

PERAMALAN KEBUTUHAN DAN PENYEDIAAN ENERGI LISTRIK MENGUNAKAN *LONG-RANGE ENERGY ALTERNATIVES* *PLANNING SYSTEM (LEAP)*

Oleh: Derman^a; Muhamad Haddin^b; Dedi Nugroho^b

^aProgram Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Semarang, Semarang 50112,
E-mail: derman@usm.ac.id

^bProgram Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung,
Semarang 50112, E-mail: haddin@unissula.ac.id; dedi.nugroho@unissula.ac.id

Abstrak

Makalah ini membahas tentang proyeksi kebutuhan permintaan dan penyediaan energi listrik pada sistem interkoneksi Sulawesi Bagian Selatan (SULBAGSEL) yang terdiri dari Provinsi Sulawesi Selatan, Provinsi Sulawesi Tengah, Provinsi Sulawesi Tenggara dan Provinsi Sulawesi Barat menggunakan model LEAP berdasarkan skenario referensi (REF), skenario optimasi (OPT) dan skenario mitigasi (MIT). Tahun 2012 ditetapkan sebagai tahun dasar dan tahun 2013-2022 ditetapkan sebagai tahun proyeksi. Asumsi yang digunakan mengacu pada data historis PT. PLN dan Badan Pusat Statistik tahun 2008-2012. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung kebutuhan permintaan dan penyediaan energi listrik sistem interkoneksi SULBAGSEL tahun 2013-2022 dan bertujuan untuk menghitung potensi emisi CO₂ dari masing-masing skenario. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang kebutuhan permintaan dan penyediaan energi listrik dihitung selama sepuluh tahun dan menjadi referensi dalam upaya mengurangi emisi CO₂. Pertumbuhan ekonomi dan jumlah penduduk meningkat signifikan sehingga kebutuhan permintaan energi listrik pada masing-masing provinsi dan sektor mengalami peningkatan. Proyeksi berdasarkan provinsi menunjukkan bahwa provinsi Sulawesi Selatan memiliki permintaan energi listrik terbesar dengan pertumbuhan rata-rata 11,2% per tahun. Sedangkan Proyeksi berdasarkan sektor aktifitas menunjukkan bahwa sektor Rumah Tangga memiliki permintaan energi listrik terbesar dengan pertumbuhan rata-rata 15,2% per tahun. Hasil simulasi juga menunjukkan peningkatan emisi CO₂ untuk tahun 2022 sebanyak 3.618 ton untuk skenario referensi (REF), sedangkan pada skenario optimasi (OPT) 1.877 ton dan mitigasi (MIT) 1.610 ton. Oleh karena itu, harus diantisipasi agar kebutuhan permintaan energi listrik tetap tercukupi melalui penambahan dan percepatan pembangunan pembangkit baru yang efisien dengan mempertimbangkan emisi CO₂.

Kata Kunci: LEAP, Sulbagsel, Emisi CO₂

I. Pendahuluan

Sebagai implikasi penerapan Peraturan Pemerintah No.70 tahun 2009 tentang Konservasi Energi dan Peraturan Presiden No.61 tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Gas Rumah Kaca (RAN-GRK), maka rencana kebutuhan dan penyediaan energi listrik harus mempertimbangkan efisiensi dan emisi dari proses transformasi energinya. Dalam dokumen Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT. PLN dapat dilihat bahwa emisi CO₂ khususnya wilayah Indonesia timur meningkat dari 12 juta ton pada tahun 2012 menjadi 28 juta ton pada tahun 2021 atau naik lebih dari 2 kali lipat [1]. Sehingga upaya mitigasi perlu dilakukan untuk mengurangi emisi CO₂ dan untuk mendukung target penurunan emisi 26% (767 juta ton) secara nasional pada tahun 2020 melalui upaya sendiri berdasarkan komitmen aksi mitigasi Indonesia yang layak secara nasional (*Nationally*

Appropriate Mitigation Actions) yang diajukan kepada *United Nations Framework Convention on Climate Change* [2].

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung kebutuhan dan penyediaan energi listrik pada sistem interkoneksi SULBAGSEL tahun 2013-2022 dan bertujuan untuk menghitung potensi emisi CO₂. Manfaat penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang kebutuhan permintaan dan penyediaan energi listrik selama 10 (sepuluh) tahun kedepan dan menjadi referensi dalam upaya pengurangan emisi CO₂.

Untuk meramalkan kebutuhan dan penyediaan energi listrik, LEAP menawarkan suatu alternatif model terpadu. Model LEAP sudah menyertakan analisa energi, ekonomi dan lingkungan yang memudahkan seorang perencana energi dalam merumuskan suatu kebijakan secara cepat berdasarkan skenario yang digunakan.

Long-range Energy Alternatives Planning System atau kemudian disingkat menjadi LEAP adalah sebuah perangkat lunak yang dapat digunakan sebagai alat bantu dalam perencanaan atau pemodelan energi-lingkungan. 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. LEAP merupakan model yang mempertimbangkan penggunaan akhir energi, sehingga memiliki kemampuan untuk memasukkan berbagai macam teknologi dalam penggunaan energi.

LEAP dibuat dan dikembangkan oleh Stockholm Environment Institute di Boston, Amerika Serikat, atau disebut SEI-Boston. LEAP pertama kali dibuat pada tahun 1980, sedangkan versi terakhir dirilis pada tahun 2012. LEAP hanya mampu dijalankan di komputer yang menggunakan sistem operasi Windows. Metodologi pemodelan dalam LEAP adalah *accounting*. Permintaan energi atau pemasokan energi dalam metode akunting ini dihitung dengan menjumlahkan pemakaian dan pemasokan energi masing-masing jenis kegiatan [3].

Perangkat untuk mitigasi emisi CO₂ secara umum dapat diklasifikasikan ke dalam tiga bidang yaitu pengurangan konsumsi energi, penghilangan CO₂ dengan teknologi pemulihan, dan pengembangan teknologi energi alternatif [4]. Di antara opsi-opsi ini, peneliti menggunakan opsi penghilangan CO₂ dengan teknologi pemulihan yaitu CCS (*carbon capture storage*) serta implementasi energi baru terbarukan. Para peneliti terdahulu seperti Indrawan & Wijaya [5] telah menganalisa pemanfaatan biodiesel sawit untuk sektor pembangkit listrik Indonesia di sistem Jawa - Madura - Bali (JAMALI). Dua skenario dibuat dengan memproyeksikan permintaan dan dampak lingkungan serta pengurangan emisi gas rumah kaca. Subyek skenario pertama tentang kebijakan energi saat ini, sedangkan skenario kedua adalah pengganti bahan bakar fosil yang masih digunakan dalam sistem pembangkit listrik JAMALI. Selanjutnya, Hasibi [6] melakukan penelitian tentang analisis skenario permintaan dan penyediaan energi listrik pada sistem interkoneksi Jawa-Madura-Bali (JAMALI). Model LEAP yang dikembangkan meliputi strategi-strategi penurunan emisi CO₂ diantaranya adalah melalui implementasi energi baru dan terbarukan serta *externality cost* di dalam sistem pembangkit energi listrik.

1. Metode Penelitian

Proyeksi kebutuhan permintaan dan penyediaan energi listrik menggunakan model LEAP mengambil obyek penelitian pada sistem interkoneksi Sulawesi Bagian Selatan (SULBAGSEL) yang terdiri dari Provinsi Sulawesi Selatan, Provinsi Sulawesi Tengah, Provinsi Sulawesi Tenggara dan Provinsi Sulawesi Barat. Sistem ini di perkirakan akan terbentuk pada tahun 2016 berdasarkan dokumen Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) tahun 2012.

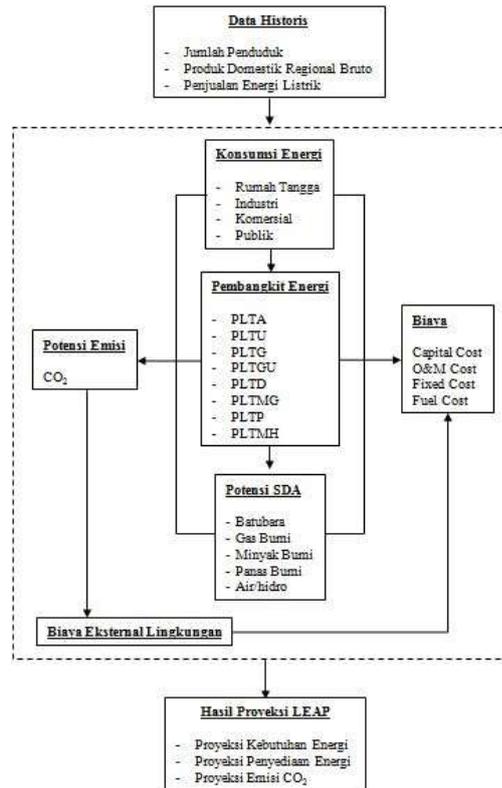
Tiga skenario dibuat untuk memproyeksikan kebutuhan permintaan dan penyediaan energi listrik SULBAGSEL yaitu skenario referensi (REF), skenario optimasi (OPT) dan skenario mitigasi (MIT).

1. Skenario referensi (REF) atau skenario dasar, dimaksudkan untuk mengetahui kebutuhan dan penyediaan energi listrik seperti biasa (*business as usual*). tanpa adanya intervensi kebijakan.
2. Skenario optimasi (OPT), dimaksudkan untuk mengetahui penyediaan energi listrik yang paling optimal berdasarkan kebijakan penghematan. Pada skenario ini diperlukan data biaya seperti biaya modal, biaya operasi dan pemeliharaan, biaya tetap dan biaya bahan bakar. LEAP kemudian secara otomatis akan memenuhi kebutuhan permintaan energi berdasarkan pembangkit yang memiliki biaya paling rendah.
3. Skenario mitigasi (MIT), dimaksudkan untuk membatasi keluaran dari modul transformasi berupa emisi CO₂. Pembatasan yang dilakukan berdasarkan kebijakan rencana aksi nasional penurunan gas rumah kaca (RAN-GRK) yaitu menurunkan emisi 5,2% dari tingkat aktifitas dengan mengacu pada protokol kyoto melalui implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Uap dengan teknologi *carbon capture storage* (CCS).

Data penelitian bersumber dari PT. PLN yaitu: data energi listrik terjual per jenis tarif, data kapasitas pembangkitan listrik, data potensi energi dan data rencana pengembangan pembangkit listrik baru tahun 2013-2022. Data penelitian juga bersumber dari Badan Pusat Statistik yaitu: data demografi dan data Produk Domestik Regional Bruto berdasarkan harga konstan tahun 2000 per jenis lapangan usaha periode tahun 2008-2012 masing-masing provinsi. Data-data tersebut kemudian akan digunakan sebagai data penggerak.

Pengelompokan data pada pengguna akhir dibagi menjadi 4 (empat) sektor yaitu: Rumah Tangga, Industri, Komersial dan Publik. Sedangkan pada sisi suplai, pembangkit listrik di kelompokkan berdasarkan jenis bahan bakar atau energi primernya. Seperti PLTA, PLTU, PLTG, PLTGU, PLTD, PLTMG, PLTP dan PLTM. Perhitungan tambahan kapasitas pembangkit mengacu pada dokumen RUPTL PT.PLN (Persero) tahun 2013-2022 untuk wilayah SULBAGSEL.

Hasil akhir simulasi LEAP yaitu proyeksi kebutuhan permintaan energi listrik, proyeksi penyediaan energi listrik dan proyeksi potensi emisi CO₂. Adapun kategori hasilnya terdiri dari kategori hasil berdasarkan jenis skenario, berdasarkan provinsi, berdasarkan sektor pengguna energi listrik (Rumah Tangga dan non Rumah Tangga), dan kategori hasil berdasarkan jenis pembangkit. Secara garis besar penelitian ini terdiri dari pengumpulan data, pengolahan data dan pemodelan menggunakan LEAP. Gambar model penelitian ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Model Penelitian

2.1. Perhitungan Permintaan Energi

Di dalam analisis permintaan energi final, permintaan energi dihitung sebagai perkalian antara total level aktivitas dan intensitas energi. Selanjutnya, permintaan energi dihitung untuk tahun dasar dan periode simulasi LEAP dengan menggunakan persamaan:

$$D_{b,s,t} = TA_{b,s,t} \times EI_{b,s,t} \tag{1}$$

dengan D adalah permintaan energi, TA adalah aktivitas total, EI adalah intensitas energi, b adalah cabang, s adalah skenario dan t adalah tahun (mulai dari tahun dasar dengan tahun akhir). Level aktivitas merupakan ukuran aktivitas sosial dan ekonomi yang mempengaruhi permintaan energi. Sedangkan intensitas energi adalah rata-rata konsumsi energi per teknologi pengguna energi atau per satuan level aktivitas. Total aktifitas sektor Bisnis, industri dan Publik berdasarkan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) masing-masing provinsi atas harga konstan 2000 menurut lapangan usaha. Sedangkan untuk sektor Rumah Tangga total aktivitasnya berdasarkan jumlah rumah tangga yang telah berlistrik.

$$TA_{RT} = \frac{P_n}{5} RE_n \tag{2}$$

dengan TA_{RT} adalah total aktifitas rumah tangga, P_n adalah jumlah penduduk tahun ke- n , RE_n adalah rasio elektrifikasi tahun ke- n dan angka 5 merupakan jumlah jiwa rata-rata tiap rumah, dan angka ini diambil sesuai dengan ketentuan PLN [7].

2.2. Perhitungan Kapasitas Pembangkit Listrik

Kapasitas pembangkit listrik dapat dihitung secara *endogenous* untuk mempertahankan nilai *planning reserve margin* (PRM) yang telah ditentukan. Perhitungan kapasitas pembangkit diawali dengan menghitung nilai kapasitas yang ada dengan persamaan:

$$C_{BA} = (C_{EX} + C_{EN}) \times C_{value} \quad (3)$$

dengan C_{BA} adalah kapasitas awal, C_{EX} adalah kapasitas exogenous, C_{EN} adalah kapasitas endogenous yang telah ditambahkan dan C_{value} adalah persentase nilai kapasitas aktual. Sedangkan kapasitas yang dibutuhkan untuk memenuhi beban puncak dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$C_{peak} = D/LF \times 8760 \text{ [jam/tahun]} \quad (4)$$

dengan C_{peak} adalah kapasitas untuk memenuhi beban puncak, D adalah permintaan energi listrik dan LF adalah faktor beban sistem.

PRM sebelum ada penambahan kapasitas secara endogenous dihitung berdasarkan persamaan:

$$PRM_{BA} = (C_{BA} - C_{peak}) / C_{peak} \quad (5)$$

dengan PRM_{BA} adalah PRM sebelum ada penambahan kapasitas. Selanjutnya, kapasitas pembangkit listrik yang diperlukan secara *endogenous* ditentukan dengan persamaan:

$$C_{ENA} = (PRM - PRM_{BA}) \times C_{peak} \quad (6)$$

dengan C_{ENA} adalah kapasitas pembangkit listrik yang harus ditambahkan untuk mempertahankan PRM pada nilai yang sudah ditentukan. Pada akhirnya, LEAP menghitung kapasitas pembangkit listrik yang diperlukan untuk setiap proses pembangkit listrik.

2.3. Proses Dispatch Pembangkit Listrik

Dalam perhitungan optimasi, pembangkit listrik di *dispatch* berdasarkan *running cost*. Dengan metode *dispatch* ini, modul pembangkit listrik harus mengikutsertakan *load duration curve* (LDC). Selanjutnya, LEAP akan mensimulasikan *dispatch* setiap jenis proses pembangkit listrik baik untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang ditentukan oleh LDC maupun kebutuhan energi listrik secara keseluruhan. *Running cost* ditentukan dengan persamaan:

$$RunningCost = Var \text{ OM Cost} + \frac{Fuel \text{ Cost}}{Efficiency} \quad (7)$$

2.4. Perhitungan Emisi Pembangkit Listrik

LEAP menyediakan fasilitas untuk menghitung emisi dari sistem energi. LEAP mempunyai database faktor emisi dari berbagai jenis energi dan berbagai jenis teknologi (TED) yang direkomendasikan oleh IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*). Pemodel dapat menggunakan database ini atau dapat juga mengisikan sendiri data emisi dari sistem energi yang dimodelkannya [8]. Biasanya faktor emisi yang ditentukan dalam Ton/terajoule atau kg/terajoule. Untuk menghitung total emisi masing-masing polutan menggunakan persamaan:

$$Emission_{t,y,p} = EC_{t,y} \times EF_{t,y,p} \quad (8)$$

dengan EC adalah konsumsi energi, EF adalah faktor emisi, t adalah jenis teknologi (bahan bakar), y adalah tahun, dan p adalah polutan.

2.5. Asumsi dan Parameter

Asumsi yang digunakan untuk memproyeksikan kebutuhan permintaan dan penyediaan energi listrik SULBAGSEL mengacu pada data historis tahun 2008-2012 PT. PLN dan Badan Pusat Statistik.

2.5.1 Jumlah Penduduk

Asumsi jumlah penduduk di wilayah SULBAGSEL ditunjukkan pada tabel 1 berikut ini [9].

Tabel 1. Jumlah Penduduk Tahun 2012 (Ribuan Jiwa)

Provinsi	Penduduk	Asumsi
Sulsel	8.250	Interp(2020;8928)
Sulteng	2.739	Interp(2020;3097)
Sultra	2.346	Interp(2020;2756)
Sulbar	1.211	Interp(2020;1405)

2.5.2. Produk Domestik Regional Bruto

Asumsi pertumbuhan PDRB untuk masing-masing provinsi dapat dilihat pada tabel 2 berikut ini [10].

Tabel 2. Pertumbuhan PDRB Tahun 2012 (Juta Rupiah)

Provinsi	Sektor	PDRB	Asumsi
Sulsel	R. Tangga	59.592	Growth(2022;7,60%)
	Industri	12.983	Growth(2022;4,95%)
	Komersial	25.174	Growth(2022;12,18%)
	Publik	6.059	Growth(2022;4,91%)
Sulteng	R. Tangga	20.718	Growth(2022;8,85%)
	Industri	2.760	Growth(2022;14,33%)
	Komersial	6.885	Growth(2022;9,76%)
	Publik	3.380	Growth(2022;8,59%)
Sultra	R. Tangga	14.020	Growth(2022;8,79%)
	Industri	2.543	Growth(2022;14,86%)
	Komersial	6.020	Growth(2022;12,50%)
	Publik	1.603	Growth(2022;5,30%)
Sulbar	R. Tangga	5.704	Growth(2022;9,31%)
	Industri	592	Growth(2022;11,41%)
	Komersial	1.531	Growth(2022;8,52%)
	Publik	993	Growth(2022;13,15%)

2.5.3. Penjualan Energi Listrik

Asumsi pertumbuhan penjualan energi listrik masing-masing provinsi dapat dilihat pada tabel 3 berikut ini [11].

Tabel 3. Penjualan Energi Listrik (GWh) Tahun 2012

Provinsi	Sektor	Penjualan	Asumsi
Sulsel	R. Tangga	1.779,92	Growth(2022;14%)
	Industri	754,87	Growth(2022;2,76%)
	Komersial	780,97	Growth(2022;11,16%)
	Publik	323,87	Growth(2022;7,15%)
Sulteng	R. Tangga	459,49	Growth(2022;15,75%)
	Industri	19,93	Growth(2022;8,03%)
	Komersial	111,88	Growth(2022;16,80%)
	Publik	94,86	Growth(2022;16,88%)
Sultra	R. Tangga	356,87	Growth(2022;18,90%)
	Industri	24,74	Growth(2022;5,79%)
	Komersial	100,49	Growth(2022;17,77%)
	Publik	46,32	Growth(2022;9,84%)
Sulbar	R. Tangga	120,97	Growth(2022;16,88%)
	Industri	2,81	Growth(2022;16,30%)
	Komersial	33,27	Growth(2022;19,78%)
	Publik	20,58	Growth(2022;11,47%)

2.5.4. Rasio Elektrifikasi

Asumsi rasio elektrifikasi untuk masing-masing provinsi ditunjukkan pada tabel 4 berikut ini [11].

Tabel 4. Rasio Elektrifikasi (%)

Provinsi	Asumsi	
	Tahun 2012	Tahun 2022
Sulsel	72,22	100
Sulteng	58,11	100
Sultra	52,02	100
Sulbar	41,86	100

2.5.5. Intensitas Energi Listrik Sektor Rumah Tangga

Intensitas energi listrik untuk sektor rumah tangga ditunjukkan pada tabel 5 berikut ini.

Tabel 5. Intensitas Energi Listrik Sektor Rumah Tangga (GWh/Kapita)

Provinsi	Rumah Tangga
Sulsel	0,0015
Sulteng	0,0014
Sultra	0,0015
Sulbar	0,0012

2.5.6. Intensitas Energi Listrik Sektor non-Rumah Tangga

Intensitas energi listrik sektor non rumah tangga ditunjukkan pada tabel 6 berikut ini.

Tabel 6. Intensitas Energi Listrik
Sektor non-Rumah Tangga (GWh/Juta Rupiah)

Provinsi	Sektor		
	Industri	Komersial	Publik
Sulsel	0,0581	0,031	0,0535
Sulteng	0,0072	0,0162	0,0281
Sultra	0,0097	0,0167	0,0289
Sulbar	0,0047	0,0217	0,0207

2.5.7. Kapasitas Pembangkit

Kapasitas Pembangkit listrik di wilayah SULBAGSEL dapat dilihat pada tabel 7 berikut ini [11].

Tabel 7. Kapasitas Pembangkit Listrik Tahun 2012

Pembangkit	Provinsi				Total (MW)
	Sulsel	Sulteng	Sultra	Sulbar	
PLTA	149,28	8,55	4,15	0	161,98
PLTU	112,5	0	24	0	136,5
PLTG	122,72	0	0	0	122,72
PLTGU	0	0	0	0	0
PLTP	0	0	0	0	0
PLTD	74,61	125,13	96,61	6,39	302,74
PLTMG	0	0	0	0	0
PLTS	1,3	0	0,48	0	1,78
Jumlah	460,41	133,68	125,24	6,39	

2.5.8. Komponen Biaya Pembangkit

Komponen biaya untuk setiap jenis pembangkit yang terdiri dari biaya kapital, biaya operasi dan pemeliharaan (O&M), biaya variabel, dan biaya bahan bakar. Selengkapnya dapat dilihat pada tabel 8 berikut ini.

Tabel 8. Komponen Biaya Pembangkit

Pembangkit	Asumsi Biaya				Efisiensi (%) ^{c)}
	Capital (USD/MW) (Thousand) ^{b)}	O&M (USD/kW-yr) ^{b)}	Variable (USD/kW) ^{b)}	Fuel (USD) ^{a)}	
PLTA	1,32	13,14	3,2	0	95
PLTU	1,92	27,5	3,7	80/Ton	45
PLTG	0,88	13,71	2,86	6/MMBTU	40
PLTGU	3,17	38,64	7,25	13/MMBTU	58
PLTP	2,82	155,41	0	0	85
PLTD	1,3	25	4	0,78/Liter	35
PLTMG	5,74	10,53	3,57	6/MMBTU	40
PLTM	4,5	130	0	0	85
PLTU CCS	5,22	80,53	9,51	80/Ton	40

Sumber:

a) (PLN, 2012) [1]

b) (en.openei.org, 2012) [12]

c) (Eurelectric, 2003) [13]

2.5.9. Losses Transmisi dan Distribusi

Diasumsikan bahwa *losses* pada tahun 2013 adalah 10% dan pada tahun 2022 menjadi 9% atau terjadi penurunan 0,1% per tahun.

2.5.10. Urutan Penjadwalan Pembangkit

Urutan penjadwalan pembangkit dapat dilihat pada tabel 9 berikut.

Tabel 9. Urutan Penjadwalan Pembangkit

Jenis Pembangkit	Merit Order	Kapasitas Maksimum yang ditambahkan (MW)
PLTU	1	Unlimited
PLTGU	1	Unlimited
PLTG	1	Unlimited
PLTP	1	55
PLTA	2	350
PLTM	2	38
PLTMG	3	Unlimited
PLTD	3	Unlimited

2.5.11. Rencana Tambahan Kapasitas Pembangkit

Rencana tambahan kapasitas pembangkit listrik di wilayah SULBAGSEL tahun 2013-2022 mengacu pada dokumen rencana umum penyediaan tenaga listrik PT. PLN tahun 2013-2022 [10]. Selengkapnya dapat di lihat pada tabel 10 berikut ini.

Tabel 10. Rencana Tambahan Kapasitas Pembangkit (MW)

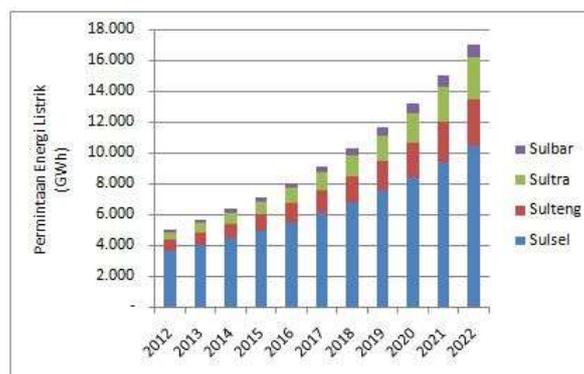
Tahun	Jenis Pembangkit							
	PLTU	PLTGU	PLTG	PLTP	PLTA	PLTM	PLTMG	PLTD
2013	60	60	60					
2014	10					19		
2015						25	20	
2016	280		300			40		
2017	100					38	150	
2018	625	150						
2019	200				110			
2020					433			
2021					598			
2022	200			95	66			

2. Hasil Dan Pembahasan

3.1. Permintaan Energi Listrik berdasarkan Provinsi

Pada tahun 2013, proyeksi kebutuhan permintaan energi listrik wilayah SULBAGSEL adalah 5.642 GWh yang terdiri dari Provinsi Sulawesi Selatan adalah 4.020 GWh (71%) yang menempati urutan pertama disusul pada urutan kedua provinsi Sulawesi Tengah 795 GWh (14%), provinsi Sulawesi Tenggara 620 GWh (11%) dan provinsi Sulawesi Barat adalah 207 GWh (4%).

Pada tahun 2022 proyeksi kebutuhan permintan energi listrik Provinsi Sulawesi Selatan adalah 10.485 GWh (61%) dengan pertumbuhan rata-rata 11,2% per tahun, provinsi Sulawesi Tengah adalah 3.007 GWh (18%) dengan pertumbuhan rata-rata 15,9% per tahun, provinsi Sulawesi Tenggara adalah 2.693 GWh (16%) dengan pertumbuhan rata-rata paling tinggi yaitu 17,6% dan provinsi Sulawesi Barat adalah 851 GWh (5%) dengan pertumbuhan rata-rata permintaan energi listrik 16,8% per tahun. Selanjutnya dapat di lihat pada gambar 2 dan tabel 11 berikut ini.



Gambar 2. Proyeksi Kebutuhan Energi Listrik Berdasarkan Provinsi

Tabel 11. Proyeksi Kebutuhan Permintaan Energi Listrik per Provinsi (GWh)

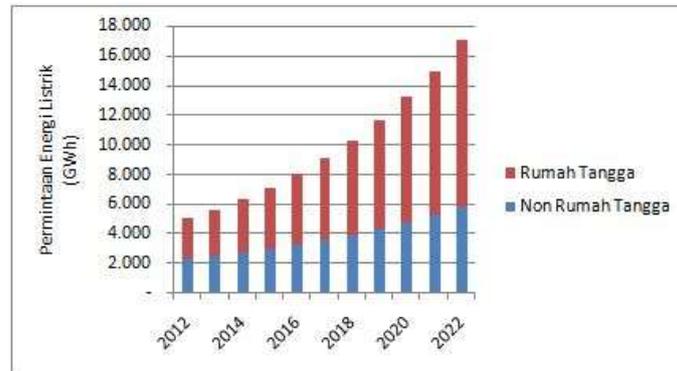
Provinsi	Permintaan Energi Listrik				
	2012	2013	2016	2019	2022
Sulsele	3.640	4.020	5.467	7.530	10.485
Sulteng	686	795	1.237	1.928	3.007
Sultra	528	620	1.005	1.641	2.693
Sulbar	178	207	331	530	851
Total	5.032	5.642	8.041	11.629	17.037

3.2. Permintaan Energi Listrik berdasarkan Sektor Pemakai

Pada tahun 2013 proyeksi kebutuhan energi listrik wilayah SULBAGSEL untuk sektor rumah tangga adalah 3.127 GWh (55%). Sedangkan untuk sektor non-rumah tangga adalah 2.515 GWh (45%) yang terdiri dari sektor Industri 827 GWh (15%), Sektor Komersial 1.157 GWh (21%) dan sektor Publik 532 GWh (9%).

Pada tahun 2022 proyeksi kebutuhan energi listrik untuk sektor Rumah tangga meningkat menjadi 11.173 GWh (66%) dengan pertumbuhan rata-rata 15,2% per tahun. Sedangkan untuk sektor non-rumah tangga adalah 5.864 GWh (34%) dengan pertumbuhan rata-rata 9,7% per tahun yang terdiri sektor Industri 1.090 GWh (6%) dengan pertumbuhan rata-rata 3,12% per tahun, sektor Komersial 3.496 GWh (21%) dengan pertumbuhan rata-rata 13,04% per tahun

dan sektor Publik 1.277 GWh (7%) dengan pertumbuhan rata-rata 10,15% per tahun. Selanjutnya dapat di lihat pada gambar 3, tabel 12 dan tabel 13 berikut ini.



Gambar 3. Proyeksi Kebutuhan Energi Listrik Rumah Tangga dan Non-Rumah Tangga

Tabel 12. Proyeksi Kebutuhan Permintaan Energi Listrik per Sektor (GWh)

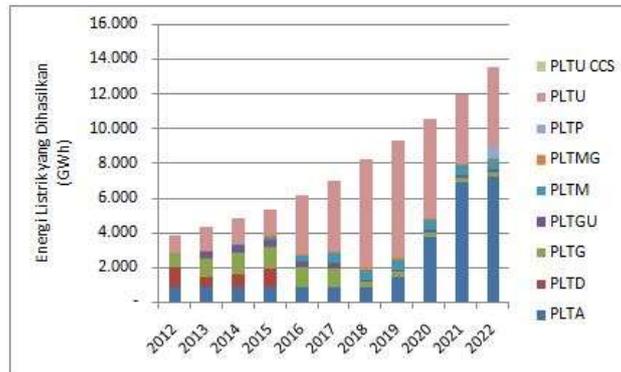
Sektor	Permintaan Energi Listrik				
	2012	2013	2016	2019	2022
Non RT	2.315	2.515	3.271	4.337	5.864
RT	2.717	3.127	4.770	7.292	11.173
Total	5.032	5.642	8.041	11.629	17.037

Tabel 13. Proyeksi Kebutuhan Permintaan Energi Listrik per Sektor (GWh)

Sektor	Permintaan Energi Listrik				
	2012	2013	2016	2019	2022
Industri	802	827	905	992	1.090
Komersial	1.027	1.157	1.662	2.403	3.496
Publik	486	532	703	941	1.277
RT	2.717	3.127	4.770	7.292	11.173
Total	5.032	5.642	8.041	11.629	17.037

3.3. Penyediaan Energi Listrik Skenario Referensi

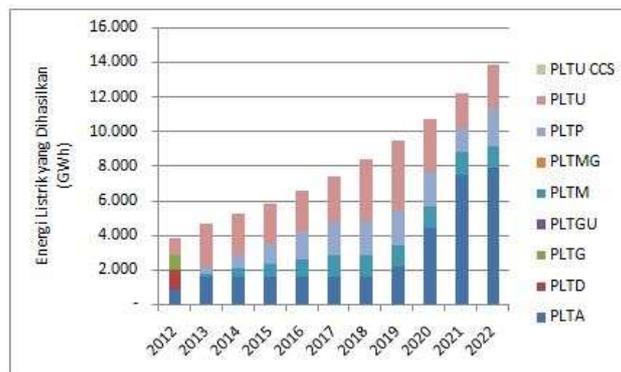
Pada tahun 2013 total energi listrik yang dihasilkan berdasarkan skenario referensi adalah 4.302 GWh terdiri dari PLTA 851 GWh (20%), PLTD 536 GWh (12%), PLTG 1.117 GWh (26%), PLTGU 420 (10%) dan PLTU 1.377 GWh (32%). Sedangkan pada tahun 2022 total energi listrik yang dihasilkan adalah 13.528 GWh terdiri dari PLTA 7.195 (53%), PLTG 293 GWh (2%), PLTGU 128 GWh (1%), PLTM 589 GWh (4%), PLTMG 103 GWh (1%), PLTP 666 GWh (5%) dan PLTU 4.554 (34%).



Gambar 4. Proyeksi Kebutuhan Penyediaan Energi Listrik Berdasarkan Skenario Referensi

3.4. Penyediaan Energi Listrik Skenario Optimasi

Pada tahun 2013 total energi listrik yang dihasilkan berdasarkan skenario optimasi adalah 4.628 GWh. terdiri dari PLTA 1.540 GWh (33%), PLTM 200 GWh (4%), PLTP 385 GWh (9%), dan PLTU 2.502 GWh (54%). Sedangkan Pada tahun 2022 total energi listrik yang dihasilkan adalah 13.835 GWh yang terdiri dari PLTA 7.884 GWh (57%), PLTM 1.264 GWh (9%), dan PLTP 2.152 GWh (16%). Sedangkan PLTU 2.533 GWh (18%).



Gambar 5. Proyeksi Kebutuhan Penyediaan Energi Listrik Berdasarkan Skenario Optimasi

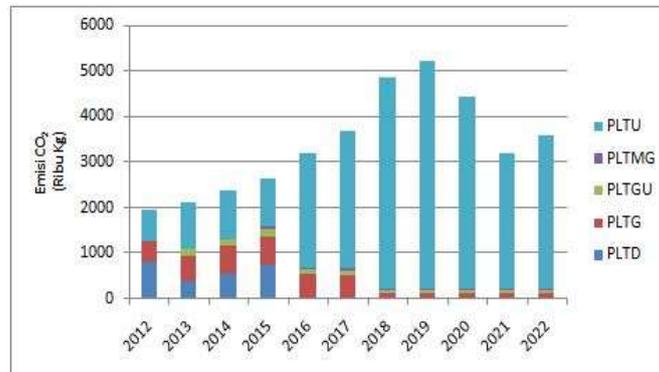
3.5. Emisi CO₂

Dampak lingkungan difokuskan pada potensi pemanasan global yang disebabkan oleh emisi CO₂. Perhitungan emisi CO₂ yang dihasilkan untuk setiap proses pembangkitan energi listrik didasarkan pada *technology and environment database* (TED) yang terdapat di dalam perangkat lunak LEAP.

3.6. Proyeksi Emisi CO₂ Skenario Referensi

Dari hasil simulasi LEAP, Pada tahun 2013 emisi CO₂ yang dihasilkan dari sisi penyediaan sebanyak 2.127 ton yang bersumber dari PLTU 1.021 ton, PLTD 400 ton, PLTGU 146 ton dan PLTG 561 ton. Sedangkan pada tahun 2022 emisi yang dihasilkan berjumlah 3.618 ton yang bersumber dari PLTMG sebanyak 52 ton, PLTU 3.375 ton, PLTGU 44 Kg dan PLTG 147 ton. Sementara untuk PLTD tidak menghasilkan emisi CO₂. Hal ini dikarenakan pada tahun 2016 PLTD tidak lagi digunakan dan digantikan oleh PLTU dan PLTA. Dari grafik dapat di lihat pula terjadi penurunan emisi CO₂ pada tahun 2020 sebanyak 4.466 ton dan tahun 2021

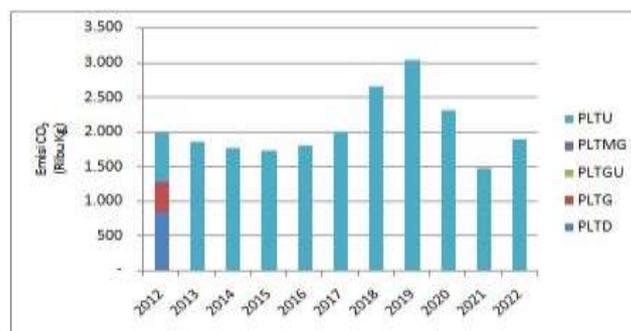
sebanyak 3.212 ton karena adanya tambahan PLTA secara berurutan yaitu 433 MW dan 598 MW kemudian meningkat kembali pada tahun 2022 sebanyak 3.618 ton karena adanya tambahan PLTU yaitu 200 MW seperti yang terdapat dalam rencana umum penyediaan tenaga listrik PT. PLN tahun 2012.



Gambar 6. Proyeksi Emisi CO₂ Berdasarkan Skenario Referensi

3.7. Proyeksi Emisi CO₂ Skenario Optimasi

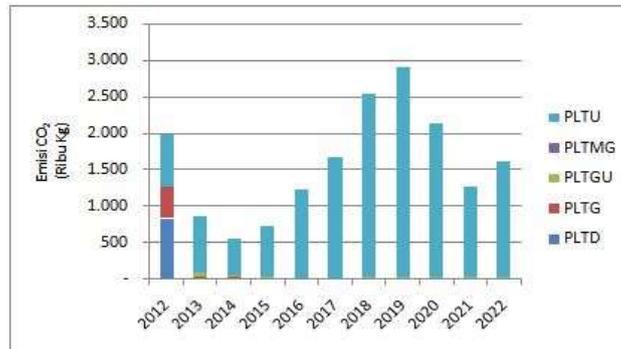
Dari hasil simulasi LEAP, Pada tahun 2013 emisi CO₂ yang dihasilkan pada skenario optimasi bersumber dari PLTU sebanyak 1.855 ton sedangkan pada tahun 2022 emisi CO₂ yang dihasilkan menjadi 1.877 ton. PLTU merupakan pembangkit thermal yang paling *low cost* dibandingkan dengan pembangkit lainnya. Oleh karena itu, PLTU menjadi pilihan bagi pihak penyedia energi untuk memenuhi kebutuhan energi listrik meskipun di sisi lain memiliki dampak lingkungan berupa emisi CO₂ yang besar. Selain PLTU pembangkit listrik yang beroperasi bersumber dari energi terbarukan seperti PLTA, PLTM dan PLTP mengingat potensi energinya yang sangat besar. Diasumsikan bahwa pembangkit-pembangkit ini tidak menghasilkan emisi CO₂ (*zero carbon*) sehingga hanya bersumber dari PLTU.



Gambar 7. Proyeksi Emisi CO₂ yang Dihasilkan Berdasarkan Skenario Optimasi

3.8. Proyeksi Emisi CO₂ Skenario Mitigasi

Pada skenario mitigasi (MIT) PLTU CCS (*carbon capture storage*) dengan kapasitas 300 MW dan PLTA dengan kapasitas 200 MW ditambahkan pada kapasitas endogen untuk mempertahankan reverse margin 30%. Dari hasil simulasi LEAP, Pada tahun 2013 emisi CO₂ yang dihasilkan sebanyak 857 ton bersumber dari PLTU sebanyak 767 ton, PLTGU sebanyak 53 ton dan PLTG sebanyak 37 ton. Sedangkan pada tahun 2022 emisi CO₂ yang dihasilkan sebanyak 1.610 ton yang terdiri dari dari PLTU sebanyak 1.566 ton dan PLTGU sebanyak 44 ton.



Gambar 8. Proyeksi Emisi CO₂ yang dihasilkan Berdasarkan pembatasan emisi 5,2%

3. Kesimpulan dan Saran

3.1. Kesimpulan

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pertumbuhan ekonomi dan jumlah penduduk di wilayah SULBAGSEL menunjukkan tren peningkatan yang signifikan sehingga kebutuhan permintaan energi listrik pada masing-masing provinsi dan sektor mengalami peningkatan. Proyeksi berdasarkan provinsi menunjukkan bahwa provinsi Sulawesi Selatan memiliki permintaan energi listrik terbesar dengan pertumbuhan rata-rata 11,2% per tahun. Sedangkan Proyeksi berdasarkan sektor aktifitas menunjukkan bahwa sektor Rumah Tangga memiliki permintaan energi listrik terbesar dengan pertumbuhan rata-rata 15,2% per tahun. Hasil simulasi juga menunjukkan peningkatan emisi CO₂ untuk tahun 2022 sebanyak 3.618 ton untuk skenario referensi (REF), sedangkan pada skenario optimasi (OPT) 1.877 ton dan mitigasi (MIT) 1.610 ton. Oleh karena itu, harus diantisipasi agar kebutuhan permintaan energi listrik tetap tercukupi melalui penambahan dan percepatan pembangunan pembangkit baru yang efisien dengan mempertimbangkan emisi CO₂.

3.2. Saran

Pada makalah ini, penulis belum menyertakan analisa biaya eksternal lingkungan. Oleh karena itu, bagi peneliti yang tertarik ingin melanjutkan penelitian ini agar memasukan biaya eksternal lingkungan untuk melihat pengaruhnya terhadap total biaya keseluruhan. Penelitian selanjutnya juga dapat menggunakan skenario konsevasi (KON) untuk menggali potensi efisiensi di sisi permintaan berdasarkan kebijakan Rencana Induk Konservasi Nasional (RIKEN).

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pemerintah Kota Kendari Dan Pemerintah Provinsi Sulawesi Tenggara yang telah memberikan beasiswa pendidikan melalui program restorasi pendidikan Cerdas Sultraku Tahun 2012 pada Program Studi Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang, Jawa Tengah.

Daftar Pustaka

[1] PLN, (2013). *Rencana Umum Penyediaan Tenaga Listrik 2013-2022*. Jakarta.

- [2] BAPPENAS. (2011). *Pedoman Pelaksanaan Rencana Aksi Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca*. Jakarta: Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional.
- [3] Winarno, O. T. (2008). *LEAP Panduan Perencanaan Energi*. Bandung: Pusat Kajian Kebijakan Energi institut Teknologi Bandung.
- [4] Lagu, H. J., Lee, S., Maken, S., Ahn, S. W., Jin, W. P., Min, B., et al. (2007). Environmental and Economic Assessment of The Chemical Absorption Process in Korea Using The LEAP Model. *Energy Policy* 35 , 5109-5116.
- [5] Indrawan, N., & Wijaya, M. E. (2011). Addressing Palm Biodiesel as Renewable Fuel for the Indonesian Power Generation Sector: Java-Madura-Bali System. *IPTEK, The Journal for Technology and Science* , 221-237, Vol.22, No.4.
- [6] Hasiby, R. A. (2012). *Analisis Skenario Permintaan dan Penyediaan Energi Listrik Pada Sistem Interkoneksi Jawa-Madura-Bali* . Jogjakarta: Universitas Gadjah Mada.
- [7] Suswanto, Daman. *Sistem Distribusi Tenaga Listrik: Analisis Peramalan Beban dan Kebutuhan Energi Listrik*.
- [8] SEI. (2011). *LEAP user guide for version 2011 (First Draft)*. Somerville, USA: Stockholm Environment Institute.
- [9] BAPPENAS-BPS-UNFPA. (2012). *Proyeksi Penduduk Indonesia 2010-2035*. Jakarta-Indonesia: Badan Pusat Statistik.
- [10] Badan Pusat Statistik. (2013). *PDRB Provinsi Menurut Lapangan Usaha 2008-2012*. Jakarta.
- [11] PLN, (2012). *Statistik PT. PLN 2012*. Jakarta.
- [12] en.openei.org. (2012). *Power Plants Estimates Cost*.
- [13] Industry, U. O. (2003). *Efficiency in Electricity Generation*. EURELECTRIC, VGB.