 2015



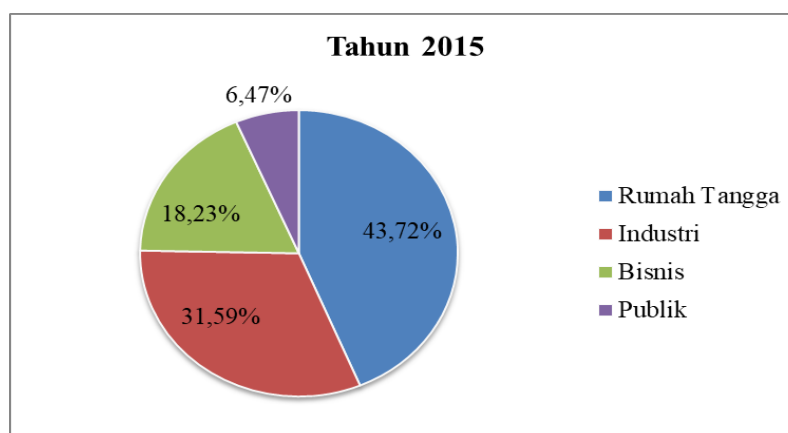
Dari jumlah pelanggan seluruhnya, kelompok rumah tangga merupakan jumlah pelanggan terbesar yaitu 56.605.260 pelanggan atau 92,54 %, diikuti pelanggan bisnis sebesar 4,73%, pelanggan publik sebesar 2,62% dan pelanggan industri sebesar 0,10% seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5.



**Gambar 2. 5. Bauran Kelompok Pelanggan PLN Tahun 2015**

Sumber: PT. PLN (Persero), 2015

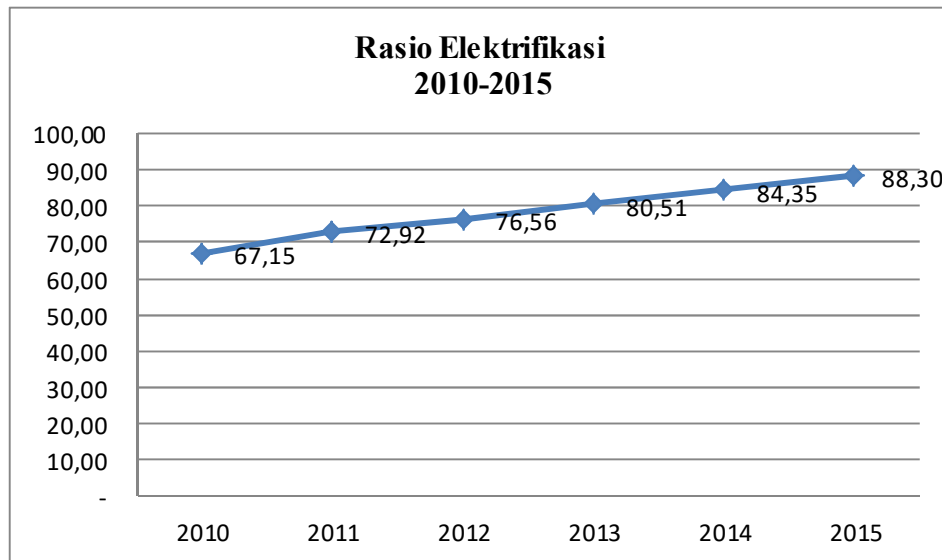
Berdasarkan jumlah konsumsi listrik pada masing-masing sektor pelanggan, pada tahun 2015 pelanggan sektor rumah tangga mengkonsumsi listrik paling besar yaitu 43,72% dari total konsumsi nasional. Selanjutnya sektor industri sebesar 31,59%, sektor bisnis sebesar 18,23% dan sektor publik sebesar 6,47% seperti ditunjukkan Gambar 2.6.



**Gambar 2. 6. Porsi Konsumsi Listrik per Kelompok Pelanggan PLN**

Sumber: PT. PLN (Persero), 2015

Rasio elektrifikasi merupakan perbandingan rumah tangga berlistrik dengan jumlah rumah tangga. Rasio elektrifikasi sampai dengan akhir tahun 2015 mencapai 88,30% naik sebesar 3,94% dibandingkan tahun sebelumnya, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7.



**Gambar 2. 7. Rasio Elektrifikasi Tahun 2010 sd 2015**

Sumber: KESDM, 2016

Rasio elektrifikasi menggambarkan tingkat kelistrikan pada suatu daerah atau negara. Pada tahun 2020 pemerintah menargetkan rasio elektrifikasi di Indonesia mencapai sebesar 100%.

### **II.3. Kondisi Ekonomi di Indonesia**

Permintaan energi listrik berkolerasi sangat kuat dengan aktivitas ekonomi dan aktivitas penduduk. Pertumbuhan ekonomi di Indonesia selama 6 tahun terakhir dari tahun 2010 sampai 2015 cenderung melambat akibat perlambatan ekonomi global (KESDM, 2016). Hal tersebut disebabkan oleh harga komoditas yang tetap rendah termasuk minyak bumi, lemahnya perdagangan global dan arus modal yang berkurang. Selain itu, melemahnya pertumbuhan investasi dan ekspor Indonesia juga menyumbang terhadap kondisi ekonomi saat ini. Pertumbuhan ekonomi Indonesia selama 5 tahun terakhir yang dinyatakan dalam produk

domestik bruto (PDB) dengan harga konstan tahun 2000 mengalami kenaikan rata-rata 5,672% per tahun, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.5.

**Table 2. 5. PDB konstan 2000**

Parameter	Tahun					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
PDB (Konstan 2000) (Trilyun)	2.314	2.465	2.618	2.770	2.909	3.042
Pertumbuhan PDB (%)	6,22	6,53	6,21	5,81	5,02	4,57

Sumber : KESDM, 2016

#### II.4. Data Kependudukan di Indonesia

Selama dua dekade terakhir, laju pertumbuhan penduduk cenderung melambat seiring dengan meningkatnya kesadaran masyarakat untuk menciptakan keluarga yang sejahtera dan terdidik. Jumlah penduduk Indonesia pada tahun 2010 sebanyak 237, 64 juta orang dan jumlah rumah tangga 61,16 juta KK. Selama periode 6 tahun terakhir jumlah penduduk Indonesia terus mengalami peningkatan, hingga tahun 2015 sebesar 255,46 juta orang dengan jumlah rumah tangga 65,58 juta KK. Laju pertumbuhan penduduk dari tahun 2010 sampai 2015 sebesar 1,44 persen per tahun, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.6.

**Table 2.6. Jumlah Penduduk, Jumlah Keluarga**

Parameter	Tahun					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Jumlah Penduduk (Dalam Ribuan)	237.641	238.519	245.425	248.818	252.165	255.462
Pertumbuhan Penduduk (%)	1,37	0,37	2,90	1,38	1,35	1,31
Jumlah Keluarga (Orang/KK)	3,89	3,84	3,89	3,89	3,89	3,90

Sumber : BPS, 2013

#### II.5. Intensitas Listrik

Intensitas listrik adalah jumlah total konsumsi energi listrik dibagi dengan level aktivitas. Pada tesis ini level aktivitas menggunakan dua variabel yaitu jumlah penduduk untuk sektor rumah tangga dan produk domestik bruto (PDB)

untuk sektor non rumah tangga. Pada sektor rumah tangga, intensitas listrik merupakan total konsumsi listrik sektor rumah tangga per pelanggan. Sedangkan untuk sektor non rumah tangga yaitu sektor industri, bisnis dan publik, intensitas listrik merupakan total konsumsi listrik pada masing-masing sektor per PDB.

**Table 2.7. Intensitas listrik sektor rumah tangga (kWh per Pelanggan)**

No	Sektor	Tahun						Rata-Rata
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	
1	Rumah Tangga	1.521	1.529	1.561	1.541	1.577	1.567	1.549

Sumber: Statistik PLN, 2015

Berdasarkan Tabel 2.7 dapat dilihat bahwa intensitas listrik sektor rumah tangga dari tahun 2010 sampai 2015 cenderung mengalami kenaikan. Nilai rata-rata intensitas listrik pada sektor rumah tangga sebesar 1.540 kWh per pelanggan.

**Table 2. 8. Intensitas listrik sektor non rumah tangga (kWh per Juta Rp konstan 2000)**

No	Sektor	Tahun						Rata-Rata
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	
1	Industri	22,03	22,20	22,99	23,24	22,66	21,06	22,36
2	Bisnis	11,74	11,48	11,84	12,45	12,47	12,16	12,02
3	Publik	4,03	4,00	4,08	4,13	4,24	4,31	4,13

Sumber: Statistik PLN, 2015

Berdasarkan Tabel 2.8 nilai rata-rata intensitas listrik pada sektor industri, bisnis dan publik adalah 22,36, 12,02, 4,13 kWh per Juta Rp harga konstan 2000. Intensitas listrik sektor industri menunjukkan nilai paling besar, hal tersebut dikarenakan sektor industri mengkonsumsi energi listrik paling besar dibandingkan sektor bisnis dan sektor publik.

## **II.6. Biaya Pokok Penyediaan (BPP) Tenaga Listrik**

Biaya pokok penyediaan pada pembangkit akan mempengaruhi harga listrik pada sisi konsumen. Biaya pembangkitan meliputi biaya kepegawaian, biaya administrasi, biaya beban bunga dan penyusutan serta biaya bahan bakar dan

biaya pemeliharaan yang nilainya bergerak sesuai dengan jumlah produksi tenaga listrik oleh pembangkit listrik.

Variabel biaya yang paling berpengaruh pada pembangkit listrik adalah biaya bahan bakar. Sekitar 60 persen biaya pembangkit listrik berasal dari biaya bahan bakar. Selain dipengaruhi oleh biaya bahan bakar, perkembangan teknologi juga menentukan BPP. Jenis pembangkit tenaga listrik akan mempengaruhi besaran biaya pokok penyediaan seperti ditunjukkan Tabel 2.9.

**Table 2. 9. Biaya Pokok Penyediaan tahun 2015**

Jenis pembangkit	Biaya Operasi Rata-rata per kWh (Rp/kWh)					Jumlah
	Bahan Bakar	Pemeliharaan	Penyusutan Aktiva	Lain-lain	Pegawai	
PLTA	24,53	53,44	90,06	6,64	36,53	211,20
PLTU	405,97	47,86	78,72	2,21	7,02	541,78
PLTD	1.520,19	404,56	177,15	21,38	206,47	2.329,75
PLTG	2.955,99	98,23	215,37	5,21	31,42	3.306,22
PLTP	744,51	35,13	81,68	2,06	16,46	879,84
PLTGU	967,68	(1,48)	75,66	4,66	8,47	1.054,99
PLTS	0,76	1.631,12	4.990,42	2,06	-	6.624,36
Rata-rata	769,88	46,54	84,62	3,68	15,50	920,22

Sumber: Statistik PLN, 2015

Berdasarkan Tabel 2.9, biaya pokok penyediaan PLTS pada tahun 2015 paling mahal sebesar Rp. 6.624,36 per kWh. Sedangkan PLTA merupakan pembangkit dengan BPP paling murah sebesar Rp. 211,19 per kWh. Hal tersebut dipengaruhi oleh teknologi dan biaya bahan bakar pada masing-masing jenis pembangkit listrik.

Secara umum biaya pokok penyediaan tenaga listrik pada pembangkit listrik dipengaruhi oleh empat komponen pembiayaan yaitu:

- i. biaya modal
- ii. biaya tetap operasi dan pemeliharaan
- iii. biaya variabel operasi dan pemeliharaan
- iv. biaya bahan bakar/sumber energi

Pada tesis ini, asumsi data pembangkit listrik terkait biaya dan efisiensi pembangkit listrik menggunakan data handbook ESDM 2016 dan database

teknologi *International Energy Agency (IEA), World Energy Outlook (WEO) 2015* seperti ditunjukkan pada Tabel 2.10.

**Table 2. 10. Data Biaya dan Efisiensi Pembangkit Listrik**

No.	Jenis Pembangkit	Biaya Investasi (USD/kW)*	Biaya Tetap O&M (USD/kW)*	Biaya Variabel O&M (USD/MWh)*	Biaya Bahan Bakar**
1	PLTA	2.300	54	3,8	
2	PLTM	3.100	61	3,8	
3	PLTU	1.000	35	3,8	51,8 US\$/ton
4	PLTG	400	20	3,8	7,6 US\$/MMBTU
5	PLTGU	700	25	3,8	7,6 US\$/MMBTU
6	PLTMG	400	28	3,8	7,6 US\$/MMBTU
7	PLTD	400	28	3,8	49,21 US\$/Barrel
8	PLTP	2.300	40	0,7	
9	PLTS	1.800	23	0,4	
10	PLTB	1.400	37	0,8	

Sumber: \* Outlook Energi Indonesia, 2016

\*\* Handbook ESDM, 2016

Berdasarkan Tabel 2.10 dapat dilihat bahwa pada pembangkit EBT tidak mengeluarkan biaya bahan bakar, namun biaya investasinya lebih besar dibanding pembangkit fosil. Apabila dikonversi menjadi nilai mata uang Indonesia dengan asumsi 1 USD setara dengan Rp. 14.000, maka diperoleh tabel 2.11 sebagai berikut:

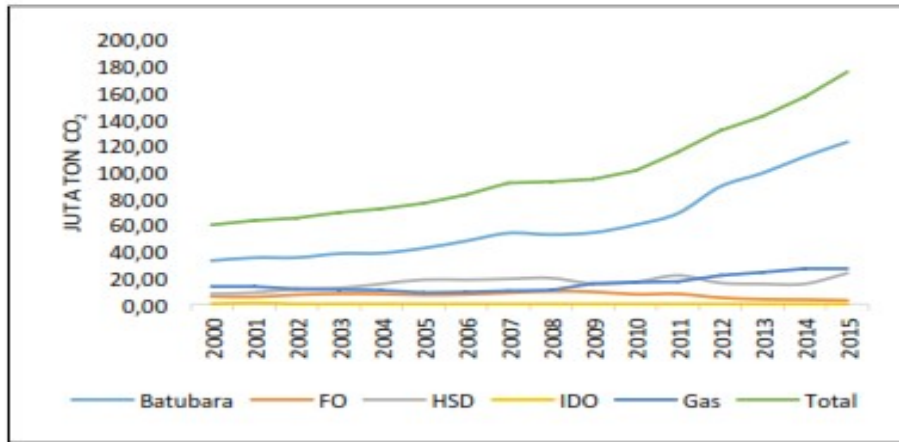
**Table 2. 11. Data Biaya dan Efisiensi Pembangkit Listrik dalam Rupiah**

No.	Jenis Pembangkit	Biaya Investasi (ribu Rp/kW)*	Biaya Tetap O&M (ribu Rp/kW)*	Biaya Variabel O&M (ribu Rp/MWh)*	Biaya Bahan Bakar**
1	PLTA	32.200	756	53	
2	PLTM	43.400	854	53	
3	PLTU	14.000	490	53	725,2 ribu Rp/ton
4	PLTG	5.600	280	53	106,4 ribu Rp /MMBTU
5	PLTGU	9.800	350	53	106,4 ribu Rp /MMBTU
6	PLTMG	5.600	392	53	106,4 ribu Rp /MMBTU
7	PLTD	5.600	392	53	688,94 ribu Rp /Barrel
8	PLTP	32.200	560	10	
9	PLTS	25.200	322	6	
10	PLTB	19.600	518	11	

## II.7. Emisi CO<sub>2</sub> pada Pembangkit Listrik

Dalam pertemuan *Paris Agreement* tahun 2015, Indonesia telah berkomitmen untuk menurunkan emisi gas rumah kaca sebesar 29% dari level “*business as usual*” pada tahun 2030 atau 41% bila ada bantuan dari negara-negara maju. Sebagai wujud komitmen pemerintah Indonesia terhadap *Paris Agreement*, maka pemerintah menargetkan porsi energi baru dan terbarukan (EBT) terus meningkat sehingga menjadi paling sedikit 23% pada tahun 2025 sepanjang keekonomiannya terpenuhi. Dalam RUKN target porsi bauran energi pembangkit listrik EBT terus ditingkatkan sekitar 25%. Pembangkit listrik batubara seperti PLTU sekitar 50% karena ketersediaan batubara yang melimpah. Pembangkit listrik gas sekitar 24% dan pembangkit listrik BBM sekitar 1%.

Pada tahun 2015, pembangkit listrik menghasilkan emisi CO<sub>2</sub> sebesar 175,62 juta ton. Emisi paling besar berasal dari pembangkit listrik batubara sebesar 70%. Sementara BBM dan gas menyumbang emisi masing-masing sebesar 15%, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8.



**Gambar 2. 8. Emisi CO2 Pembangkit Listrik**

Sumber: KESDM, 2016

Emisi CO<sub>2</sub> dapat dihitung dari jumlah bahan bakar yang digunakan dan dikonversi menjadi emisi CO<sub>2</sub> (dalam ton CO<sub>2</sub>) dengan menggunakan faktor pengali (*emission factor*) yang diterbitkan oleh IPCC, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.12.

**Table 2. 12. Faktor emisi bahan bakar**

No.	Bahan bakar	Faktor emisi CO <sub>2</sub> (T/TJ)
1.	Minyak Bakar (FO)	77,30
2.	Diesel IDO	74,10
3.	<i>Liquefied Petroleum Gas (LPG)</i>	69,30
4.	Gas Alam	56,10
5.	Batubara	96,00

Sumber: KESDM, 2016

## II.8. Perhitungan Kebutuhan Listrik , BPP dan Emisi CO<sub>2</sub>

### II.8.1. Perhitungan Kebutuhan Listrik

Analisis kebutuhan listrik dapat dihitung setiap tahun dan setiap sektor. Kebutuhan tenaga listrik dihitung berdasarkan total aktivitas dan total intensitas listrik.

$$ED_{b,s,t} = TA_{b,s,t} \cdot EI_{b,s,t} \quad (2.1)$$



Dengan ED adalah kebutuhan listrik, TA adalah aktivitas total, EI adalah intensitas listrik, b adalah sektor, s adalah skenario dan t adalah waktu (tahun).

Intensitas energi dapat dihitung dari konsumsi listrik dan jumlah pelanggan (Suhono dan Sarjiya, 2014). Dapat juga intensitas energi didefinisikan sebagai jumlah total konsumsi energi per unit produk domestik bruto (Pemerintah Republik Indonesia, 2014). Jumlah pelanggan dan PDB disebut sebagai data aktifitas.

$$EI_{b,t} = EC_{b,t} / TC_{b,t} \cdot \quad (2.2)$$

atau

$$EI_{b,t} = EC_{b,t} / PDB_{b,t} \cdot \quad (2.3)$$

Dengan EI adalah intensitas listrik, EC adalah konsumsi listrik, TC adalah total pelanggan dan PDB adalah produk domestik Bruto.

### **II.8.2. Proyeksi Kebutuhan Listrik**

Proyeksi kebutuhan listrik dapat dihitung dengan model yang sangat sederhana. Kebutuhan listrik dihitung berdasarkan dua faktor yaitu: faktor aktivitas dan faktor intensitas. Pada sektor rumah tangga faktor aktivitas menggunakan data jumlah pelanggan PLN. Proyeksi jumlah pelanggan PLN dipengaruhi oleh pertumbuhan jumlah rumah tangga dan target rasio elektrifikasi. Sedangkan untuk non sektor rumah tangga yaitu sektor industri, bisnis dan publik, data aktivitas menggunakan pertumbuhan PDB.

- **Proyeksi Kebutuhan Listrik Rumah Tangga**

Pada sektor rumah tangga, kebutuhan listrik dihitung dari jumlah pelanggan rumah tangga dan data intensitas. Proyeksi jumlah pelanggan rumah tangga berdasarkan pertumbuhan penduduk, jumlah keluarga dan rasio elektrifikasi. Intensitas listrik sektor rumah tangga merupakan hasil bagi konsumsi listrik sektor rumah tangga dengan jumlah pelanggan rumah tangga.

$$TC_{h,s,t} = P_{s,t} / HS_{s,t} \cdot ER_{s,t} \quad (2.4)$$

Dengan TC adalah total pelanggan sektor rumah tangga, P adalah jumlah penduduk, HS adalah jumlah keluarga dan ER adalah rasio elektrifikasi.

Rasio elektrifikasi adalah perbandingan jumlah rumah tangga berlistrik dibagi dengan jumlah rumah tangga di seluruh Indonesia atau dinyatakan prosentase rumah tangga berlistrik. Berdasarkan persamaan (2.4), faktor yang mempengaruhi proyeksi kebutuhan listrik sektor rumah tangga adalah jumlah penduduk, jumlah keluarga, rasio elektrifikasi dan intensitas listrik.

$$ED_{h,s,t} = P_{s,t} / HS_{s,t} \cdot ER_{s,t} \cdot EI_{h,s,t} \quad (2.5)$$

Dengan ED adalah kebutuhan listrik pada sektor rumah tangga, EI adalah intensitas listrik pada sektor rumah tangga, P, HS dan ER, s, t adalah sesuai definisi persamaan 2.4. Intensitas listrik sektor rumah tangga menggunakan rata-rata intensitas dari tahun 2010 sampai 2015.

- **Proyeksi Kebutuhan Listrik Non Rumah Tangga**

Kebutuhan listrik sektor non rumah tangga dihitung menggunakan dua faktor yaitu produk domestik bruto sebagai aktifitas level dan intensitas listrik. Intensitas listrik non sektor rumah tangga merupakan hasil bagi konsumsi listrik pada masing-masing sektor industri, bisnis dan publik dengan PDB nilai konstan tahun 2000. Intensitas listrik pada sektor industri, bisnis dan publik menggunakan rata-rata intensitas dari tahun 2010 sampai 2015.

$$ED_{i,s,t} = PDB_{i,s,t} \cdot EI_{i,s,t} \quad (2.6)$$

$$ED_{b,s,t} = PDB_{b,s,t} \cdot EI_{b,s,t} \quad (2.7)$$

$$ED_{p,s,t} = PDB_{p,s,t} \cdot EI_{p,s,t} \quad (2.8)$$

Dengan ED adalah kebutuhan listrik, PDB adalah produk domestik bruto dan i, b dan p sebagai cabang atau sektor industri, bisnis dan publik.

### II.8.3. Perhitungan Biaya Pokok Penyediaan

Total biaya pembangkit listrik merupakan total biaya tetap dan biaya variabel. Biaya tetap merupakan biaya yang tidak terpengaruh oleh jumlah produksi listrik, seperti biaya penyusutan peralatan dan biaya pemeliharaan dan operasional tetap. Sedangkan biaya variabel adalah biaya yang berubah sesuai jumlah produksi listrik, seperti biaya bahan bakar dan biaya pemeliharaan yang nilainya bergerak sesuai dengan jumlah produksi tenaga listrik oleh pembangkit listrik.

$$K = (f.p/m.T) + (860.u/n) + g \quad (2.9)$$

Dengan K adalah biaya pembangkitan, p adalah biaya modal, f adalah faktor pengembalian modal, m adalah faktor manfaat (kapasitas) tahunan, T adalah jam kalender dalam setahun, u adalah biaya bahan bakar, n adalah efisiensi pembangkitan dan g adalah biaya operasi dan manfaat.

### II.8.4. Perhitungan Emisi CO<sub>2</sub>

Perhitungan emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik dipengaruhi oleh faktor emisi dan rasio oksidasi masing-masing jenis bahan bakar pembangkit, dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$E = (CEF)_i * (44/12) * (OR)_i * (FC)_i \quad (2.10)$$

Dimana: E adalah Total Emisi CO<sub>2</sub>, CEF adalah karbon emisi faktor, ton C/TJ, OR adalah rasio oksidasi karbon pada bahan bakar, 44 adalah berat molar pada CO<sub>2</sub> (grams), 12 adalah berat molar pada C (grams), FC adalah konsumsi bahan bakar (TJ) dan i adalah jenis bahan bakar.

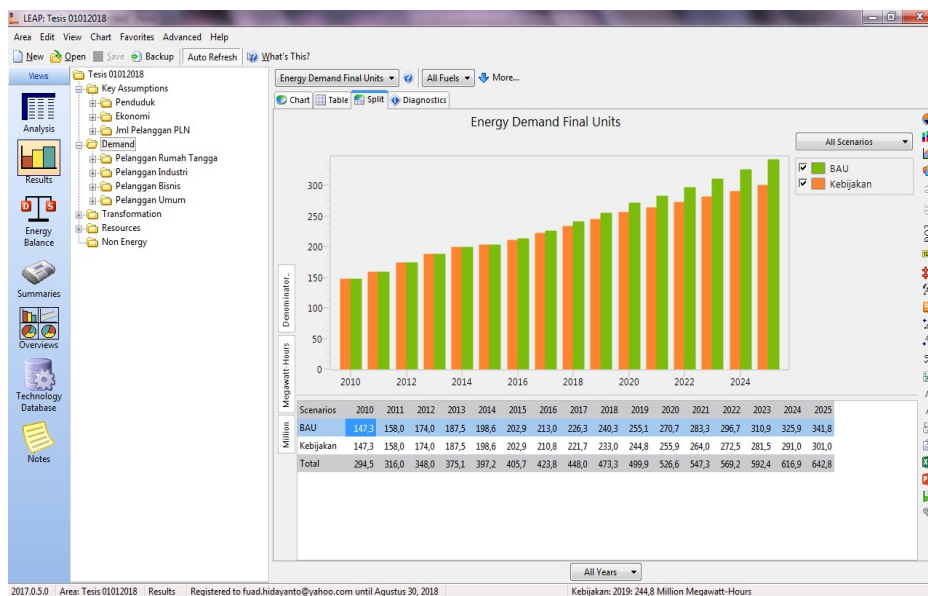
### II.9. LEAP (*Long-range Energy Alternatives Planning System*)

LEAP (*Long-range Energy Alternative Planning System*) model adalah model statik energi-ekonomi-lingkungan yang dikembangkan oleh *Stockholm Environment Institute* yang berkantor pusat di Boston, Amerika Serikat sejak tahun 1980. LEAP telah digunakan lebih dari 190 negara di dunia. Model Leap

dapat digunakan untuk menghitung kebutuhan energi, transformasi dan sumber energi.

Metodologi pemodelan dalam LEAP adalah akunting (*accounting*). Permintaan energi atau pemasokan energi dalam metode akunting ini dihitung dengan menjumlahkan pemakaian dan pemasokan energi masing-masing jenis kegiatan.

Dalam software LEAP disediakan 4 (empat) modul utama. Modul utama adalah modul-modul standar yang umum digunakan dalam pemodelan energi, yaitu: *Key Assumptions*, *Demand*, *Transformation*, dan *Resources*.



**Gambar 2. 9. Layar LEAP**

Modul *Key Assumptions* adalah untuk menampung parameter parameter umum yang dapat digunakan pada Modul *Demand* maupun Modul *Transformation*. Parameter umum ini misalnya adalah jumlah penduduk, PDB (produk domestik bruto), dan sebagainya. Modul *Key Assumptions* ini sifatnya komplemen terhadap modul lainnya. Pada model yang sederhana, dapat saja modul ini tidak difungsikan.

Modul *Demand* adalah untuk menghitung permintaan energi. Pembagian sektor pemakai energi sepenuhnya dapat dilakukan sesuai kebutuhan pemodel. Permintaan energi didefinisikan sebagai perkalian antara aktifitas pemakaian

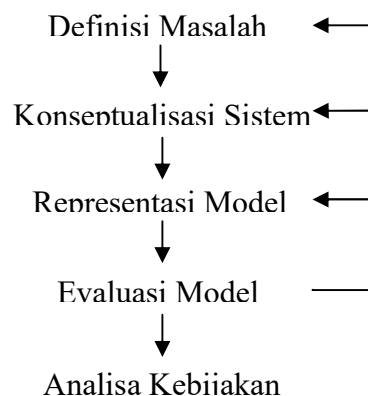
energi (misalnya jumlah penduduk, jumlah kendaraan, volume nilai tambah) dan intensitas pemakaian energi kegiatan yang bersangkutan.

Modul *Transformation* adalah untuk menghitung pemasokan energi. Pasokan energi dapat terdiri atas produksi energi primer (gas bumi, minyak bumi, batubara) dan energi sekunder (listrik, bahan bakar minyak, LPG, briket batubara, arang). Susunan cabang dalam Modul *Transformation* sudah ditentukan strukturnya, yang masing-masing kegiatan transformasi energi terdiri atas *processes* dan *output*.

Modul *Resources* terdiri atas *Primary* dan *Secondary*. Kedua cabang ini sudah default. Cabang-cabang dalam Modul *Resources* akan muncul dengan sendirinya sesuai dengan jenis jenis energi yang dimodelkan dalam Modul *Transformation*. Beberapa parameter perlu diisikan, seperti jumlah cadangan (minyak bumi, gas bumi, batubara) dan potensi energi (tenaga air, biomasa).

Susunan modul tersebut pada LEAP sudah baku. LEAP akan mensimulasikan model berdasarkan susunan dari atas ke bawah. Simulasi LEAP bersifat *straight forward*, tidak ada *feed back* antara *demand* dan *supply* energi. Permintaan energi dianggap selalu dipenuhi oleh pemasokan energi yang berasal dari transformasi energi domestik maupun impor energi.

Tahapan pemodelan secara umum terdiri atas lima tahapan, yaitu : definisi masalah, konseptualisasi sistem, representasi model, evaluasi model, dan analisis kebijakan. Gambar 2.10. memperlihatkan ilustrasi tahapan pemodelan tersebut serta keterkaitannya.



**Gambar 2. 10. Tahapan Proses Pengembangan Model**

Sumber: Winarno, 2006

Tahap pertama dalam penyusunan model adalah mendefinisikan masalah, yang akan menjadi rujukan dan arahan dalam melakukan pemodelan. Dalam tahap ini perlu dikenali/ ditentukan:

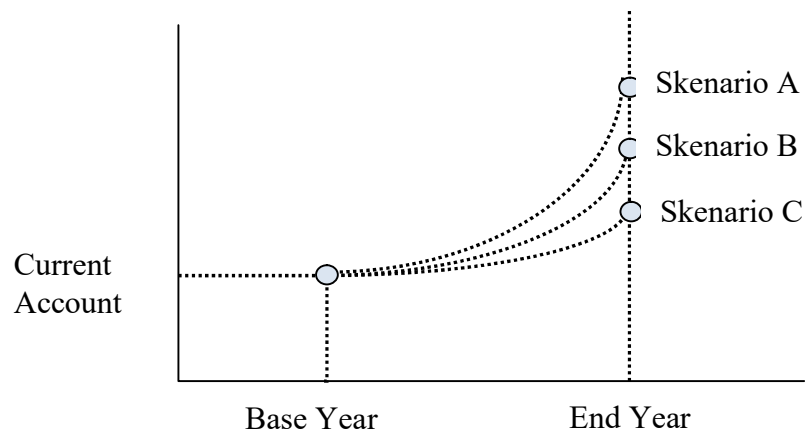
- pola referensi (*reference mode*), yaitu gambaran perilaku sistem;
- hipotesis tentang interaksi-interaksi perilaku yang mendasari pola referensi ;
- batas model (*boundary*), yaitu batasan, asumsi, dan ruang lingkup model;
- jangka waktu (*time horizon*), yaitu perioda waktu kajian

Konseptualisasi sistem adalah menyusun suatu rancangan model. Di dalam metodologi LEAP, konseptualisasi sistem ini berupa penyusunan diagram pohon (*Tree*) dari permintaan energi dan diagram pemasokan energi (*Reference Energy System*).

Representasi model adalah proses untuk mentransformasikan konsep sistem yang telah disusun ke dalam bentuk persamaan atau bahasa komputer. Perumusan model akan menjadi kunci dalam proses perhitungan yang dilakukan LEAP.

Evaluasi model adalah tahap pengujian model, yaitu dengan membandingkan hasil simulasi dan pola referensi. Evaluasi model dimaksudkan untuk memperbaiki model agar dapat mewakili kondisi aktualnya. Proses pencarian struktur atau parameter terus dilakukan sampai diperoleh perilaku model yang dapat mewakili atau mendekati keadaan nyatanya.

Setelah model diyakini dapat mewakili kondisi nyatanya, tahapan selanjutnya adalah mengujikan beberapa skenario kebijakan. Setelah diperoleh hasil yang diinginkan melalui simulasi model, maka hasilnya dapat diterapkan pada sistem nyata.



**Gambar 2. 11. Pengujian Skenario**

Sumber: Winarno, 2006

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

*Branch* : 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* : formula matematis untuk menghitung perubahan nilai suatu variabel.

*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%.

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