

**PRAKIRAAN EMISI GAS RUMAH KACA PADA SEKTOR
PEMBANGKIT ENERGI LISTRIK MENGGUNAKAN PERANGKAT
LUNAK *LOW EMISSION ANALYSIS PLATFORM (LEAP)* DI PROVINSI
ACEH TAHUN 2024-2030**

TUGAS AKHIR

Diajukan Oleh:

ALDI FAHMI MAULANA

NIM. 190702069

**Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
DARUSSALAM BANDA ACEH**

2024

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

PRAKIRAAN EMISI GAS RUMAH KACA PADA SEKTOR ENERGI LISTRIK MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK *LOW EMISSION ANALYSIS PLATFORM* (LEAP) DI PROVINSI ACEH TAHUN 2024-2030

TUGAS AKHIR

Diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai salah satu Persyaratan Memperoleh Gelar Sarjana Teknik (S1)
dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Oleh:

ALDI FAHMI MAULANA

NIM. 190702069

Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry

Disetujui untuk dimunaqasyahkan Oleh:

Pembimbing I



Suardi Nur, S.T., M.Sc., Ph.D
NIDN. 2010108103

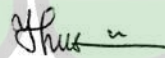
Pembimbing II



Dr. Eng. Nur Aida, M.Si.
NIDN. 2016067801

جامعة الرانيري

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Lingkungan



Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc.
NIDN. 2009118301

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

PRAKIRAAN EMISI GAS RUMAH KACA PADA SEKTOR ENERGI LISTRIK MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK *LOW EMISSION ANALYSIS PLATFORM* (LEAP) DI PROVINSI ACEH TAHUN 2024-2030

TUGAS AKHIR

Telah Diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
serta Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan Kelulusan Program Sarjana Teknik
(S-1) dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Pada Hari/Tanggal: Jumat/ 16 Agustus 2024
Jumat/ 11 Safar 1446

Panitia Ujian Munqasyah Skripsi

Ketua



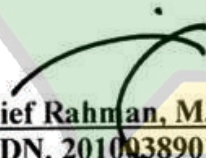
Suardi Nur, S.T., M.Sc., Ph.D
NIDN. 2010108103

Sekretaris



Dr. Eng. Nur Aida, M.Si.
NIDN. 2016067801

Penguji I



Arief Rahman, M.T.
NIDN. 2010038901

Penguji II



Muhammad Haikal, S.T., M.Sc.

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh



Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU
NIP. 196210021988111001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Aldi Fahmi Maulana
NIM : 190702069
Program Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul : Prakiraan Emisi Gas Rumah Kaca Pada Sektor Energi Listrik Menggunakan Perangkat Lunak *Low Emission Analysis Platform* (LEAP) Di Provinsi Aceh Tahun 2024-2030.

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan skripsi ini, saya:

1. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini;
2. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh maupun di perguruan tinggi lainnya;
3. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dari dosen pembimbing;
4. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
5. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya; dan
6. Tidak memanipulasi dan memalsukan data.

Bila kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Banda Aceh 2 September 2024



10000
REPUBLIK INDONESIA
METERAL TEMPEL
69ALX339275792

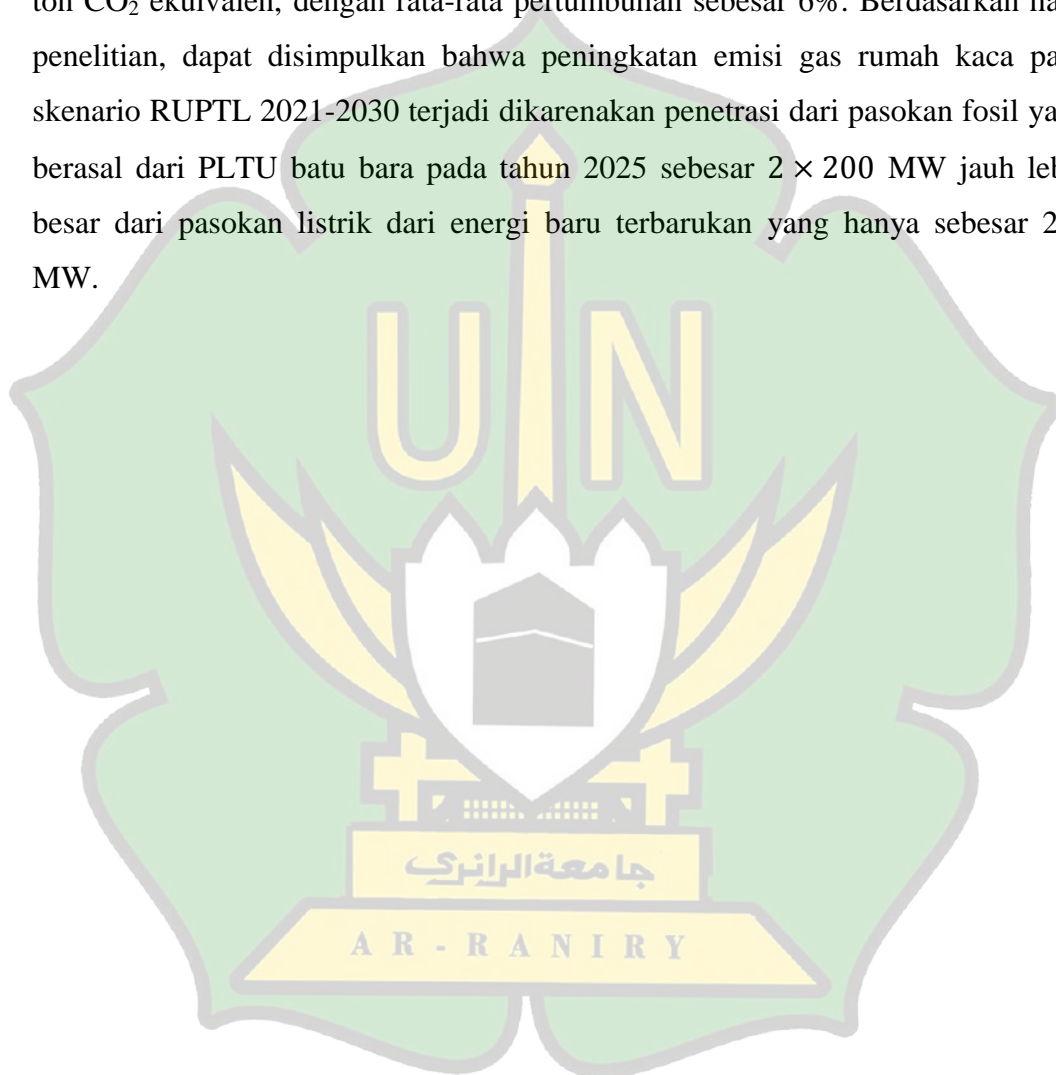
Aldi Fahmi Maulana

ABSTRAK

Nama : Aldi Fahmi Maulana
NIM : 190702069
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Prakiraan Emisi Gas Rumah Kaca Pada Sektor Energi Listrik Menggunakan Perangkat Lunak *Low Emission Analysis Platform* (LEAP) Di Provinsi Aceh Tahun 2024-2030.
Tanggal Sidang : Jumat, 16 Agustus 2024
Jumlah Halaman : 107
Pembimbing I : Suardi Nur, S.T., M.Sc., Ph.D.
Pembimbing II : Dr. Eng, Nur Aida, M.Si.
Kata Kunci : Perubahan Iklim, Emisi Gas Rumah Kaca, Prakiraan Permintaan Listrik dan Emisi Gas Rumah Kaca, Perangkat Lunak LEAP

Perubahan iklim terjadi diakibatkan dari hasil dampak buruk dari kegiatan antropogenik, seperti produksi energi listrik pada pembangkit listrik, kegiatan industri dan lainnya, sehingga berdampak pada kenaikan suhu bumi. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan prakiraan permintaan energi listrik dan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari pembangkit listrik di Provinsi Aceh. Jenis penelitian ini adalah kuantitatif dengan data yang digunakan meliputi Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) dan Data konsumsi listrik tahunan Provinsi Aceh. Pengolahan data dilakukan untuk mengetahui setiap pertumbuhan data yang diperoleh, kemudian akan dilakukan simulasi dengan perangkat lunak *Low Emission Analysis Platform* (LEAP) dengan jangka waktu periode prakiraan tahun 2024 sampai dengan tahun 2030. Simulasi dilakukan dengan menggunakan skenario *Business as Usual* (BaU) dan Skenario Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2021-2030. Hasil dari simulasi menunjukkan bahwa permintaan energi listrik tertinggi terjadi pada sektor pelanggan rumah tangga sebesar 2.521,778 MWh atau meningkat 3,47% dengan jumlah pelanggan sebanyak 1.895,495 pada tahun 2030. Pada tahun yang sama permintaan energi listrik terendah berada pada pelanggan gedung pemerintah hanya 138.927 MWh

atau meningkat sebesar 10,57% dengan jumlah pelanggan 15.978. Dengan menggunakan skenario BaU, total emisi gas rumah kaca pada tahun 2030 mencapai 13.430 metrik ton CO₂ ekuivalen, dengan pertumbuhan total populasi penduduk dan PDRB sebesar 1,09% dan 9,85% maka rata-rata pertumbuhan emisi gas rumah kaca sebesar 1,7%. Sementara itu dengan skenario RUPTL 2021-2030, total emisi gas rumah kaca pada tahun yang sama mencapai 18.101 metrik ton CO₂ ekuivalen, dengan rata-rata pertumbuhan sebesar 6%. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa peningkatan emisi gas rumah kaca pada skenario RUPTL 2021-2030 terjadi dikarenakan penetrasi dari pasokan fosil yang berasal dari PLTU batu bara pada tahun 2025 sebesar 2 × 200 MW jauh lebih besar dari pasokan listrik dari energi baru terbarukan yang hanya sebesar 243 MW.



ABSTRACT

Name : Aldi Fahmi Maulana
NIM : 190702069
Study Programme : Environmental Engineering
Title : Forecasting Greenhouse Gas Emission in the Electricity Generation Sector Using the Low Emission Analysis Platform (LEAP) Software in Aceh Province For 2024-2030.
Date of Hearing : Jumat, 16 Agustus 2024
Number of Pages : 107
Advisor I : Suardi Nur, S.T., M.Sc., Ph.D.
Advisor II : Dr. Eng, Nur Aida, M.Si.
Keyword : Climate Change, Greenhouse Gas Emissions, Electricity Demand and Greenhouse Gas Emissions Forecast, LEAP Software.

Climate change occurs as a result of the adverse effects of anthropogenic activities, such as the production of electrical energy in power plants, industrial activities and others, which have an impact on increasing the earth's temperature. This study aims to forecast the demand for electrical energy and greenhouse gas emissions generated from power plants in Aceh Province. This type of research is quantitative with the data used includes Gross Regional Domestic Product (GRDP) and annual electricity consumption data for Aceh Province. Data processing is carried out to determine any data growth obtained, then simulations will be carried out with the Low Emission Analysis Platform (LEAP) software with a period of forecast period from 2024 to 2030. Simulations were carried out using the Business as Usual (BaU) scenario and the 2021-2030 Electricity Supply Business Plan (RUPTL) scenario. The results of the simulation show that the highest demand for electrical energy occurs in the household customer sector at 2,521,778 MWh or an increase of 3.47% with a total of 1,895,495 customers in 2030. In the same year, the lowest electrical energy demand was for government building customers at only 138,927 MWh or an increase of 10.57% with 15,978

customers. Using the BaU scenario, total greenhouse gas emissions in 2030 reached 13,430 metric tonnes of CO₂ equivalent, with total population and GRDP growth of 1.09% and 9.85%, the average growth in greenhouse gas emissions was 1.7%. Meanwhile, under the 2021-2030 RUPTL scenario, total greenhouse gas emissions in the same year reached 18,101 metric tonnes of CO₂ equivalent, with an average growth of 6%. Based on the results of the study, it can be concluded that the increase in greenhouse gas emissions in the 2021-2030 RUPTL scenario occurred due to the penetration of fossil supply from coal-fired power plants in 2025 of 2×200 MW which is far greater than the electricity supply from new renewable energy which is only 243 MW.



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah Swt. atas segala berkah dan karunia-Nya yang telah memberikan kemudahan dan petunjuk sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. *Shalawat* beriring salam kepada Nabi Muhammad saw. yang telah membawa umat manusia ke alam yang penuh dengan ilmu pengetahuan. Tidak lupa pula terima kasih sebesar-besarnya penulis ucapkan kepada ayahanda dan ibunda tercinta, Bima Albert dan Fatimah Abubakar atas doa, motivasi, nasihat dan segala bentuk bantuan yang telah di berikan kepada penulis.

Dengan petunjuk dan pertolongan Allah Swt. penulis bisa menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Prakiraan Emisi Gas Rumah Kaca Pada Sektor Pembangkit Listrik Menggunakan Perangkat Lunak *Low Emission Analysis Platform (LEAP)* Di Provinsi Aceh Tahun 2024-2030”. Adapun maksud dan tujuan penulisan ini sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar Sarjana Teknik di Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Penulis menyadari bahwasannya dalam penulisan tugas akhir ini melalui perjuangan yang panjang, dimulai dari awal perkuliahan hingga memasuki tahap akhir perkuliahan. Penulis dengan kesadaran penuh menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini dapat tercipta karena adanya dukungan, motivasi, dan banyak pihak yang turut membantu. Untuk itu pada kesempatan penulis menyampaikan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membimbing dan membantu tugas akhir ini, diantaranya yaitu:

1. Bapak Dr. Ir. Dirhamsyah, M.T., IPU. Selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
2. Ibu Husnawati Yahya, M.Sc. selaku Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
3. Bapak Aulia Rohendi, S.T., M.Sc. Selaku Sekretaris Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.

4. Bapak Suardi Nur, S.T., M.Sc, Ph.D selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir yang selalu memberikan arahan, kritik, dan saran kepada penulis.
5. Ibu Dr. Eng. Nur Aida, M.Si selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang memberikan arahan, kritik dan saran kepada penulis.
6. Bapak Dr. Abd Mujahid Hamdan, M.Sc. Selaku Dosen Wali yang selalu memberikan arahan dan masukan terhadap masalah perkuliahan yang penulis alami.
7. Bapak dan Ibu dosen di Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry, yang telah berkenan memberi ilmu pengetahuan selama masa perkuliahan penulis.

Tidak lupa juga kepada seluruh pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini, yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu. Penulis berharap Allah Swt. membalas segala kebaikan dari semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir. Penulis menyadari bahwa banyak kekurangan pada tugas akhir ini, oleh karena itu saran dan kritikan yang membangun sangat diharapkan. Semoga tugas akhir ini bisa bermanfaat terutama bagi penulis dan juga kepada para pembaca.

Banda Aceh, 2 September 2024

Penulis,

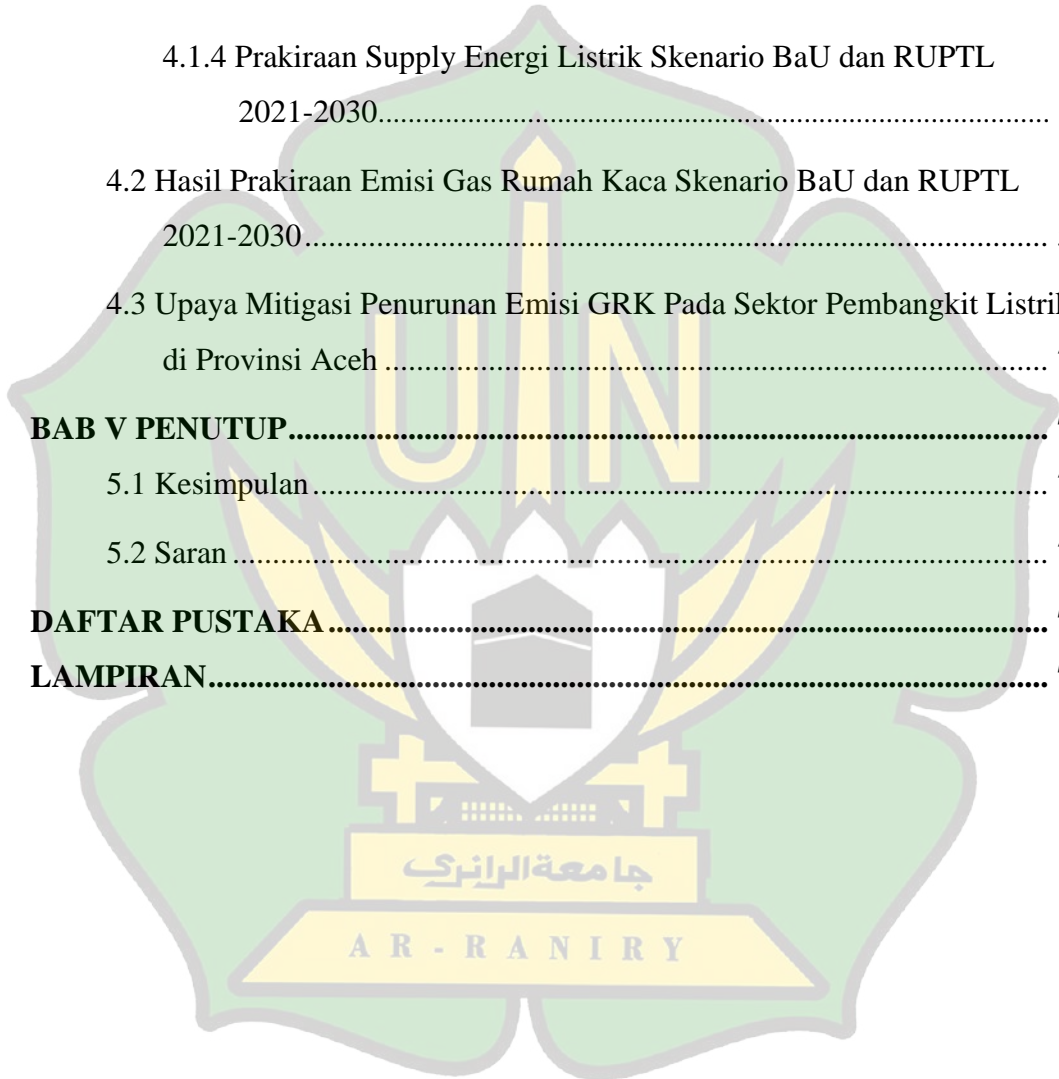
Aldi Fahmi Maulana

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	7
1.3 Tujuan Penelitian.....	7
1.4 Manfaat Penelitian.....	7
1.5 Batasan Penelitian.....	8
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	8
2.1 Energi dan Sumber Daya Energi	8
2.2 Energi Listrik.....	8
2.2.1 Jenis-Jenis Pembangkit Listrik.....	10
2.2.2 Faktor Yang Mempengaruhi Tingkat Kebutuhan Energi Listrik	11
2.3 Emisi Gas Rumah Kaca.....	13
2.3.1 Sumber-Sumber Emisi Gas Rumah Kaca.....	13
2.3.2 Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Energi Listrik.....	15
2.4 Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Energi	16
2.5 Perhitungan Prakiraan Permintaan Kebutuhan Energi Listrik.....	18

2.5.1 Jenis Prakiraan Energi Listrik.....	20
2.5.2 Metode Pendekatan Prakiraan Energi Listrik.....	21
2.6 Potensi Sumber Energi Primer di Aceh.....	22
2.7 Kapasitas Pembangkit Terpasang di Provinsi Aceh.....	23
2.8 Rencana Pembangkit Listrik Yang Akan Dibangun di Aceh.....	24
2.9 <i>Low Emission Analysis Platform (LEAP) Model</i>	26
2.9.1 Bagian- Bagian LEAP	27
2.9.2 Skenario	29
2.10 Penelitian Terdahulu	30
BAB III METODE PENELITIAN	36
3.1 Tahapan Umum Penelitian	36
3.2 Lokasi Pembangkit Listrik Di Provinsi Aceh.....	38
3.3 Alat dan Bahan	38
3.6 Pengumpulan Data.....	39
3.7 Pengolahan Data	40
3.8 Simulasi Perangkat Lunak LEAP	40
3.8.1 Menentukan Parameter Dasar.....	42
3.8.2 Modul <i>Key Assumption</i>	42
3.8.3 Skenario <i>Business as Usual (BaU)</i>	43
3.8.4 Skenario Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2021- 2030	43
3.8.4 Modul Permintaan (<i>Demand</i>)	44
3.8.5 Modul Transformasi	45
3.9 Analisis Hasil.....	45

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	46
4.1 Hasil Prakiraan <i>Demand</i> dan <i>Supply</i> Energi Listrik.....	46
4.1.1 Data Sekunder Yang Digunakan Untuk Prakiraan.....	46
4.1.2 Modul Asumsi Kunci (<i>Key Assumptions</i>)	47
4.1.3 Hasil Prakiraan Populasi Penduduk dan Demand Energi Listrik Skenario BaU	49
4.1.4 Prakiraan Supply Energi Listrik Skenario BaU dan RUPTL 2021-2030.....	56
4.2 Hasil Prakiraan Emisi Gas Rumah Kaca Skenario BaU dan RUPTL 2021-2030.....	58
4.3 Upaya Mitigasi Penurunan Emisi GRK Pada Sektor Pembangkit Listrik di Provinsi Aceh	70
BAB V PENUTUP.....	70
5.1 Kesimpulan.....	70
5.2 Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN.....	77



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Rata-rata Suhu Permukaan Global	2
Gambar 1.2	Emisi Gas Rumah Kaca Global dari Beberapa Sektor.	3
Gambar 1.3	Histori Emisi Gas Rumah Kaca Indonesia Sektor Energi.	5
Gambar 2.1	Sumber Emisi GRK Berdasarkan IPCC Guidelines.....	14
Gambar 2.2	Sumber Gas Rumah Kaca Berdasarkan Peraturan Presiden No.98 Tahun 2021.....	15
Gambar 2.3	Konsumsi Bahan Bakar Pada Pembangkit Listrik.....	16
Gambar 2.4	Tampilan Perangkat Lunak LEAP.....	27
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	37
Gambar 3.2	Peta Lokasi Pembangkit Listrik.....	38
Gambar 3.3	Diagram Alir Simulasi Perangkat Lunak LEAP	41
Gambar 3.4	Menentukan Parameter Dasar.....	42
Gambar 3.5	Membuat Skenario BaU	43
Gambar 3.6	Membuat Skenario RUPTL 2021-2030.....	44
Gambar 4. 1	Klasifikasi Data Sekunder Pada Modul <i>Key Assumption</i>	48
Gambar 4.2	Jumlah Intensitas Energi Listrik Per Sektor Pelanggan.	49
Gambar 4.3	Grafik Hasil Prakiraan Populasi Penduduk Dengan Skenario BaU.....	51
Gambar 4.4	Grafik Hasil Prakiraan PDRB Dengan Skenario BaU	52
Gambar 4.5	Grafik Hasil Prakiraan Pelanggan Listrik Skenario BaU	54
Gambar 4. 6	Grafik Hasil Prakiraan Permintaan Energi Listrik Skenario BaU.	56
Gambar 4.7	Prakiraan Kapasitas Supply Energi Listrik Skenario BaU	57
Gambar 4.8	Grafik Prakiraan Kapasitas Supply Energi Listrik Skenario RUPTL 2021-2030.....	58
Gambar 4.9	Grafik Hasil Prakiraan Emisi Karbon Dioksida (CO ₂) Skenario BaU.....	59
Gambar 4.10	Grafik Hasil Prakiraan Emisi Metana (CH ₄) Skenario BaU.	60
Gambar 4.11	Grafik Hasil Prakiraan Emisi Dinitrogen Monoksida (N ₂ O) Skenario BaU.....	61

Gambar 4.12	Grafik Hasil Prakiraan Emisi Karbon Dioksida (CO ₂) Skenario RUPTL 2021-2030	62
Gambar 4.13	Grafik Hasil Prakiraan Emisi Metana (CH ₄) Skenario RUPTL 2021-2030.....	63
Gambar 4.14	Grafik Hasil Prakiraan Emisi Nitrogen Dioksida (N ₂ O) RUPTL 2021-2030.....	64
Gambar 4.15	Perbandingan Total Emisi CO ₂ Skenario BaU dan RUPTL 2021-2030.....	65
Gambar 4.16	Perbandingan Total Emisi CH ₄ Skenario BaU dan RUPTL 2021-2030.....	65
Gambar 4.17	Perbandingan Total Emisi N ₂ O Skenario BaU dan RUPTL 2021-2030.....	66
Gambar 4.18	Hasil Prakiraan GWP Semua GRK Skenario BaU.....	67
Gambar 4.19	Grafik Hasil Prakiraan GWP Semua GRK Skenario RUPTL 2021-2030.....	68
Gambar 4.20	Perbandingan Rata-rata Petumbuhan GWP Kedua Skenario.....	69



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Faktor Emisi Bahan Bakar Sektor Energi Listrik.	18
Tabel 2.2	Potensi Minyak dan Gas Bumi Aceh	22
Tabel 2.3	Potensi Sumber Daya Batubara.....	23
Tabel 2.4	Jenis Pembangkit Terpasang	23
Tabel 2.5	Pembangkit Listrik Ongrid Yang Direncanakan Hingga 2030	24
Tabel 2.6	Potensi Pembangkit Listrik Provinsi Aceh	24
Tabel 2.7	Penelitian Terdahulu	30
Tabel 3.1	Alat dan Bahan Penelitian	38
Tabel 4.1	Data Jumlah Penduduk dan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB)	46
Tabel 4.2	Data Pelanggan Energi Listrik Per Sektor	47
Tabel 4.3	Data Konsumsi Energi Listrik Per Sektor Pelanggan	47
Tabel 4.4	Intensitas Energi Listrik Per Sektor Pelanggan.....	47
Tabel 4.5	Pertumbuhan Populasi Penduduk, Rumah Tangga dan PDRB	50
Tabel 4.6	Rekapitulasi Pertumbuhan Data Listrik Per Sektor Pelanggan.....	50
Tabel 4.7	Hasil Prakiraan Populasi Penduduk dan PDRB Skenario BAU	50
Tabel 4.8	Hasil Prakiraan Pelanggan Per Sektor Dengan LEAP BAU.....	53
Tabel 4.9	Hasil Validasi Perhitungan Manual Pelanggan Per Sektor	53
Tabel 4.10	Hasil Prakiraan Permintaan Energi Listrik Dengan LEAP BAU.....	55
Tabel 4.11	Hasil Validasi Perhitungan Manual Permintaan Energi Listrik	55
Tabel 4.12	Pembangkit Listrik Yang Akan Dibangun	58
Tabel 4.13	Hasil Prakiraan Emisi Karbon Dioksida (CO ₂) Skenario BaU	59
Tabel 4.14	Hasil Prakiraan Emisi Metana (CH ₄) BaU.....	60
Tabel 4.15	Hasil Prakiraan Emisi Dinitrogen Monoksida (N ₂ O) Skenario BaU	61
Tabel 4.16	Hasil Prakiraan Emisi Karbon Dioksida (CO ₂) Skenario RUPTL 2021-2030.	62
Tabel 4.17	Hasil Prakiraan Emisi Metana (CH ₄) Skenario RUPTL 2021-2030	63
Tabel 4.18	Hasil Prakiraan Emisi Dinitrogen Monoksida (N ₂ O) RUPTL 2021-2030	64
Tabel 4.19	Hasil Prakiraan GWP Dengan Skenario BaU	67
Tabel 4.20	Hasil Prakiraan GWP Dengan Skenario RUPTL 2021-2030.	68
Tabel 4.21	Pertumbuhan Persentase dan Rata-rata Pertumbuhan GWP.....	69

BAB I

PENDAHULUAN

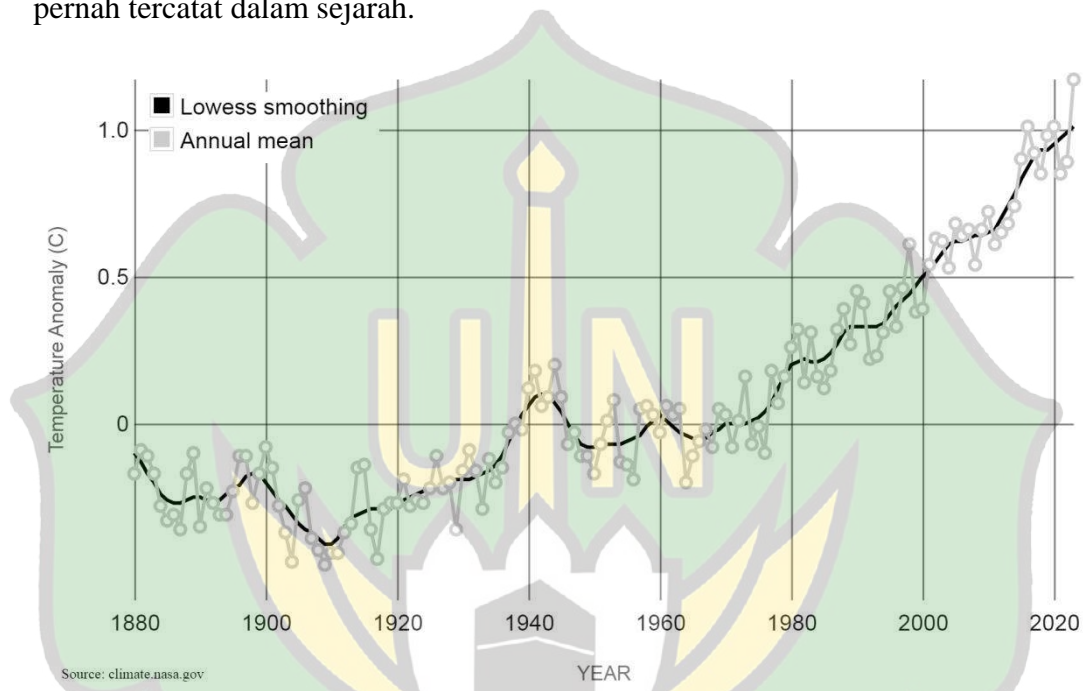
1.1 Latar Belakang

Kondisi lingkungan merupakan hal yang berdampak langsung kepada kehidupan manusia, untuk itu perlu dijaga dan diperhatikan kelangsungannya dimasa kini dan masa yang akan datang. Seiring berjalannya waktu, perkembangan teknologi dan meningkatnya kebutuhan hidup manusia akan terus memberikan tekanan yang semakin besar terhadap lingkungan di tingkat global. Saat ini fenomena yang sangat sering dikaji dan diperhatikan oleh masyarakat dunia adalah tentang perubahan iklim atau *climate change*, dimana kondisi suhu bumi mengalami kenaikan yang signifikan pada taraf tertentu yang menimbulkan beberapa dampak yang buruk bagi ekosistem (Sarkawi, 2011).

Pemanasan global secara umum disebabkan oleh efek rumah kaca. Proses ini terjadi ketika radiasi matahari dalam bentuk gelombang pendek terperangkap di atmosfer bumi. Sebagian radiasi tersebut dipantulkan kembali ke permukaan bumi, sementara sisanya diserap oleh gas rumah kaca dan dipancarkan kembali sebagai radiasi inframerah, menyebabkan peningkatan suhu global. Sebagian dari gelombang radiasi infra merah ini akan diserap oleh gas yang berada di atmosfer, gas yang berada di atmosfer inilah yang disebut dengan gas rumah kaca sehingga menyebabkan gelombang tersebut terperangkap di atmosfer bumi (Pratama, 2019). Pemanasan global terjadi diakibatkan dari hasil dampak buruk dari kegiatan antropogenik. Kegiatan tersebut telah terjadi sejak abad ke-18 lebih tepatnya pada tahun 1850 ketika dimulainya revolusi industri dengan dibangunnya pabrik-pabrik, pembangkit listrik, kendaraan transportasi dan teknologi di bidang pertanian. Hal tersebut menyebabkan peningkatan konsentrasi gas rumah kaca yang dilepas ke atmosfer.

Sejak revolusi industri terjadi peningkatan suhu rata-rata global meningkat, grafik pada Gambar 1.1 menampilkan gabungan perubahan suhu rata-rata permukaan dari tahun 1951 sampai dengan 1980. Rata-rata temperatur

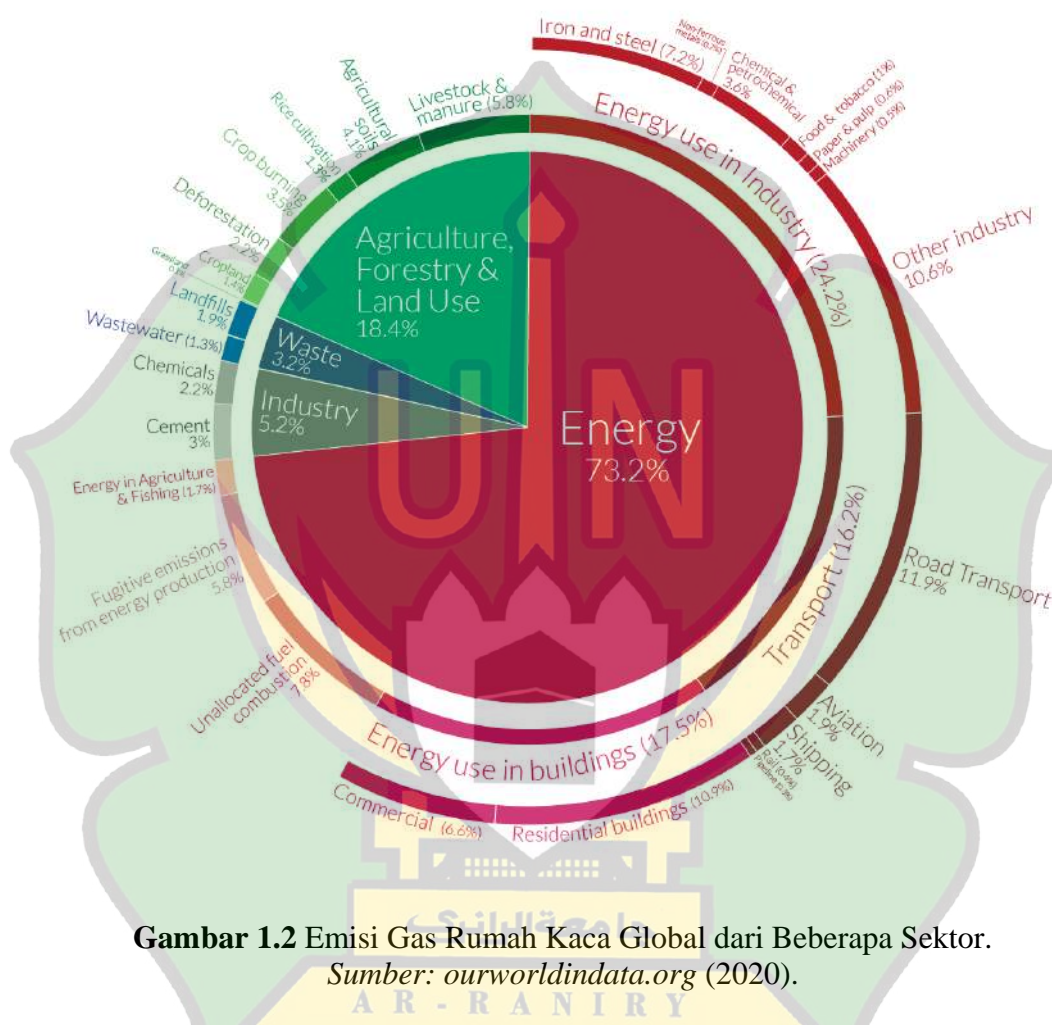
suhu permukaan bumi pada tahun 2023 memecahkan rekor dengan temperatur suhu terpanas sejak dimulai pencatatan suhu pada tahun 1880. Melalui analisa independen yang dilakukan oleh *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) dan *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) mengungkapkan bahwa suhu permukaan bumi dan lautan berada pada 1.36°C pada tahun 2023, dalam 10 tahun terakhir ini merupakan tahun terpanas yang pernah tercatat dalam sejarah.



Gambar 1. 1 Rata-rata Suhu Permukaan Global
Sumber: Climate.nasa(.gov) (2023).

Pembakaran bahan bakar fosil, penebangan hutan dalam skala besar dan kegiatan lainnya menyebabkan pemanasan global. Hal ini dikarenakan jumlah emisi gas rumah kaca lebih banyak daripada yang dapat dihilangkan oleh proses alami, sehingga jumlah gas tersebut meningkat setiap tahunnya (Ramlan, 2002). Menurut *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) ada 6 (enam) jenis gas yang dikelompokkan kedalam Gas Rumah Kaca (GRK), yaitu Karbon Dioksida (CO_2), Dinitrogen Monoksida (N_2O), Metana (CH_4), Sulfur Heksafluorida (SF_6), Perfluorokarbon (PFCs), dan Hidrofluorokarbon (HFCs) (Kementrian ESDM, 2017). Pada Gambar 1.2 menampilkan emisi yang

dihasilkan secara global dari berbagai sektor dan proses yang berkontribusi terhadap emisi global. Untuk mengatasi perubahan iklim tidak ada solusi tunggal yang hanya berfokus pada satu sektor saja, melainkan seluruh sektor harus memiliki solusi dalam menanggulangi perubahan iklim.



Gambar 1.2 Emisi Gas Rumah Kaca Global dari Beberapa Sektor.
 Sumber: *ourworldindata.org* (2020).

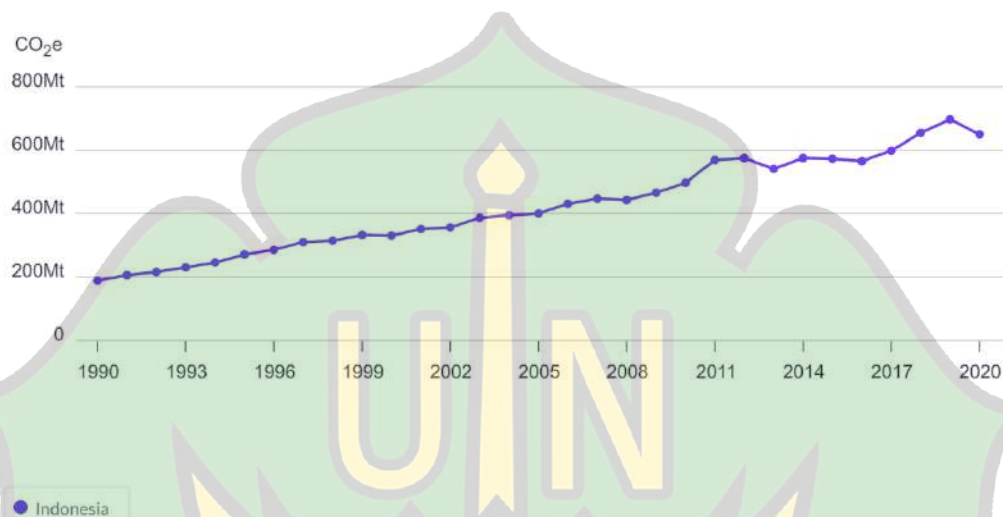
Pemerintah Indonesia melalui Undang-undang No. 16 Tahun 2016 Tentang Pengesahan Persetujuan Paris atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa mengenai Perubahan Iklim, pada pasal 2 ayat 3 menyatakan bahwa *Nationally Determined Contribution* (NDC) merupakan komitmen nasional bagi penanganan perubahan iklim global dalam rangka mencapai Persetujuan Paris. Dengan komitmen Pemerintah Indonesia dalam pengurangan emisi GRK sebesar 29% dengan usaha sendiri dan 41% dengan bantuan

Internasional pada tahun 2030 yang akan dicapai antara lain melalui sektor kehutanan, energi termasuk transportasi, limbah, proses industri dan penggunaan produk, dan pertanian. Selanjutnya pada Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 98 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon Untuk Pencapaian Target Kontribusi Yang Ditetapkan Secara Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca Dalam Pembangunan Nasional, pengurangan emisi GRK 29% merupakan target penurunan emisi GRK sebesar 834 (delapan ratus tiga puluh empat) juta ton CO_{2e} dengan usaha sendiri, dan 41% target penurunan emisi GRK 1,185 (seribu seratus delapan puluh lima) juta metrik ton CO₂ ekuivalen. Pengurangan emisi GRK utamanya didukung oleh pengendalian emisi dari sektor kehutanan untuk menjadi penyimpanan atau penguatan karbon pada tahun 2030, melalui pendekatan *carbon net sink* dari sektor kehutanan dan penggunaan lahan pada tahun 2030.

Perubahan terhadap target NDC Indonesia tertuang pada dokumen *Enhanced Nationally Determined Contribution Republic Of Indonesia 2022*, yang menunjukkan pengurangan emisi GRK dengan usaha sendiri sebesar 31,89% dan 43,2% dengan bantuan Internasional. Perubahan target NDC tersebut disempurnakan untuk menuju transisi target NDC kedua Indonesia yang akan disandingkan dengan kebijakan *Long-Term Low Carbon and Climate Resilience Strategy* (LTS-LCCR) 2050, dengan visi dari kebijakan ini untuk mencapai *Net Zero Emission* pada tahun 2060 atau lebih cepat. Penyelenggaraan target NDC dilakukan pada enam sektor yaitu: sektor energi, limbah, proses industri dan penggunaan produk, pertanian dan kehutanan.

Emisi GRK sektor energi pada tahun 2019 sebesar 638.452 metrik ton CO₂ ekuivalen, dapat dilihat pada Gambar 1.3. Penyumbang emisi terbesar dari kategori bidang energi secara berturut-turut adalah industri produsen energi (43,83%), transportasi (24,64%), industri manufaktur dan konstruksi (21,46%), dan sektor lainnya (4,13%). Pada kategori industri produsen energi, emisi yang dihasilkan pada tahun 2019 sebanyak 279.863 metrik ton CO₂ ekuivalen yang berasal dari tiga subkategori, yaitu pembangkit listrik, kilang minyak dan pengolahan batubara. Pada ketiga subkategori tersebut penyumbang emisi terbesar

adalah pembangkit listrik dengan persentase 97,22%, kemudian diikuti oleh kilang minyak dan pengolahan batubara. Peningkatan rata-rata emisi industri produsen energi sebesar 7,13% per tahun, hal ini disebabkan oleh peningkatan konsumsi bahan bakar rata-rata sebesar 4,8% per tahun untuk memenuhi kebutuhan permintaan energi (Inventarisasi Emisi GRK Bidang Energi tahun, 2019).



Gambar 1.3 Histori Emisi Gas Rumah Kaca Indonesia Sektor Energi.
Sumber: Climate Watch, 2023.

Isu lingkungan dan energi yang semakin mendesak dalam beberapa dasawarsa terakhir telah memicu peningkatan kebutuhan akan alat bantu perencanaan energi yang lebih baik. Perangkat lunak perencanaan energi pun bermunculan sebagai respons atas kebutuhan ini. Pengembangan perangkat lunak tersebut melibatkan berbagai kalangan, mulai dari kalangan akademis yang memiliki keahlian dalam bidang energi hingga pelaku usaha yang melihat potensi bisnis di sektor ini. Beberapa contoh perangkat lunak yang populer digunakan dalam perencanaan energi adalah LEAP, EnergyPLAN, Energy Costing Tool, ENPEP, Homer, RETScreen, dan masih banyak lagi (Suhono, 2010).

Menurut Santika (2021) pada penelitiannya yang berjudul "Mencapai Target Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca Yang Lebih Ambisius di Indonesia", *Low Emission Analysis Platform* (LEAP), sebuah perangkat lunak yang dikembangkan oleh *Stockholm Environment Institute* (SEI), merupakan alat yang umum

digunakan untuk melakukan kajian dan proyeksi terhadap permintaan energi, sistem kelistrikan, serta emisi gas rumah kaca. Hasil penelitian yang dilakukan, terdapat tiga skenario yang digunakan menghasilkan jumlah emisi GRK yang berbeda. Pada skenario acuan jumlah emisi GRK yang dihasilkan sebesar 1225,6 megaton CO₂ ekuivalen pada tahun 2030, hal ini dikarenakan pada skenario acuan masih didominasi oleh pembangkit listrik dengan berbahan bakar fosil. Kemudian pada skenario optimasi, emisi GRK cenderung lebih rendah yakni sebesar 844,76 megaton CO₂ ekuivalen karena didominasi oleh pembangkit listrik dengan energi terbarukan, sedangkan pada skenario ketiga yaitu Rencana Usaha Energi Nasional (RUEN) menghasilkan emisi GRK sebesar 1090,56 megaton CO₂ ekuivalen pada tahun 2030.

Berdasarkan Perusahaan Listrik Negara (PLN) dalam Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2021-2030, pada tahun 2020 pertumbuhan akan permintaan energi listrik di Provinsi Aceh sebesar 2.938 GWh atau tumbuh 5,6% dan pertumbuhan pelanggan sebesar 1.557 pelanggan atau tumbuh 4,3%. Sistem tenaga listrik di Provinsi Aceh terdiri dari sistem interkoneksi 150 kV Sumbagut dan sistem *isolated* dengan tegangan distribusi sebesar 20 Kv. Sebagian besar sistem tenaga listrik Provinsi Aceh disuplai dengan sistem interkoneksi 150 kV Sumatera dan untuk di pulau terpisah disuplai dengan sistem *isolated*. Pada tahun yang sama, jumlah kapasitas pembangkit listrik yang berada di Provinsi Aceh dengan sistem interkoneksi dan juga *isolated* mencapai 769,8 MW yang disuplai energi fosil dan juga energi terbarukan.

Dari uraian di atas, maka dilakukan penelitian mengenai prakiraan terhadap emisi gas rumah kaca dan juga prakiraan permintaan energi listrik dengan jangkauan cakupan wilayah Provinsi Aceh pada masa yang akan datang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana prakiraan penggunaan energi listrik dengan menggunakan perangkat lunak *Low Emission Analysis Platform* (LEAP) di Provinsi Aceh hingga tahun 2030?
2. Bagaimana prakiraan emisi gas rumah kaca dengan menggunakan perangkat lunak *Low Emission Analysis Platform* (LEAP) di sektor pembangkit energi listrik di Provinsi Aceh hingga tahun 2030?
3. Bagaimana upaya mitigasi yang dapat dilakukan dalam rangka penurunan emisi gas rumah kaca pada sektor energi listrik di Provinsi Aceh?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mendapatkan prakiraan jumlah penggunaan energi listrik di Provinsi Aceh hingga tahun 2030, yang dipengaruhi oleh pertumbuhan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB).
2. Untuk mendapatkan prakiraan jumlah emisi gas rumah kaca dari sektor pembangkit energi listrik di Provinsi Aceh hingga tahun 2030.
3. Untuk memberikan rekomendasi upaya mitigasi yang dapat dilakukan pemerintah Provinsi Aceh dalam penurunan emisi gas rumah kaca dari sektor pembangkit listrik.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian yang telah diuraikan, maka manfaat penelitian yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dengan memprakirakan jumlah kebutuhan energi listrik di Provinsi Aceh pada tahun 2030, pemerintah dapat menyusun atau mengusulkan kebijakan terkait, dalam rangka pemenuhan energi listrik di Provinsi Aceh.

2. Dengan memprakirakan tingkat emisi gas rumah kaca pada tahun 2030, yang dapat menjadi dasar pemerintah Provinsi Aceh dalam menyusun atau merencanakan mitigasi dalam menurunkan emisi gas rumah kaca.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Ruang lingkup penelitian ini hanya fokus pada *supply* dan *demand* energi listrik di Provinsi Aceh.
2. Prakiraan Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dilakukan dengan LEAP dengan menggunakan skenario *Business as Usual* (BaU) dan skenario RUPTL PLN 2021-2030.
3. Kebutuhan energi listrik di Aceh diasumsikan sudah dapat terpenuhi dengan pasokan dari pembangkit yang ada di Aceh.
4. Pembangkit terisolasi (*Isolated Grid*) yang tidak masuk pada jaringan transmisi 150 kV Sumut-Aceh tidak dimasukkan dalam model.
5. Parameter yang diteliti pada simulasi ini dengan LEAP adalah Karbon Dioksida (CO₂), Metana (CH₄) dan Dinitrogen Monoksida (N₂O) sedangkan Karbon Monoksida (CO), Sulfur Dioksida (SO₂) dan Nitrogen Oksida (NO_x) tidak dimasukkan pada simulasi LEAP dikarenakan gas tersebut termasuk kedalam kategori polusi udara.
6. Referensi faktor emisi yang digunakan berasal dari *Intergovernmental Panel On Climate Change* (IPCC) yang telah tersedia pada LEAP.

جامعة الرانيري

A R - R A N I R Y

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Energi dan Sumber Daya Energi

Energi dapat diartikan sebagai kemampuan untuk melakukan kerja atau kegiatan, misalnya seperti sinar matahari (Yulianto, 2020). Energi selalu berasal dari sumber energi, sumber energi sendiri merupakan sesuatu yang dapat menghasilkan energi, baik itu secara langsung maupun melalui proses transformasi atau konversi sehingga menjadi energi. Sebagian dari sumber energi berasal dari sumber daya alam yang meliputi batu bara, gas alam dan minyak bumi (Azhar dan Satriawan, 2018).

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia No. 30 Tahun 2007 Tentang Energi, energi adalah kemampuan untuk melakukan kerja yang dapat berupa panas, cahaya, mekanika, kimia dan elektromagnetika. Sedangkan menurut UU tersebut sumber energi merupakan sesuatu yang dapat menghasilkan energi, baik secara langsung maupun melalui proses konversi atau transformasi. Selanjutnya di dalam UU tersebut didefinisikan juga bahwa sumber daya energi adalah sumber daya yang dapat dimanfaatkan, baik sebagai sumber energi maupun sebagai energi. Menurut (Kahar, 2016) pemanfaatan sumber daya energi dapat dilakukan melalui transformasi dan konversi energi. Transformasi dan konversi energi yang paling aman, mudah serta ekonomis adalah dengan menyalurkan energi dalam bentuk energi listrik. Pada produksi energi listrik, sumber daya energi primer yang dibutuhkan dapat berupa minyak, gas alam, batu bara dan sumber-sumber energi terbarukan seperti matahari, air, biomas dan angin.

2.2 Energi Listrik

Energi listrik adalah jenis energi yang berhubungan dengan arus dan akumulasi elektron. Energi listrik dinyatakan dalam satuan daya dan waktu pemakaiannya, seperti watt-jam, kilowatt-jam, megawatt-jam dan lain sebagainya. Bentuk tansisi energi listrik merupakan aliran elektron, yang biasanya melau

konduktor dari berbagai jenis tertentu. Energi listrik bisa disimpan sebagai energi elektrostatik melalui proses terakumulasinya muatan elektron pada bagian plat kapasitor (Rahmawati, 2020).

Energi listrik merupakan hasil transformasi dan konversi dari berbagai sumber daya energi. Berdasarkan sifat ketersediaannya, sumber daya energi dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu energi terbarukan yang jumlahnya tidak terbatas, seperti energi air, biogas dan matahari serta energi tidak terbarukan yang jumlahnya terbatas, seperti batu bara dan minyak bumi (Harahap, 2019).

2.2.1 Jenis-Jenis Pembangkit Listrik

Pembangkit listrik adalah fasilitas atau sistem yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit listrik dapat menggunakan sumber daya energi yang dapat diperbaharui dan tidak dapat diperbaharui. Tujuan utama dari pembangkit listrik adalah mengubah energi dari sumber daya energi menjadi energi listrik yang dapat digunakan untuk keperluan rumah tangga, industri, komersial dan lainnya. Berikut adalah beberapa jenis beberapa jenis pembangkit listrik:

1. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), sumber daya energi yang dipakai adalah tenaga air. Tidak semua kondisi air bisa dimanfaatkan sebagai sumber daya penghasil listrik, kondisi air yang ideal adalah dimana aliran air memiliki kapasitas aliran serta ketinggian tertentu dari instalasi pembangkit listrik. Semakin besar kapasitas aliran dan ketinggian dari instalasi pembangkit listrik maka semakin besar energi listrik yang dihasilkan. *Hydropower* merupakan energi yang didapat dari air yang mengalir. Pada air terdapat energi potensial, yang selanjutnya aliran air akan jatuh menuju turbin sehingga menjadi energi kinetik. Pemanfaatan aliran air secara terus-menerus digunakan sebagai penggerak turbin, sehingga energi kinetik dikonversikan menjadi energi listrik akibat dari serangkaian proses yang terjadi (Harahap, 2019).
2. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), sumber daya energi yang digunakan beragam, misalnya dapat berupa batubara, minyak atau gas.

Pembangkit listrik tenaga uap mengandalkan energi kinetik dari uap yang dihasilkan dari proses konversi energi primer menjadi energi panas (kalor), selanjutnya energi panas tersebut berpindah menuju air dalam pipa ketel untuk menghasilkan uap panas yang kemudian ditampung dalam drum. Uap panas dari drum ketel dialirkan menuju turbin uap, dari turbin uap inilah energi panas dikonversikan menjadi energi kinetik yang menggerakkan generator dan dari energi kinetik dari turbin uap dikonversikan lagi menjadi energi listrik oleh generator (Lewerissa, 2018).

3. Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG), sumber daya energi yang digunakan adalah diesel, gas cair (LPG) atau biogas. Mekanisme pembangkit listrik tenaga mesin gas sama seperti pembangkit lainnya, sumber daya energi yang digunakan mulanya akan dirubah menjadi energi mekanis melalui proses pembakaran, kemudian energi panas yang dihasilkan diubah melalui proses pada mesin gas untuk menjadi energi mekanik, mesin gas tersebut biasanya memiliki turbin untuk menggerakkan rotor yang terhubung dengan generator. Kemudian energi mekanis dirubah menjadi energi listrik oleh generator (Fitria dkk., 2021).
4. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), sumber daya energi yang digunakan adalah cahaya matahari atau panas matahari. Mekanisme dari pembangkit listrik tenaga surya tidak terlalu kompleks dari pembangkit lainnya. Panas matahari akan di serap oleh *photovoltaic* dan *solar thermal* tergantung tipe PLTS yang dipakai. Sistem *photovoltaic* langsung dapat mengubah tenaga surya menjadi listrik, sedangkan PLTS *solar thermal* mengumpulkan panas matahari untuk memanaskan sejumlah cairan hingga menghasilkan uap, kemudian akan digunakan untuk memutar turbin untuk menghasilkan energi listrik (USAID, 2016).

2.2.2 Faktor Yang Mempengaruhi Tingkat Kebutuhan Energi Listrik

Setiap tahunnya penggunaan energi listrik akan mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan oleh banyaknya aktivitas akan kebutuhan masyarakat yang

harus dipenuhi. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi tingkat kebutuhan energi listrik yaitu sebagai berikut (Koloay dkk., 2018):

1. Faktor Ekonomi

Pertumbuhan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) yang mempengaruhi tingkat kebutuhan energi listrik di suatu negara. PDRB biasanya dibagi menjadi beberapa sektor yaitu sektor komersial (bisnis), sektor industri dan sektor publik. Kegiatan ekonomi pada sektor komersial (bisnis) meliputi sektor listrik, gas, air bersih, bangunan dan konstruksi, perdagangan, transportasi serta komunikasi. Sedangkan kegiatan ekonomi sektor publik meliputi jasa dan perbankan, termasuk lembaga keuangan selain perbankan. Sektor industri meliputi kegiatan industri migas dan infrastruktur.

2. Faktor Pertumbuhan Penduduk

Pertumbuhan penduduk sangat berperan besar terhadap kebutuhan energi listrik selain faktor ekonomi. Jumlah penduduk setiap tahunnya akan mengalami peningkatan dari pada tahun sebelumnya, hal ini terjadi akibat meningkatnya angka pertumbuhan dari pada angka kematian pertahunnya. Sehingga kebutuhan akan energi listrik akan meningkat berbanding lurus dengan angka pertumbuhan penduduk.

3. Faktor Perencanaan Pembangunan Daerah

Berjalannya pembangunan daerah akan dipengaruhi oleh tingkat perekonomian daerah itu sendiri. Dalam hal ini baik secara langsung maupun tidak langsung faktor ekonomi sangat berpengaruh terhadap kebutuhan akan energi listrik seiring dengan berjalannya pembangunan pada suatu daerah.

4. Faktor Lainnya

Adapun selain 3 faktor yang telah diuraikan, faktor lain yang mempengaruhi tingkat kebutuhan energi listrik adalah luas bangunan konsumen, tingkat pekerjaan, jumlah anggota keluarga dan lain-lain. Namun faktor tersebut hanya berpengaruh dalam kajian yang lebih spesifik

dari masing-masing sektor tarif dan bukan dalam skala yang besar (makro).

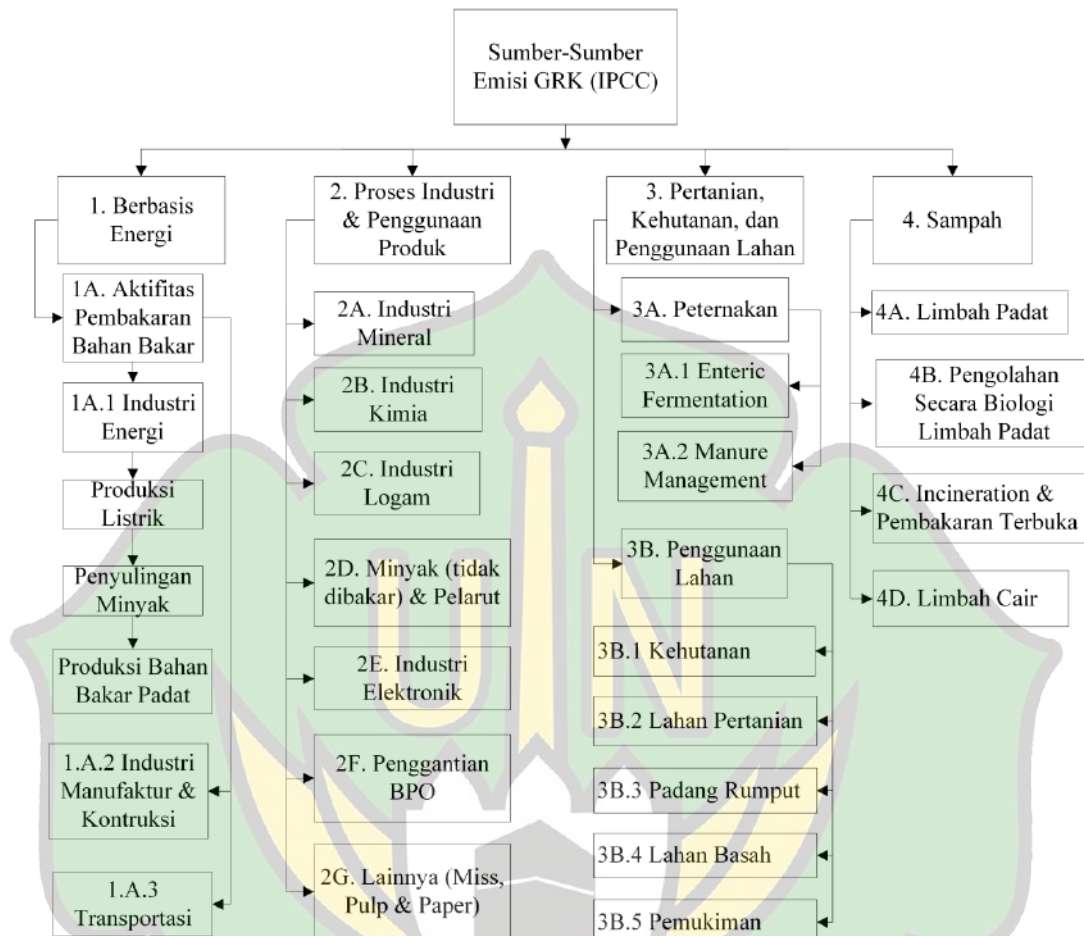
2.3 Emisi Gas Rumah Kaca

Gas rumah kaca adalah suatu gas yang sangat berperan dalam fenomena pemanasan global. Gas rumah kaca menyebabkan energi dari sinar matahari tidak dapat dipantulkan keluar bumi dan sebagian besar gelombang inframerah yang dipancarkan dari bumi akan tertahan oleh awan dan gas-gas tersebut akan kembali ke permukaan bumi (Rahmawati, 2020). Fenomena pemanasan global terjadi dikarenakan berlebihnya emisi gas berbahaya yang dihasilkan dari aktivitas manusia, hal tersebut akan mengakibatkan rusaknya lapisan ozon bumi yang berefek kepada pantulan cahaya matahari (sinar ultraviolet) yang tidak dapat tersaring sehingga berdampak kepada kehidupan manusia, hewan, tumbuhan dan ekosistem bumi. Gas rumah kaca yang terperangkap di atmosfer adalah karbon dioksida (CO_2), Methana (CH_4), Dinitrogen Monoksida (N_2O), *Hydroflourokarbon* (HFCs), *Perluorokarbon* (PFCs) dan *Sulfur Heksaflorida* (SF_6) (Dewi dan Sihombing, 2017).

2.3.1 Sumber-Sumber Emisi Gas Rumah Kaca

Emisi gas rumah kaca berasal dari alam dan berbagai macam aktivitas manusia seperti transportasi, energi dan lain sebagainya. Permasalahan emisi gas rumah kaca menyangkut dua aspek yaitu pengurangan emisi dari sumber emisi dan potensi serapan gas rumah kaca. Berdasarkan *Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC) guidelines* (2006), sumber emisi gas rumah kaca terdiri dari empat bagian, rincian sumber emisi tersebut dapat dilihat pada gambar 2.1. Kemudian Berdasarkan Peraturan Presiden No. 98 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon Untuk Pencapaian Target Kontribusi Yang Ditetapkan Secara Nasional dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca Dalam Pembangunan Nasional, sumber emisi gas rumah kaca terbagi menjadi enam sektor yaitu sektor pertanian, sektor kehutanan dan lahan gambut, sektor transportasi, sektor energi, sektor industri dan sektor

pengelolaan limbah. Detail emisi berdasarkan Peraturan Presiden dapat dilihat pada Gambar 2.2.

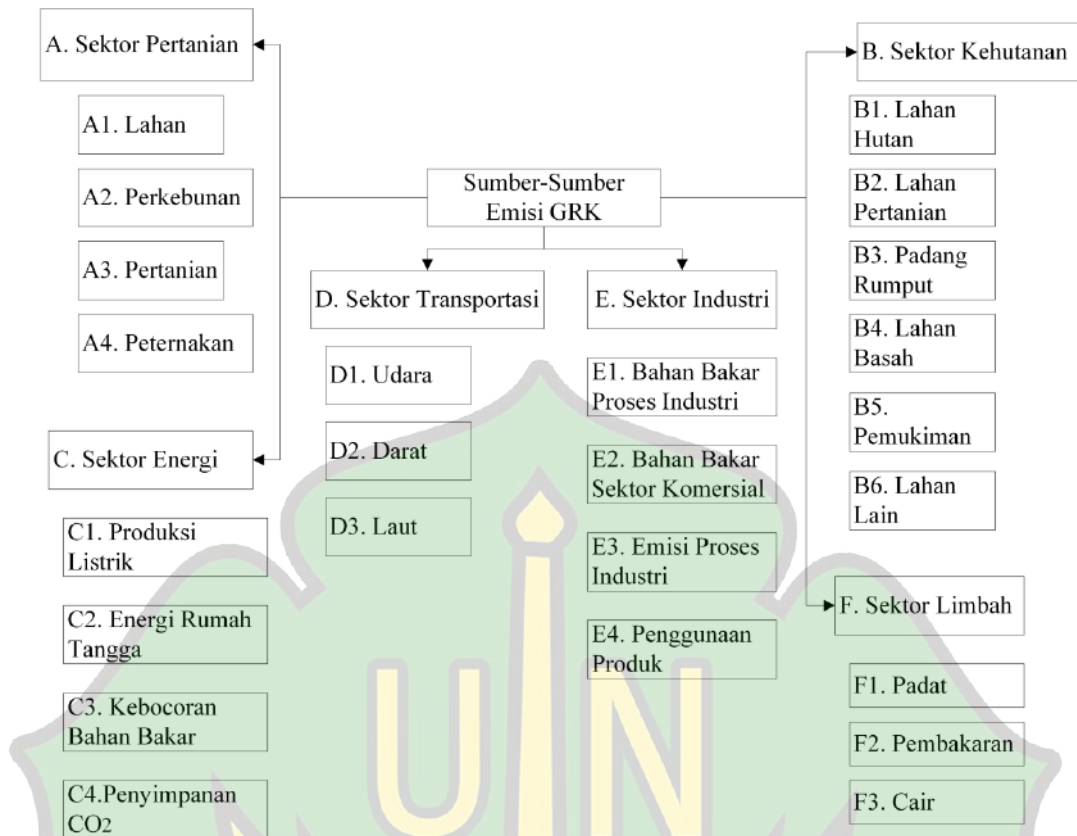


Gambar 2.1 Sumber Emisi GRK Berdasarkan IPCC Guidelines.

Sumber: Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC) guidelines (2006).

جامعة الرانري

AR - RANIRY



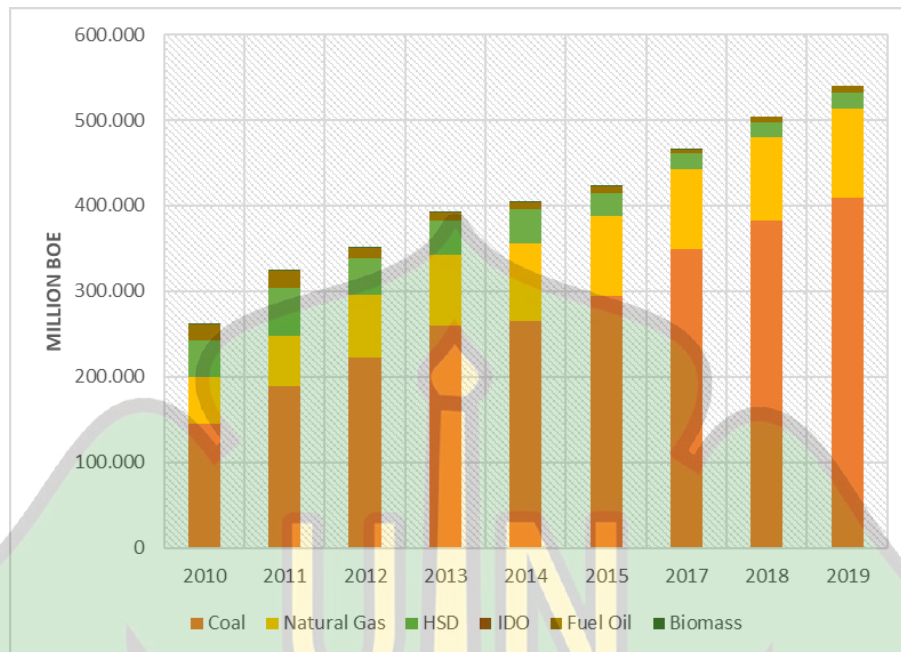
Gambar 2.2 Sumber GRK Berdasarkan Peraturan Presiden No. 98 Tahun 2021.

2.3.2 Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Energi Listrik

Sumber emisi gas rumah kaca dari sektor energi listrik berasal dari produksi energi listrik, yang dihasilkan dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG) dan lainnya. Volume konsumsi bahan bakar pada pembangkit listrik mempengaruhi jumlah emisi yang dihasilkan, hal ini dikarenakan membutuhkan masukan (*input*) bahan bakar dengan jumlah yang besar untuk memproduksi energi (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2013).

Sejak tahun 2010 hingga 2019 konsumsi bahan bakar untuk pembangkit listrik didominasi oleh batu bara, dengan jumlah konsumsi sebesar 55,12% pada tahun 2010 menjadi 76,22% pada tahun 2019, grafik pemakaian bahan bakar dapat dilihat pada gambar 2.3. Ini membuktikan bahwasannya Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) memiliki peran penting dalam

memasok energi listrik kepada masyarakat. (Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2020):



Gambar 2.3 Konsumsi Bahan Bakar Pada Pembangkit Listrik
 Sumber: Dokumen Inventarisasi Emisi GRK Bidang Energi (2020).

2.4 Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Energi

Emisi gas rumah kaca pada sektor energi dibagi menjadi dua kategori yaitu emisi dari pembakaran bahan bakar dan emisi *fugitive*. Emisi pembakaran bahan bakar merupakan oksidasi bahan bakar secara sengaja dengan tujuan untuk menyediakan panas, sedangkan emisi *fugitive* adalah emisi gas rumah kaca yang secara tidak sengaja terlepas ke udara hasil dari kegiatan produksi dan penyediaan energi (Yudha, 2019). *Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC)* pada tahun 2006 menerbitkan paduan inventarisasi gas rumah kaca sektor energi dengan judul *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 2*. Pada paduan tersebut menjelaskan bahwa terdapat tiga pembagian metode perhitungan emisi gas rumah kaca berdasarkan tingkat ketelitiannya atau disebut dengan *tier*, yaitu sebagai berikut:

1. *Tier 1*: Perhitungan dilakukan berdasarkan data aktivitas dan faktor emisi *default IPCC*.

2. *Tier 2*: Perhitungan dilakukan berdasarkan data aktivitas yang lebih akurat dan faktor emisi *default* IPCC atau faktor emisi spesifik suatu negara, atau pabrik.
3. *Tier 3*: Perhitungan dilakukan berdasarkan metode spesifik suatu negara dengan data aktivitas yang lebih akurat (pengukuran diukur secara langsung) dan faktor emisi spesifik suatu negara atau suatu pabrik.

Sistem *tier* menggambarkan tingkatan ketelitian dan keakuratan dalam perhitungan emisi gas rumah kaca. Pada setiap tingkatan *tier* terdapat perbedaan kualitas, keakuratan, dan ketidakpastian data. Semakin tinggi *tier* yang digunakan maka semakin akurat hasil perhitungan emisi gas rumah kaca, namun hal ini harus didukung dengan data yang lebih detail dan akurat. Perhitungan emisi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan IPCC *tier 1* sebagai berikut:

$$ECO_2 = DA \times FE \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

E : Emisi GRK (ton)

DA : Data Aktivitas (TJ)

FE : Faktor Emisi (ton/TJ)

Data aktivitas adalah volume bahan bakar yang dibakar secara sengaja untuk keperluan energi dan bukan bahan baku proses. Sementara itu data aktivitas sumber emisi yang berasal dari pembangkit listrik adalah jumlah volume konsumsi bahan bakar yang digunakan. Sedangkan Faktor emisi merupakan nilai koefisien yang menghubungkan banyaknya suatu polutan yang dilepaskan ke atmosfer dari suatu kegiatan yang menghasilkan polutan (Desionasista, M. 2020).

Berikut Tabel 2.1 tentang faktor emisi bahan bakar sektor energi listrik:

Tabel 2.1 Faktor Emisi Bahan Bakar Sektor Energi Listrik.

Jenis Bahan Bakar	Faktor Emisi (Kg CO ₂ /TJ)
<i>Natural Gas</i>	56100
<i>Sub Bituminous</i>	94600
<i>Gas oil</i>	74100
<i>Residual Fuel Oil</i>	77400
<i>Diesel Oil</i>	74100

Sumber: IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 2006.

Dalam penghitungan emisi GRK pada sektor energi terdapat dua pendekatan yang bisa dilakukan yaitu sebagai berikut:

1. Pendekatan Sektoral (*Sectoral Approach*)

Pendekatan sektoral adalah metode untuk mengidentifikasi sumber utama emisi gas rumah kaca dengan cara mengelompokkan aktivitas manusia ke dalam sektor-sektor tertentu. Dengan mengetahui sektor mana yang paling banyak berkontribusi terhadap emisi, sehingga dapat menyusun kebijakan yang lebih efektif untuk mengurangi emisi tersebut.

2. Pendekatan Referensi (*Reference Approach*)

Pendekatan Referensi adalah cara menghitung emisi dengan fokus pada jenis bahan bakarnya. Tidak seperti Pendekatan Sektoral yang melihat emisi berdasarkan aktivitas, Pendekatan Referensi lebih melihat dari sisi pasokan bahan bakar dan penggunaannya secara umum.

2.5 Perhitungan Prakiraan Permintaan Kebutuhan Energi Listrik

Prakiraan permintaan kebutuhan energi listrik dilakukan dengan menghitung besarnya aktivitas pemakaian energi per aktivitas (intensitas pemakaian energi) dan juga menghitung efisiensi energi (elastisitas konsumsi energi) (Adiputra dkk., 2018; Masus ddk., 2019). Untuk penjelasan lebih lanjut sebagai berikut (Djohar dan Musarudin, 2017) (Afdhol, 2020) :

A. Intensitas Energi

Intensitas energi adalah rasio antara konsumsi energi total dengan output yang dihasilkan. Konsep ini digunakan untuk mengukur efisiensi

penggunaan energi. Semakin rendah nilai intensitas energi, semakin efisien proses produksi atau aktivitas tersebut. Rumus umum untuk menghitung intensitas energi sebagai berikut:

$$\text{Intensitas energi} = \frac{\text{Konsumsi Energi}}{\text{Pengguna energi}} \dots\dots\dots(2)$$

B. Elastisitas Energi

Elastisitas energi adalah hasil perbandingan pertumbuhan konsumsi energi dengan pertumbuhan ekonomi (produk domestik regional bruto). Semakin rendah angka elastisitas energi, maka akan semakin efisien pemanfaatan energinya. Indonesia memiliki angka elastisitas energi lebih dari 1, sedangkan elastisitas rata-rata pada negara maju berada di angka 0,5 hal ini terjadi dikarenakan pertumbuhan ekonomi di Indonesia paling tinggi mencapai 5% per tahun dan pertumbuhan konsumsi listrik sebesar 6% per tahunnya. Untuk menghitung elastisitas energi dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Elastisitas Energi} = \frac{\text{Pertumbuhan Konsumsi Energi}}{\text{Pertumbuhan Ekonomi (PDRB)}} \dots\dots\dots(3)$$

C. Perhitungan Pertumbuhan

Rumus pertumbuhan intensitas energi listrik, pertumbuhan penduduk, produk domestik regional bruto, dan penjualan energi. Nilai rata-rata dari pertumbuhan yang telah dicari tersebut akan digunakan dalam simulasi. Berikut persamaan yang digunakan untuk mencari nilai rata-rata pertumbuhan (*growthrate*):

$$\text{Pertumbuhan tahun } n = \frac{\text{Tahun Berlaku} - \text{tahun sebelumnya}}{\text{Tahun sebelumnya}} \times 100\% \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{Rata-rata} = \frac{\text{Jumlah data pertumbuhan}}{\text{Tahun sebelumnya}} \times 100\% \dots\dots\dots(5)$$

Pertumbuhan total dilakukan dengan menggunakan persamaan yang sama namun dengan turunan persamaan 4 dan 5. Sehingga untuk menghitung pertumbuhan total maka digunakan turunan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Pertumbuhan Total Tahun} = \left(\sqrt[4]{\frac{\text{Data Tahun Akhir}}{\text{Data Tahun Awal}}} - 1 \right) \times 100 \dots \dots (6)$$

D. Perhitungan Validasi Data Manual

Validasi data dilakukan agar data yang didapatkan terbukti secara akurat dan tepat. Berikut persamaan yang digunakan untuk melakukan validasi data manual:

$$\text{Nilai Tahun N} = \text{Tahun(N-1)} + (\text{Tahun(N-1)} \times \text{Pertumbuhan}) \dots \dots (7)$$

2.5.1 Jenis Prakiraan Energi Listrik

Ada beberapa jenis prakiraan energi listrik yang bisa dilakukan, hal ini dipengaruhi oleh jangka waktu, dan berdasarkan sifatnya. Jika berdasarkan jangka waktunya, maka prakiraan energi listrik terbagi menjadi tiga, yaitu sebagai berikut (Harahap, 2019):

1. Prakiraan Jangka Panjang

Prakiraan dilakukan untuk melihat gambaran besar kebutuhan listrik dalam waktu lebih dari setahun, perhitungan terhadap pertumbuhan ekonomi secara keseluruhan perlu dilakukan yaitu PDRB.

2. Prakiraan Jangka Menengah

Prakiraan jangka menengah ini lebih fokus pada apa yang bisa dilakukan dalam satu tahun ke depan. Kemampuan perusahaan dalam membangun jaringan listrik baru atau meningkatkan efisiensi pembangkit sangat penting dalam perencanaan ini.

3. Prakiraan Jangka Pendek

Prakiraan jangka pendek ini sangat detail untuk melihat kebutuhan listrik dalam hitungan hari atau minggu. Untuk itu perlu diketahui banyaknya pasokan listrik dan paling banyak yang dibutuhkan dalam periode ini, dan biasanya angka ini sudah diperkirakan berdasarkan prakiraan jangka panjang.

Namun berdasarkan sifatnya, prakiraan teradapat dua macam, yaitu (Dwiyoko dkk., 2020):

a. Prakiraan Kualitatif

Prakiraan kualitatif lebih bersifat subjektif, artinya hasil prakiraan bisa berbeda-beda tergantung pada pendapat orang yang membuat prakiraan tersebut. Hal ini karena hasil yang didapat berdasarkan pengetahuan serta pengalaman.

b. Prakiraan Kuantitatif

Prakiraan kuantitatif lebih objektif, karena menggunakan data angka-angka yang bisa diukur. Namun, akurasi prakiraan tetap bergantung pada metode yang digunakan dan seberapa relevan data yang digunakan.

ketidakpastian akan selalu ada dalam setiap prakiraan, terutama untuk jangka waktu yang panjang. Semakin jauh ke depan, semakin banyak faktor yang bisa mempengaruhi hasil akhir, sehingga sulit untuk memprediksi dengan sangat akurat.

2.5.2 Metode Pendekatan Prakiraan Energi Listrik

Dalam merencanakan prakiraan apapun, tentunya memiliki metode yang harus digunakan. Untuk perencanaan prakiraan energi listrik ada beberapa metode pendekatan yang bisa digunakan, pendekatan tersebut terdiri dari metode pendekatan *trend*, Ekonometri dan *End use* yang akan dijelaskan sebagai berikut (Rajagukguk dkk., 2015):

1. Pendekatan Ekonometri

Metode pendekatan ini menggunakan data ekonomi seperti PDB untuk memprediksi kebutuhan listrik. Kelebihannya tidak perlu data yang terlalu

banyak. Namun hasilnya tidak terlalu detail untuk melihat teknologi yang digunakan.

2. Pendekatan *Trend*

Pendekatan ini melihat tren penggunaan listrik di masa lalu untuk memprediksi masa depan. Kelebihannya, datanya sederhana akan tetapi tidak dapat melihat perubahan dasar dalam teknologi atau ekonomi.

3. Pendekatan *End Use*

Pendekatan ini lebih detail, mempertimbangkan teknologi yang digunakan dan melihat efisiensi energi. Pendekatan ini biasanya untuk memprediksi perubahan penggunaan energi secara detail dan juga teknologi yang digunakan.

2.6 Potensi Sumber Energi Primer di Aceh

Berdasarkan Qanun Aceh No. 4 Tahun 2019 Tentang Rencana Umum Energi Aceh, potensi sumber daya mineral yang ada di Aceh meliputi mineral dan batu bara, minyak dan gas bumi (migas), panas bumi, dan air tanah, dapat dilihat pada Tabel 2.2. Disamping itu potensi sumber energi primer di Provinsi Aceh untuk pembangkit listrik terdiri dari air, panas bumi, minyak bumi, gas dan batu bara. Potensi untuk besaran cadangan atas minyak bumi, gas bumi dan batubara di wilayah Provinsi Aceh sebagaimana disajikan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.2 Potensi Minyak dan Gas Bumi Aceh

Jenis	1P (<i>Proven</i>)	2P (<i>Probable</i>)	3P (<i>Possible</i>)
Minyak Bumi (MMSTB*)	55,42	80,60	80,62
Gas Bumi (BSCF**)	959,49	1.277,09	1.306,46

Sumber: Qanun No.4 Tahun 2019

Tabel 2.3 Potensi Sumber Daya Batubara

Kabupaten	Jumlah (Juta Ton)
Aceh Jaya	24
Nagan Raya	90,1
Aceh Singkil	11,8
Aceh Barat	350,9
Total Potensi Sumber Daya Batubara	476,8

Sumber: Qanun No.4 Tahun 2019.

Sementara itu menurut Rencana Umum Pelaksanaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2021-2030, diperkirakan potensi sumber tenaga air mencapai 5.062 MW yang tersebar di wilayah Provinsi Aceh. Potensi panas bumi yang dapat dimanfaatkan sebagai energi pembangkit listrik diperkirakan sebesar 980 MW yang tersebar. Kemudian potensi minyak bumi yang dimiliki adalah 115 *Milion Stock Tank Barrels* (MMTSB) dan untuk gas bumi yang dimiliki adalah 115 *Billion Cubic Feet* (BCF), sementara itu untuk potensi dari sumber energi primer batubara di Provinsi Aceh adalah sebesar 476,8 juta ton.

2.7 Kapasitas Pembangkit Terpasang di Provinsi Aceh

Berdasarkan dokumen Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2021-2030, jumlah pembangkit listrik dengan kapasitas besar yang ada di Provinsi Aceh sebanyak enam unit, berikut spesifikasi pembangkit listrik pada Tabel 2.4:

Tabel 2.4 Jenis Pembangkit Terpasang

Jenis Pembangkit Listrik	Lokasi	Jenis Energi	Kapasitas (MW)
PLTMG	Kota Lhokseumawe	Gas Alam	240
PLTMG Arun (LNG)	Kota Lhokseumawe	Gas Alam	180
PLTA Peusangan I	Kab. Aceh Tengah	Air	45
PLTU	Kab. Nagan Raya	Batu Bara	220
PLTBm	Kota Langsa	Biomass	10
PLTBg	Kab. Aceh Tamiang	Biogas	3
Total			698

Sumber: RUPTL 2021-2030

2.8 Rencana Pembangkit Listrik Yang Akan Dibangun di Aceh

Dalam pemenuhan suplai kebutuhan energi listrik di masa yang akan datang, Perusahaan Listrik Negara (PLN) telah merencanakan pengembangan pembangkit listrik pada setiap Provinsi. Berdasarkan RUPTL 2021-2030, pengembangan pembangkit listrik untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Pembangkit Listrik *Ongrid* Yang Direncanakan Hingga 2030

Nama Sistem Tenaga Listrik	Jenis Pembangkit	Lokasi>Nama Pembangkit	Kapasitas (MW)	Status	Pengembang
Sumatera	PLTU	Nagan Raya	2x200	Konstruksi	PLN
Sumatera	PLTA	Peusangan II	43,0	Konstruksi	PLN
Sumatera	PLTA	Kumbih-3	45,0	Committed	PLN
Sumatera	PLTP	Seulawah Agam	110	Perencanaan	IPP

Sumber: RUPTL 2021-2030.

Pengembangan pembangkit listrik Energi Baru Terbarukan (EBT) juga turut direncanakan dalam RUPTL. Pada Provinsi Aceh potensi pembangkit yang bisa diterapkan sesuai dengan kebutuhan sistem tenaga listrik Sumatra yang disajikan pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Potensi Pembangkit Listrik Provinsi Aceh

Jenis Pembangkit	Lokasi	Kapasitas (MW)
PLTA	Lawe Alas	151
	Gumpang	19
	Kla	12
	Lae Suraya	240
	Woyla 5	56
	Jambu Aye	140
	Kleut 1	180
	Leuteung	14,7
	Peusangan IV	120
	Radelong	18
	Samarkilang	76,8

	Tampur 1	443
	Teunom 3	240
	Tripa	52
	Tripa 1	48
	Tripa 2	114,2
	Tripa 3	142
	Cinendang	75,5
	Peusangan V-B	13
	Batee	100
	Meurebo 3	100
	Woyla 1	174,9
	Jagong Jeget	41
	Meurobo	38
	Teunom 3	135
	Meurebo 2	59
	Kleut 2	120
	Kreung Meriam	48
PLTM	Ketol A	10
	Luwe Gurah	4,5
	Teunom	10
	Tembolon (Bidin 2)	3,1
	Lawe Mamas	9,6
	Kemerleng Uning	6,0
	Lhok Pineung	5,1
	Lawe Bulan	6,5
	Kerpap	2,2
	Subulussalam	7,4
	Bener Meriah	7,5
	Mangku Sosial	7,2
	PLTP	Seulawah Agam (FTP2) #1
G. Geureudong		50
Jaboi (FTP) #3		80
Seulawah Agam (FTP2) #2		55

	Gunung Kembar	110
	Lokop	40
PLTBm	Simeulue	3,5
PLTS	Simeulue	2
PLTBm	Penanggalan	10
	Subulussalam	10
PLTBn Hybrid	Sinabang	5
PLTBm + PLTS Hybrid	Deudap	0,25
	Seurapung	0,25
PLTB	Pembangkit Angin (tersebar)	148

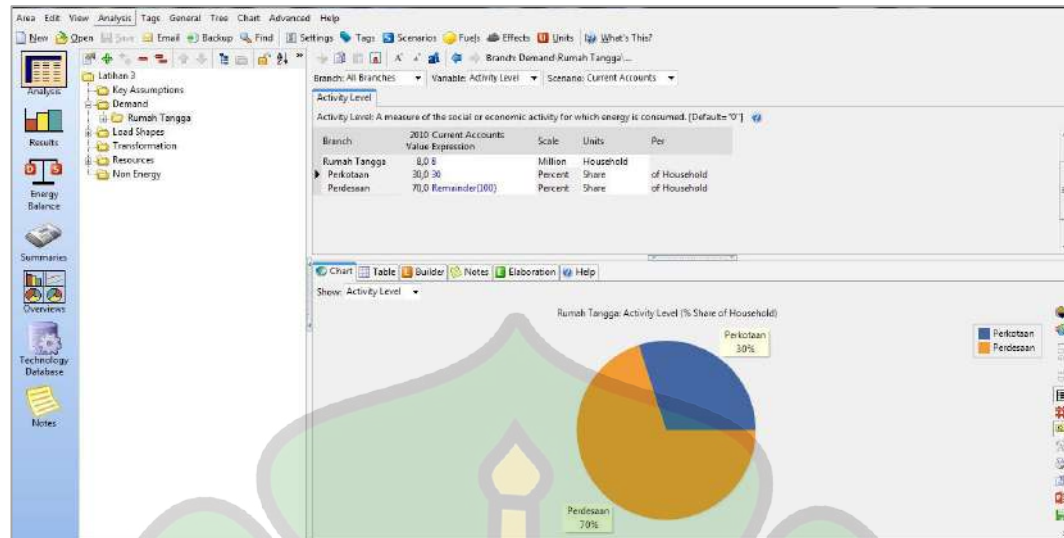
Sumber: RUPTL 2021-2030.

2.9 Low Emission Analysis Platform (LEAP) Model

Low Emission Analysis Platform (LEAP) merupakan sebuah perangkat lunak yang bisa digunakan untuk melakukan analisis, evaluasi dan perencanaan kebutuhan energi. *Developer* perangkat ini dikembangkan oleh Stockholm Enviroment Institute (SEI), berkantor pusat di Boston Amerika Serikat. Perangkat lunak ini diluncurkan pada tahun 1981 dan untuk versi LEAP dengan sistem operasi windows dirilis pada tahun 2000, sembilan belas tahun sejak perilisan pertama.

LEAP adalah sebuah alat yang sangat berguna untuk membuat berbagai skenario tentang penggunaan energi. Perangkat lunak ini dirancang sedemikian rupa sehingga bisa dengan mudah membuat, mengedit, dan mengelola data. LEAP menampilkan informasi dalam bentuk diagram seperti pohon yang bisa diatur sesuai dengan keinginan pengguna. Setiap perubahan data yang dimasukkan akan langsung terlihat pada diagram dan tabel ringkasan energi, serta juga bisa membuat laporan dalam bentuk grafik atau tabel untuk melihat hasil sesuai dengan keinginan pengguna.

2.9.1 Bagian- Bagian LEAP



Gambar 2.4 Tampilan Perangkat Lunak LEAP

Terdapat beberapa *tools* pada tampilan LEAP, yaitu sebagai berikut (Williams, 2020):

1. *Area*, merupakan suatu daerah yang sedang dikaji dapat berupa negara atau juga wilayah.
2. *Current Accounts*, merupakan data yang menggambarkan tahun awal dari jangka waktu prakiraan.
3. *Scenario*, merupakan asumsi mengenai kondisi pada masa depan.
4. *Tree*, merupakan diagram yang memberikan gambaran terhadap model yang di buat dan terdiri atas beberapa *Branch*.
5. *Branch*, merupakan cabang bagian dari *tree*. *Branch* utama terdiri dari empat bagian, yaitu *Key Assumptions*, *Demand*, *Transformation*, dan *Resources*. Masing-masing *Branch* utama merupakan modul untuk melakukan prakiraan energi.
6. *Expression*, merupakan formula matematis untuk menghitung perubahan nilai suatu variabel yang akan muncul pada saat membuat suatu skenario.
7. *Saturation*, yaitu perilaku suatu variabel yang dibagi nilainya dengan *branch* yang lain.

8. *Share*, merupakan perilaku suatu variabel yang nilainya tidak dibagi dengan *branch* yang lain.

LEAP beroperasi berdasarkan skenario dan model untuk membuat berbagai tentang bagaimana energi diproduksi, jenis bahan bakar, dan teknologi yang digunakan. LEAP akan menghitung seberapa banyak energi yang dibutuhkan dan bagaimana energi tersebut digunakan oleh masyarakat. Selain itu, LEAP juga bisa digunakan untuk memprediksi dampak dari kebijakan energi baru terhadap pasokan, permintaan, ekonomi, dan lingkungan.

Terdapat empat modul utama yang bisa digunakan dalam pengoperasian LEAP, yaitu modul Variabel Penggerak, Modul Permintaan (*Demand*), Modul Transformasi (*Transformation*) dan Modul Sumber Daya Energi (*Resources*). Keempat modul tersebut memiliki peran atau fungsi masing-masing, berikut penjelasannya (Kementerian ESDM, 2013):

1. Modul Variabel Penggerak (*Key Assumptions*)

Modul ini berfungsi sebagai penyedia data dasar yang akan digunakan dalam perhitungan-perhitungan selanjutnya. Data-data seperti jumlah penduduk, pendapatan daerah, dan jumlah rumah tangga sangat penting untuk menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi permintaan dan penggunaan energi.

2. Modul Permintaan (*Demand*)

Modul ini digunakan untuk menghitung total permintaan energi dengan cara melihat langsung pada pengguna akhir energi di setiap sektor. Melalui modul ini, dapat untuk mengetahui secara detail seberapa banyak energi yang dibutuhkan oleh masing-masing sektor dalam suatu wilayah selama periode waktu tertentu.

3. Modul Transformasi

Modul ini berfungsi untuk menghitung jumlah total energi yang tersedia, baik itu energi yang masih dalam bentuk mentah (energi primer) maupun energi yang sudah diolah (energi sekunder). Modul ini juga menjelaskan proses perubahan energi dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Pada modul

ini, untuk perhitungan lebih lanjut diperlukan data teknis transformasi yang meliputi:

- a) Jenis Teknologi dan Sifat Pembebanan
- b) Daya Mampu dan Produksi
- c) Faktor Penurunan Daya Mampu Kapasitas Teknologi (*Derating*)
- d) Faktor Kapasitas Maksimum (MCF)
- e) Efisiensi
- f) Faktor Beban (*Load Factor*)

4. Modul Sumber Daya Energi

Modul ini sudah menjadi *default* dari perangkat lunak LEAP. Modul ini terdiri dari *Primary* dan *Secondary Resources*, cabang dalam modul *Resources* akan muncul dengan sendirinya sesuai dengan jenis-jenis energi yang dimodelkan dalam modul Transformation.

2.9.2 Skenario

Dalam penggunaan LEAP terdapat skenario yang digunakan dalam melakukan prakiraan. Skenario merujuk kepada dasar perhitungan pertumbuhan konsumsi penggunaan energi dengan melihat kebijakan ataupun kemungkinan-kemungkinan yang bisa saja terjadi pada kurun waktu yang direncanakan (Insani dkk., 2019). Prakiraan emisi gas rumah kaca sektor energi listrik dan permintaan energi listrik dilakukan dengan menggunakan skenario *Business as Usual* (BaU). Skenario BaU merupakan asumsi pertumbuhan emisi gas rumah kaca dan permintaan energi tanpa adanya perubahan ataupun kebijakan pemerintah yang dapat merubah laju pertumbuhan diantara keduanya (Nasri, 2015).

Skenario RUPTL PLN 2021 - 2030 merupakan skenario pengembangan sistem tenaga listrik pada wilayah usaha PLN. Skenario ini digunakan pada modul Transformasi pada LEAP untuk perubahan suplai energi listrik pada tiap pembangkit yang direncanakan sampai dengan akhir tahun prakiraan.

2.10 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.7 Penelitian Terdahulu

Penulis	Judul	Hasil
Nyarko dkk, 2023	Greenhouse Gas (GHG) Emissions Reduction in The Electricity Sector: Implications of Increasing Renewable Energy Penetration in Ghana's Electricity Generation Mix	<p>Permintaan akan energi listrik meningkat dari 10.129,0 GWh di tahun 2016 menjadi 24.151,4 GWh di tahun 2030. Permintaan energi listrik kumulatif sebesar 237.570,5 GWh dapat dipenuhi pada keempat skenario dengan total kapasitas pembangkit listrik yang terpasang sebesar 3.749,6 MW.</p> <p>Emisi GRK dengan skenario BaU meningkat secara kumulatif menjadi 52.545,2 ribu MtCO₂ eq pada tahun 2030, namun menurun menjadi 46.178,3 ribu MtCO₂eq dengan skenario 10%, 41.603,2 ribu MtCO₂eq dengan skenario 20% dan 38.332,2 ribu MtCO₂eq dengan skenario 30%, skenario ini disebut dengan penetrasi energi terbarukan.</p> <p>Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan energi terbarukan dapat mengarah pada pencapaian dan pengurangan emisi GRK secara substansial dapat mengurangi dampak perubahan iklim.</p>
Maheen dkk, 2023	Quantitative Analysis of Carbon Dioxide Emission Reduction Pathways: Towards Carbon Neutrality In China's Power Sector	<p>Penelitian ini mengkaji kebijakan yang diterapkan negara Cina dalam menurunkan emisi gas rumah kaca dari sektor energi. Menurut temuan studi ini, pengurangan emisi berdasarkan kebijakan yang ada saat ini masih jauh dari target netralitas karbon untuk sektor pembangkit listrik di Cina.</p> <p>Untuk mencapai tujuan pengurangan emisi, operasi pembangkit listrik harus ditingkatkan agar dapat mencapai puncaknya lebih awal dengan penurunan yang lebih cepat dan agresif.</p> <p>Alternatif yang bisa dilakukan untuk operasi pada pembangkit listrik adalah menghentikan secara bertahap pembangkit listrik berbahan bakar batu bara dan memperluas sumber energi non-fosil dan energi terbarukan, serta</p>

		<p>melakukan penelitian dan penerapan teknologi <i>Carbon Capture and Storage (CSS)</i> dan <i>Bioenergy with Carbon Capture and Storage (BECCS)</i> pada sektor pembangkit listrik.</p> <p>Penelitian ini menunjukkan bahwa pengurangan emisi gas rumah kaca dari pembangkit listrik dapat dicapai dengan menghentikan secara bertahap pembangkit listrik berbahan bakar fosil dan memperluas pembangkit EBT serta menerapkan teknologi CSS dan BECCS pada sektor pembangkit listrik untuk menekan emisi yang dihasilkan.</p>
Ren dkk, 2022	<p>Research on Regional Low-Carbon Development Path Based on LEAP model: Taking the Ling-gang Special Area as an Example</p>	<p>Berdasarkan perkembangan ekonomi dan sosial, serta faktor sumber daya yang ada di Kawasan Khusus Ling-gang, model LEAP digunakan sebagai alat penelitian untuk menganalisis konsumsi energi dan emisi karbon dari tahun 2021 hingga 2060 dengan skenario tiga skenario yaitu skenario baseline, skenario rendah karbon, dan skenario rendah karbon yang ditingkatkan.</p> <p>Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa selama tahun 2020-2025 pertumbuhan emisi karbon tumbuh lebih cepat yang dipengaruhi oleh sejumlah industri baru, pertumbuhan populasi yang cepat, dan pertumbuhan Produk Domestik Bruto (PDB) yang signifikan dalam lima tahun sebelumnya. Dengan skenario baseline, total emisi karbon akan terus tumbuh pada tingkat tinggi hingga tahun 2035 dan akan tetap konstan pada tahun berikutnya. Dengan skenario rendah karbon, total emisi karbon akan mencapai puncaknya sekitar tahun 2035. Dengan menggunakan skenario rendah karbon yang ditingkatkan, total emisi karbon secara signifikan lebih rendah dari pada dua skenario sebelumnya, dan mencapai puncaknya pada tahun 2030 sejalan dengan target nasional, kemudian secara bertahap menurun.</p>

		<p>Emisi pada tahun 2060 lebih rendah dari tingkat tahun acuan, dan tujuan netralitas karbon Kawasan Khusus dapat dicapai melalui penyerapan karbon. Hal ini terutama disebabkan oleh substitusi energi bersih, yang secara efektif dapat mengurangi emisi karbon regional dengan alasan memenuhi pertumbuhan permintaan energi yang cepat. Selain itu, analisis kontribusi pengurangan emisi untuk berbagai langkah kebijakan menunjukkan bahwa substitusi energi hijau memberikan kontribusi paling besar, diikuti oleh peningkatan efisiensi energi dan elektrifikasi.</p> <p>Dari penelitian ini diketahui bahwa pertumbuhan emisi karbon dipengaruhi oleh pertumbuhan populasi dan PDB. Agar dapat mengurangi emisi karbon perlu dilakukan substitusi energi bersih secara luas, peningkatan efisiensi energi dan rasio elektrifikasi dalam memenuhi kebutuhan permintaan energi.</p>
Ugwoke dkk, 2021	Low Emission Analysis Platform Model For Renewable Energy: Community-scale Case In Negeria	<p>Dengan menggunakan pendekatan integrasi hibrid dengan model <i>Low Emissions Analysis Platform</i>, studi ini menyelidiki implikasi untuk mentransformasi masyarakat pedesaan ke pasokan energi berbasis energi terbarukan yang berkelanjutan dan secara kuantitatif menganalisis integrasi strategi berdasarkan empat skenario: skenario referensi dan tiga skenario manajemen sisi permintaan komposit.</p> <p>Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa emisi pada kedua desa akan meningkat terlepas dari skenario yang digunakan. Hal ini sebagian besar disebabkan oleh peningkatan daya yang diproduksi oleh pembangkit listrik dikarenakan jumlah permintaan energi. Setelah tahun 2030, emisi kumulatif menjadi stabil karena peningkatan penerapan sistem PV surya dalam campuran pasokan energi. Dengan skenario gabungan akan menghasilkan</p>

		<p>pengurangan emisi dalam kisaran 0,3-16% lebih rendah dari pada skenario REF pada tahun 2040. Skenario manajemen sisi permintaan 3 akan memberikan pengurangan GRK terbesar, dengan emisi sebesar 6.111 dan 2.083 metrik ton CO₂ ekuivalen pada tahun 2040 untuk desa Onye-okpon dan desa Giere.</p> <p>Dari penelitian yang dilakukan diketahui bahwa jumlah emisi yang dihasilkan oleh produksi energi listrik pada pembangkit dipengaruhi oleh jumlah permintaan energi listrik pada suatu kawasan. Dengan meningkatkan kapasitas daya energi terbarukan pada pembangkit akan menyebabkan pengurangan emisi gas rumah kaca pada suatu kawasan.</p>
Amo-Aidoo dkk, 2022	Solar Energy Policy Implementation in Ghana: A LEAP Model Analysis	<p>Program mitigasi perubahan iklim global saat ini tidak dapat memenuhi target Perjanjian Paris, dan situasi Ghana tidak terkecuali. Oleh karena itu, ada peningkatan kebutuhan untuk intensifikasi program penyebaran energi terbarukan dengan penekanan pada energi surya, karena merupakan sekitar 90% dari kapasitas pembangkitan energi terbarukan yang terpasang di Ghana. Studi ini menunjukkan bagaimana kebijakan energi terbarukan yang tepat dapat mendorong pengembangan energi surya di Ghana.</p> <p>Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan tiga skenario yaitu, skenario <i>Business-As-Usual</i> (BAU), skenario <i>Low Transition Supply</i> (LT), Skenario <i>Moderate Transition Supply</i> (MT) dan skenario <i>Visionary Transition Supply</i> (VT).</p> <p>Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa skenario <i>Business-as-Usual</i> (BaU) tidak dapat memenuhi target yang ditetapkan dalam rencana induk energi terbarukan. Dengan skenario <i>Low Transition</i>, <i>Moderate Transition</i> dan <i>Visionary</i> akan terjadi peningkatan transisi energi surya masing-masing sebesar 5%, 10%,</p>

		<p>dan 15%. Sejalan dengan masalah lingkungan dengan pembangkitan listrik, energi surya mengurangi emisi karbon dibandingkan dengan pembangkitan listrik tenaga termal. Yang terpenting, skenario emisi pasokan visioner menghasilkan 80,8% lebih sedikit emisi karbon dan menghasilkan 15% lebih banyak tenaga surya.</p> <p>Sebagai perbandingan, skenario pasokan Business-as-usual dengan skenario visioner akan mengimbangi lebih dari 13 juta metrik ton CO₂ pada tahun 2030. Hal ini akan membantu negara mencapai kontribusinya dalam menjaga kenaikan suhu global di bawah 2°C.</p>
--	--	---



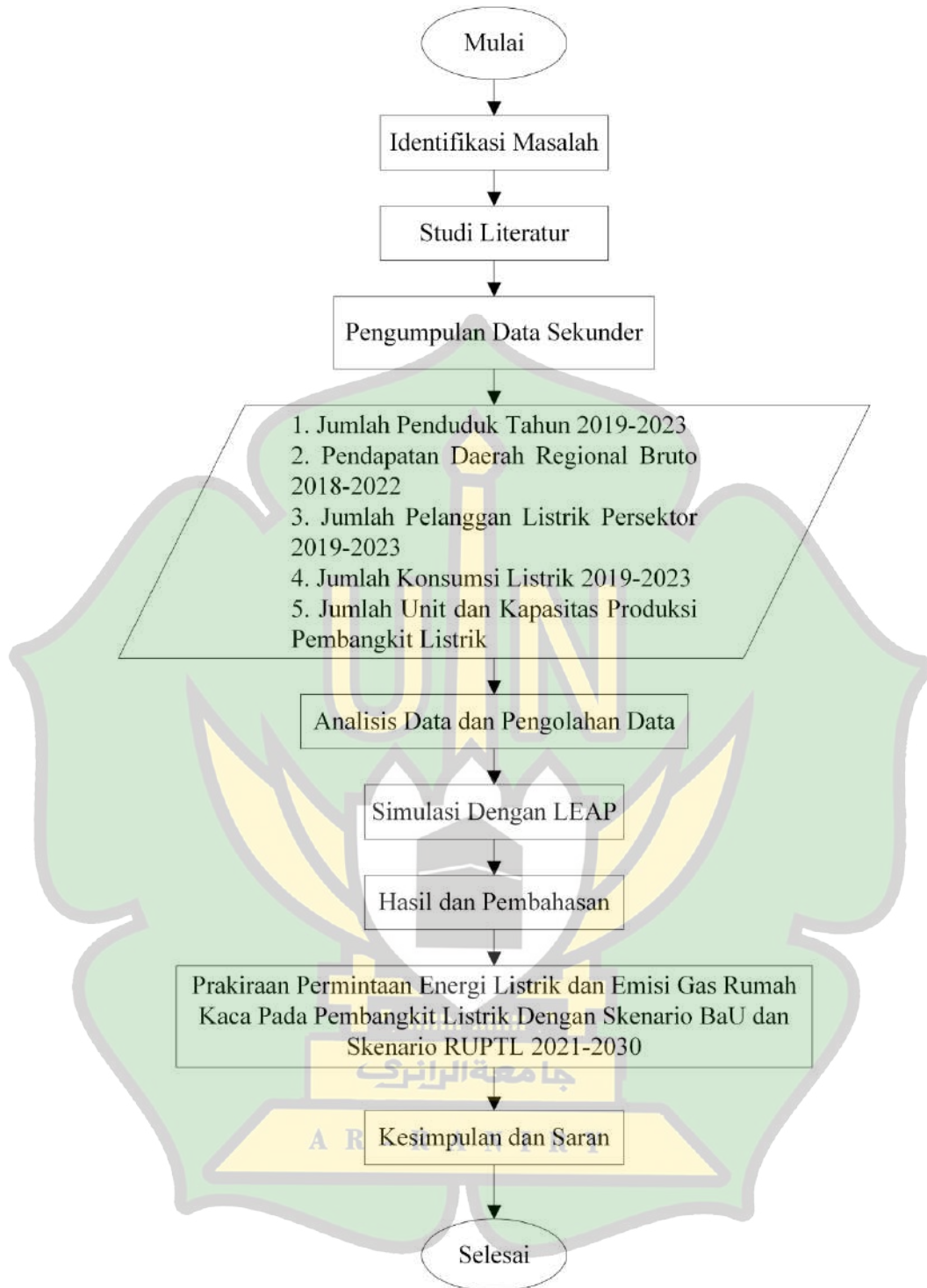
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Umum Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan sebagaimana yang disajikan pada diagram alir pada Gambar 3.1. Tahapan tersebut dapat dirinci sebagai berikut:

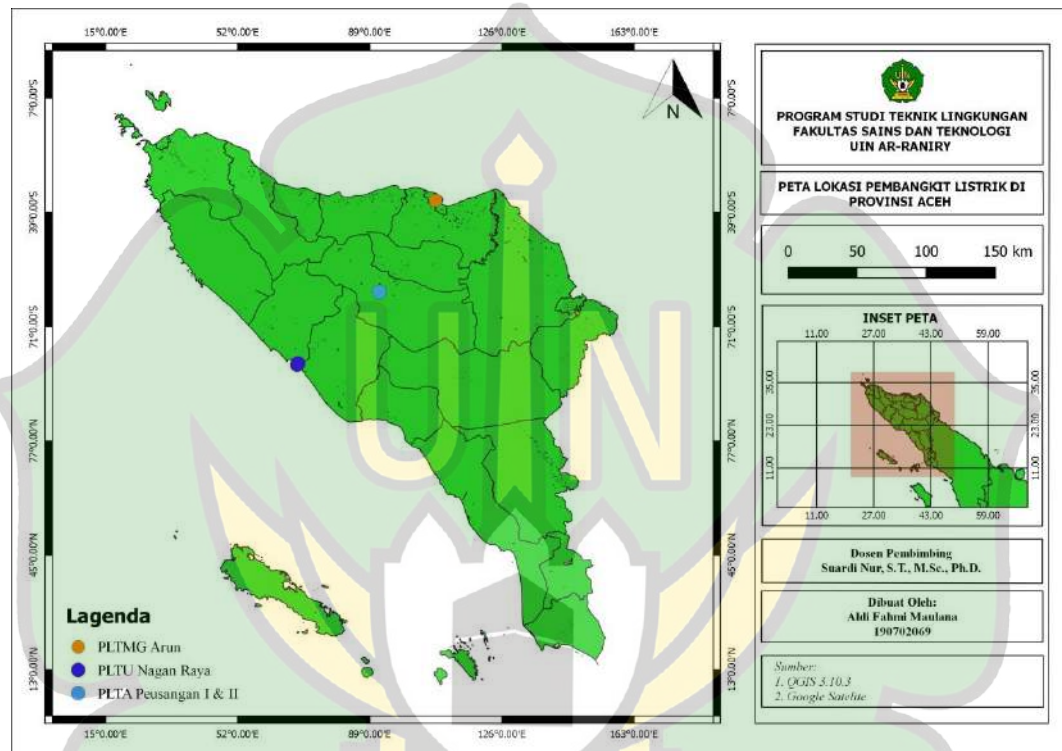
1. Studi literatur merupakan tahap awal yang dilakukan untuk mencari sumber informasi dari penelitian yang berkaitan seperti jurnal, buku, dokumen dan lainnya.
2. Rumusan masalah, merupakan tahapan suatu permasalahan yang dijadikan sebagai perhatian utama dan menjadi tujuan utama dari penelitian.
3. Pengumpulan data, adalah tahapan untuk melakukan pengamatan terhadap data objek penelitian yaitu, Pendapatan Daerah Regional Bruto (PDRB), konsumsi energi listrik, jumlah kapasitas terpasang dan jenis pembangkit listrik di Provinsi Aceh dari hasil pengumpulan data sekunder.
4. Melakukan simulasi dengan perangkat lunak LEAP, tahapan untuk mengetahui jumlah permintaan energi listrik dan juga jumlah emisi gas rumah kaca (GRK) dari pembangkit listrik hingga tahun 2030 dengan menggunakan skenario BaU dan RUPTL 2021-2030.
5. Analisa data, tahapan dari hasil data yang didapatkan pada tahapan simulasi.
6. Kesimpulan dan saran merupakan hasil dari semua tahapan.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Lokasi Pembangkit Listrik Di Provinsi Aceh

Penelitian ini akan dilakukan dalam cakupan ruang lingkup Provinsi Aceh, lebih tepatnya akan fokus pada pembangkit listrik yang berada di wilayah Provinsi Aceh yang tersebar di beberapa wilayah, diantaranya adalah Kota Lhokseumawe, Kab. Nagan Raya dan Kab. Aceh Tengah. Sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 3.2 sebagai berikut:



Gambar 3. 2 Peta Lokasi Pembangkit Listrik

3.3 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Alat dan Bahan Penelitian

No	Nama Alat	Spesifikasi	Fungsi
1	Laptop	Intel(R) Core (TM) i3-2350M CPU @ 2.30GHz, RAM 2 GB, 32-bit Operating System, Windows 7 Profesional	Digunakan untuk melakukan simulasi, dan pengolahan data.

2	<i>Low Emission Analysis Platform (LEAP)</i>	LEAP <i>verssion</i> 2020.1.103: 9/6/2023.	Perangkat lunak untuk melakukan simulasi emisi gas rumah kaca dan perbandingan persentase PLTU dan PLTMG dengan pembangkit yang akan dibangun.
3	Microsoft Word	Microsoft Office 2010	Untuk menulis dan menyusun tugas akhir.
4	Alat Tulis	Kertas dan Pulpen	Untuk melakukan perhitungan manual terhadap beberapa variabel penelitian.

3.6 Pengumpulan Data

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian kuantitatif. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang dikumpulkan dari dokumen resmi dari instansi pemerintah yang dapat diakses melalui *website* resmi, seperti Perusahaan Listrik Nasional (PLN), dan Badan Pusat Statistik (BPS). Data sekunder yang dikumpulkan dalam melakukan prakiraan emisi gas rumah kaca dan energi listrik antara lain sebagai berikut:

1. Jumlah Penduduk Tahun 2018-2022

Data jumlah penduduk Provinsi Aceh 5 tahun sebelumnya yang didapatkan dari langsung dari *website* BPS Aceh.

2. Jumlah Pertumbuhan Penduduk

Data pertumbuhan penduduk pada setiap tahun, diperoleh dari perhitungan sederhana.

3. Jumlah Pendapatan Daerah Regional Bruto (PDRB)

Data jumlah pendapatan domestik regional bruto Provinsi Aceh yang didapatkan dari *website* BPS Aceh.

4. Jumlah Pertumbuhan PDRB

Data pertumbuhan PDRB yang diperoleh dari perhitungan sederhana.

5. Jumlah Pelanggan Listrik Persektor Pelanggan.

Data statistik jumlah pelanggan listrik per jenis pelanggan yang diakses dari *website* PT.PLN.

6. Jumlah Pertumbuhan Pelanggan Listrik Persektor Pelanggan

Data ini didapatkan dari perhitungan sederhana.

7. Jumlah Unit dan Kapasitas Pembangkit Listrik di Provinsi Aceh

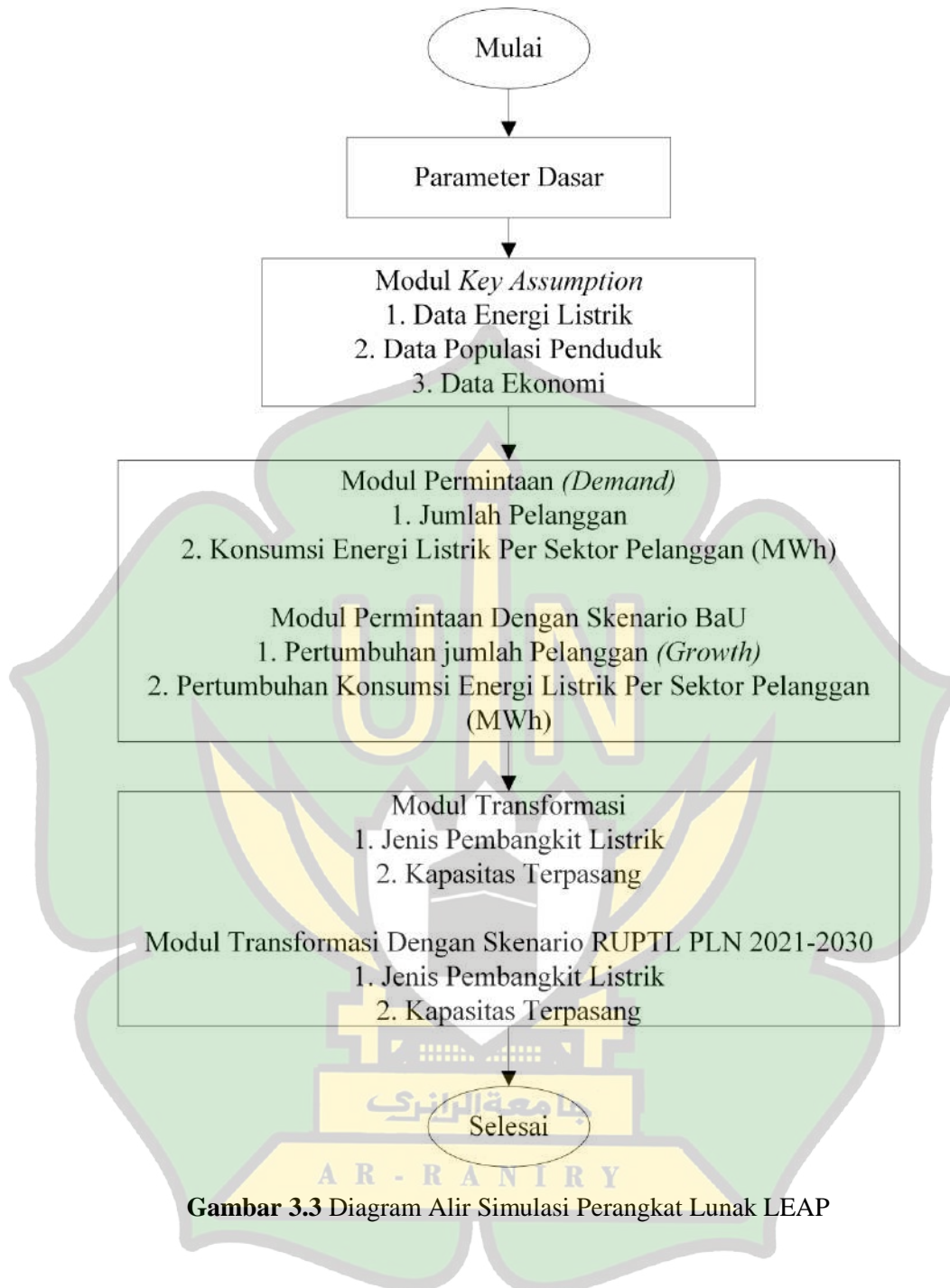
Data jumlah unit dan kapasitas pembangkit yang terpasang di Provinsi Aceh, didapatkan dari dokumen RUPTL 2021 – 2030.

3.7 Pengolahan Data

Dalam pengoprasian perangkat lunak LEAP, data yang didapatkan tidak bisa langsung digunakan dalam untuk melakukan simulasi untuk itu diperlukan pengolahan data. Pengolahan data sebelum di *input* kedalam LEAP adalah melakukan perhitungan terhadap data persentase dari pertumbuhan penduduk, pertumbuhan persentase PDRB, pertumbuhan persentase konsumsi energi listrik, dan pertumbuhan persentase pelanggan energi listrik per sektor pelanggan.

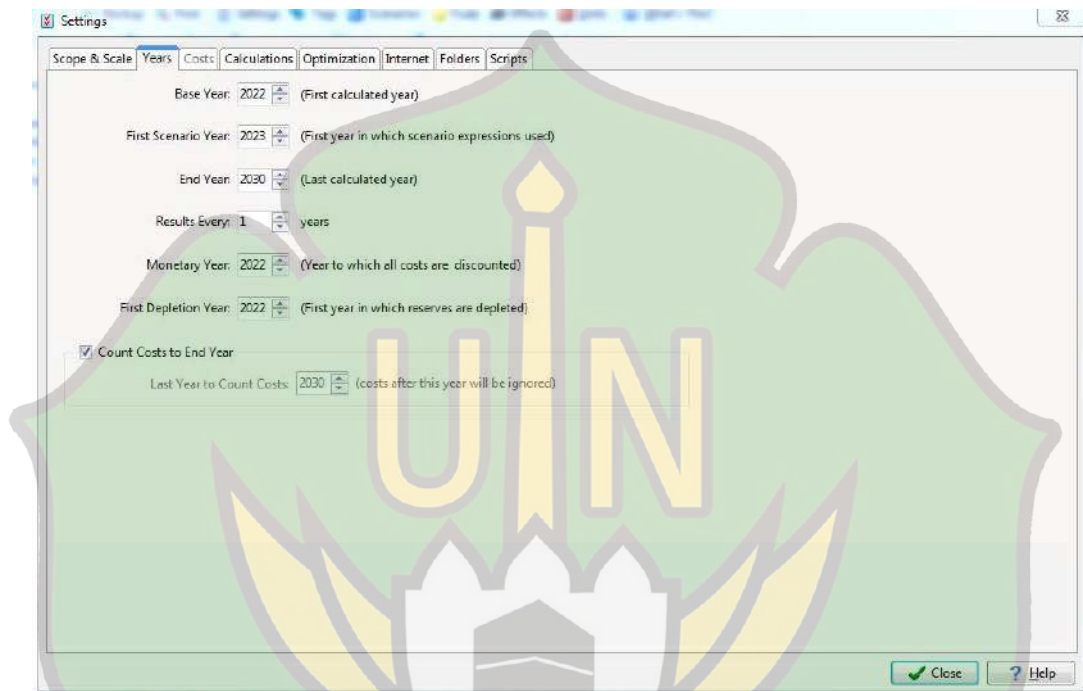
3.8 Simulasi Perangkat Lunak LEAP

Setelah memasukkan data yang diperlukan ke beberapa jenis modul yang digunakan, maka simulasi siap untuk dilakukan. Pada penelitian ini akan dilaksanakan prakiraan dengan menggunakan skenario BaU dan simulasi berdasarkan skenario RUPTL PLN 2021-2030, tahapan simulasi dapat dilihat pada Gambar 3.3. Hasil akhir dari simulasi akan didapatkan nilai prakiraan permintaan energi listrik dengan skenario BaU, beserta dengan prakiraan emisi gas rumah kaca. Sedangkan dengan skenario RUPTL 2021-2030 akan dapat diketahui pembangkit yang mensuplai kebutuhan energi listrik untuk memenuhi kebutuhan pelanggan di masa yang akan datang, selain dari pada PLTU dan PLTMG.



3.8.1 Menentukan Parameter Dasar

Tahap awal dalam melakukan simulasi dengan perangkat lunak LEAP adalah menentukan parameter dasar seperti tahun awal prakiraan, tahun awal skenario dan tahun akhir skenario. Tahun dasar penelitian ini adalah 2023, skenario awal tahun 2024 dan akhir skenario tahun 2030 seperti Gambar 3.4.



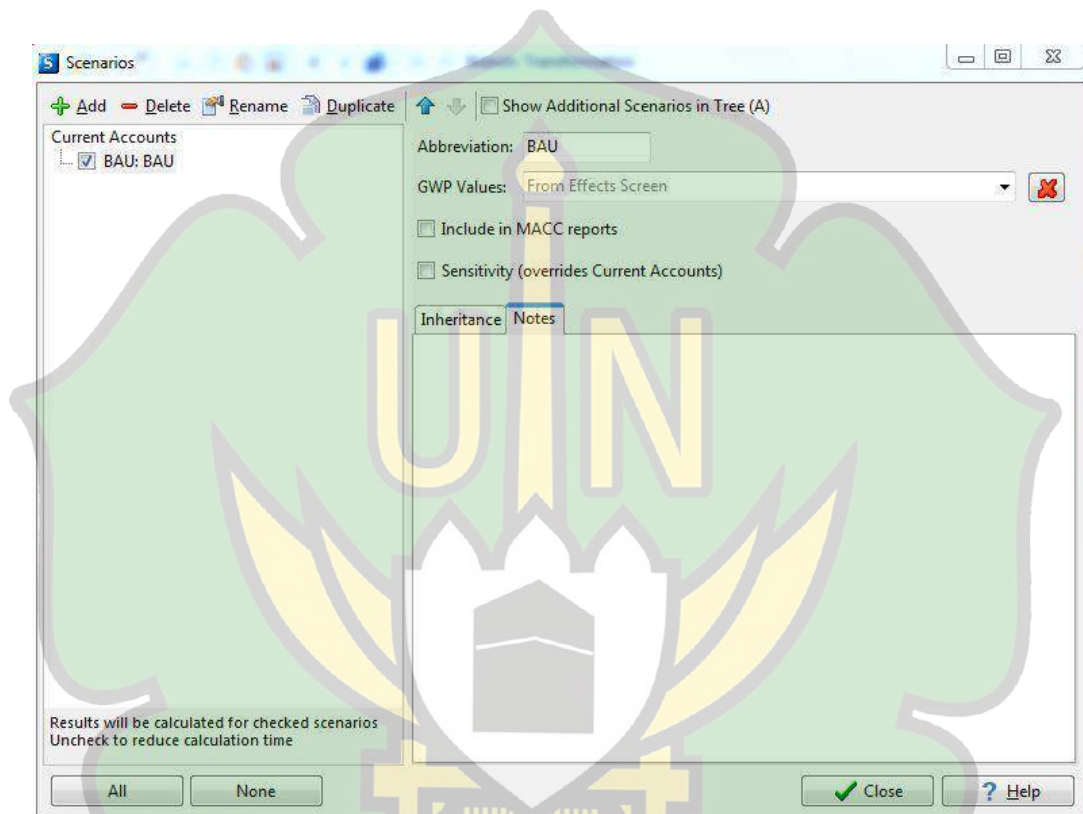
Gambar 3.4 Menentukan Parameter Dasar

3.8.2 Modul *Key Assumption*

Modul asumsi kunci ini berisi data-data awal yang digunakan untuk memprakirakan penggunaan energi. Data-data ini meliputi Intensitas energi per sektor, Jumlah pelanggan per sektor, jumlah penduduk dan pendapatan daerah. Data-data ini akan digunakan sebagai titik awal untuk menghitung kebutuhan energi secara keseluruhan. Kemudian, tahun awal sebagai *base year* yaitu tahun 2023, maka input data tahun 2023 kedalam kolom *expression* untuk masing-masing intensitas energi per sektor dan juga jumlah pelanggan per sektor. Demikian juga untuk data lainnya yang berdasar pada tahun dasar (*base year*).

3.8.3 Skenario *Business as Usual* (BaU)

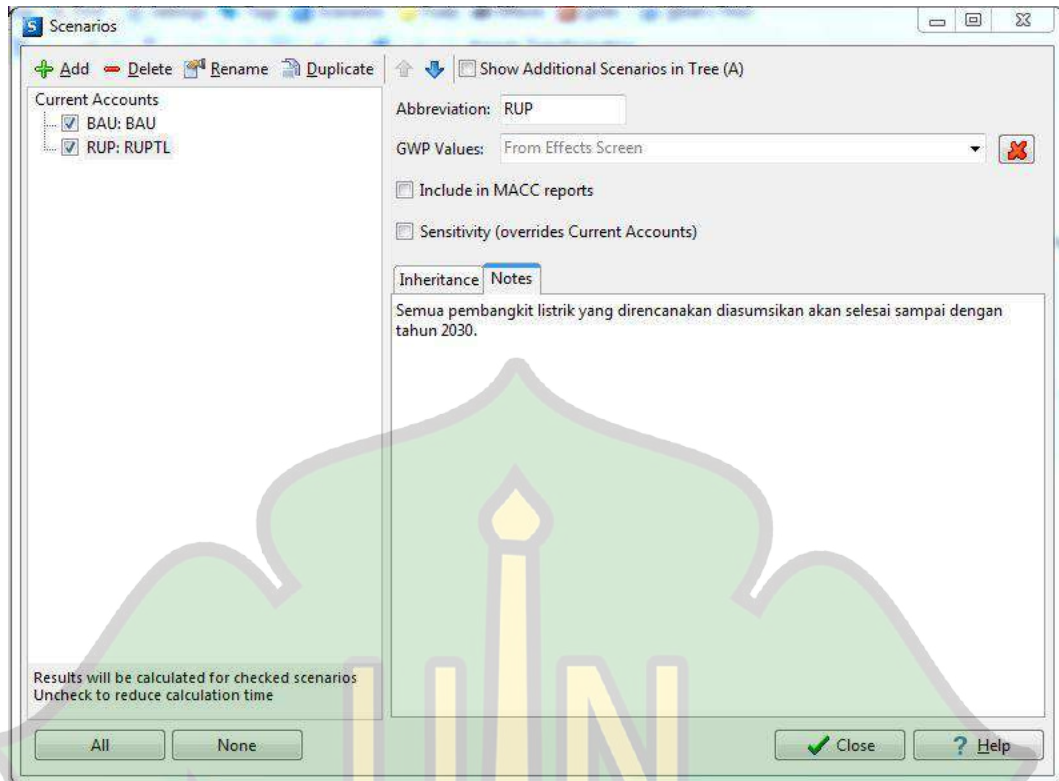
Skenario yang digunakan pada perangkat lunak LEAP untuk penelitian ini adalah skenario BaU, dapat dilihat pada Gambar 3.5. Skenario tersebut merupakan skenario prakiraan dengan anggapan bahwa pertumbuhan akan berjalan sebagaimana pada waktu sebelumnya tanpa adanya perubahan dari kebijakan atau peraturan dari pemerintah.



Gambar 3.5 Membuat Skenario BaU

3.8.4 Skenario Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2021- 2030

Skenario RUPTL 2021-2030 digunakan pada modul transformasi, hal ini dikarenakan skenario tersebut hanya mengacu pada perkembangan pembangkit listrik dalam kurun waktu delapan tahun sesuai dengan dokumen RUPTL 2021-2030 tersebut, dapat dilihat pada Gambar 3.6. Skenario ini bertujuan untuk mengetahui jumlah kapasitas dan emisi yang dihasilkan dari pembangkit listrik yang akan beroperasi sesuai dengan tahun yang telah direncanakan oleh PLN.



Gambar 3. 6 Membuat Skenario RUPTL 2021-2030.

3.8.4 Modul Permintaan (*Demand*)

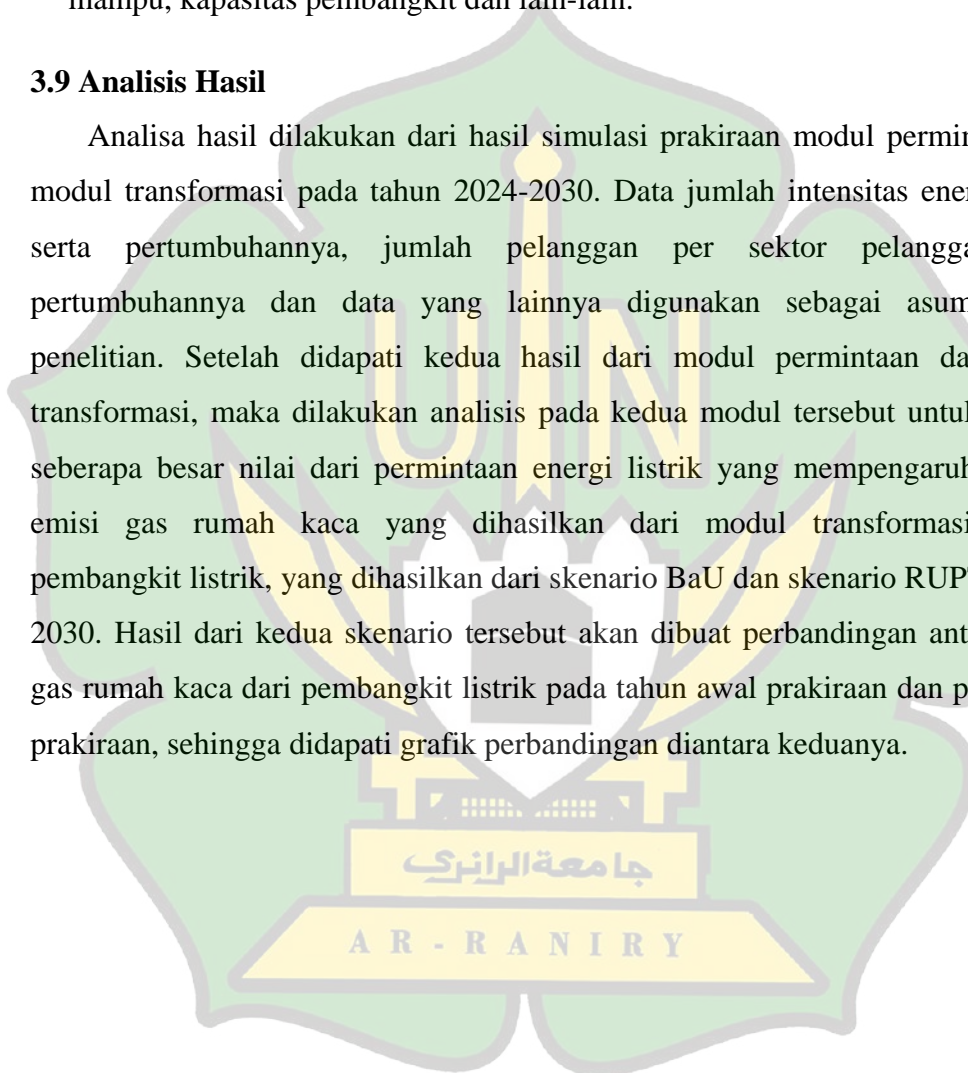
Modul permintaan merupakan modul yang digunakan untuk menghitung jumlah permintaan energi. Pada modul permintaan terdapat 2 variabel yaitu *Activity Level* dan *Final Energy Intensity*. Variabel *Final Energy Intensity* merupakan pemakaian terakhir dari masing-masing pengguna energi. Pada penelitian ini variabel *Final Energy Intensity* didapatkan dengan mengalikan nilai intensitas energi listrik dengan jumlah pelanggan per sektor yang berada pada modul asumsi kunci (*Key Assumption*). Untuk mengalikan kedua asumsi kunci tersebut, dapat di isi pada kolom *expression* pada variabel *Final Energy Intensity* sebagai berikut: $key\backslash\text{Pelanggan} [\text{Pelanggan}] * key\backslash\text{Intensitas energi (sektor)} [\text{kWh/Pelanggan}]$.

3.8.5 Modul Transformasi

Modul ini berfungsi untuk menghitung jumlah *supply* energi. Cabang yang digunakan berada di bawah cabang *transformassion and distribution*, yaitu pembangkit listrik (*electricity generation*). Pada cabang tersebut data yang perlu dimasukkan adalah data *supply* energi saat ini dan dimasa yang akan datang. Data yang perlu dimasukkan adalah jenis teknologi pembangkit, daya mampu, kapasitas pembangkit dan lain-lain.

3.9 Analisis Hasil

Analisa hasil dilakukan dari hasil simulasi prakiraan modul permintaan dan modul transformasi pada tahun 2024-2030. Data jumlah intensitas energi listrik serta pertumbuhannya, jumlah pelanggan per sektor pelanggan serta pertumbuhannya dan data yang lainnya digunakan sebagai asumsi dasar penelitian. Setelah didapati kedua hasil dari modul permintaan dan modul transformasi, maka dilakukan analisis pada kedua modul tersebut untuk melihat seberapa besar nilai dari permintaan energi listrik yang mempengaruhi jumlah emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari modul transformasi cabang pembangkit listrik, yang dihasilkan dari skenario BaU dan skenario RUPTL 2021-2030. Hasil dari kedua skenario tersebut akan dibuat perbandingan antara emisi gas rumah kaca dari pembangkit listrik pada tahun awal prakiraan dan pada akhir prakiraan, sehingga didapati grafik perbandingan diantara keduanya.



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Prakiraan *Demand* dan *Supply* Energi Listrik

4.1.1 Data Sekunder Yang Digunakan Untuk Prakiraan

Data sekunder yang dikumpulkan meliputi jumlah penduduk, jumlah Produk Domestik Regional Bruto (PDRB), jumlah pelanggan energi listrik per sektor pelanggan, konsumsi energi listrik per sektor pelanggan dan intensitas energi listrik per sektor pelanggan. Keseluruhan data historis sejak 5 tahun yang lalu (2019-2023) diperoleh dari berbagai sumber. Data historis tersebut akan digunakan sebagai dasar melakukan prakiraan pada tahun berikutnya, dimana pada tahun 2024 sebagai tahun awal prakiraan dan tahun 2030 adalah tahun akhir pada perangkat lunak *Low Emission Analysis Platform* (LEAP).

Tabel 4.1 Data Jumlah Penduduk dan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB).

Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)	PDRB (Rp)
2018	5.281.314	155.910.977
2019	5.371.532	164.162.978
2020	5.274.871	166.372.320
2021	5.333.733	184.979.878
2022	5.407.855	210.418.458
Total	26.669.305	881.844.611

Sumber: BPS Provinsi Aceh, 2018-2022.

Tabel 4.2 Data Pelanggan Energi Listrik Per Sektor

Tahun	Rumah Tangga	Industri	Bisnis	Sosial	Gedung Pemerintahan	Penerangan Jalan Umum	Jumlah
2019	1.303.772	3.236	126.752	46.098	11.424	2.086	1.493.368
2020	1.354.112	3.582	136.068	48.577	12.065	2.580	1.556.984
2021	1.396.567	3.903	145.970	51.171	12.432	2.708	1.612.751
2022	1.436.434	4.106	155.509	53.024	12.707	2.848	1.664.628
2023	1.483.479	4.325	165.516	55.282	12.904	2.944	1.724.36

Sumber: Statistik PLN, (2019-2023).

Tabel 4.3 Data Konsumsi Energi Listrik Per Sektor Pelanggan

Data Konsumsi Per Sektor Pelanggan (MWh)							
Tahun	Rumah Tangga	Industri	Bisnis	Sosial	Gedung Pemerintahan	Penerangan Jalan Umum	Jumlah
2019	1.733,04	159,59	466,06	199,25	104,06	119,50	2.781,50
2020	1.868,28	172,01	477,66	191,60	104,06	124,38	2.938,00
2021	1.929,59	190,56	515,04	208,23	107,18	123,87	3.074,47
2022	1.895,07	228,77	558,37	228,92	109,78	133,11	3,154,01
2023	1.986,67	339,79	631,21	251,10	115,55	133,98	3.458,30

Sumber: Statistik PLN, (2019-2023).

Tabel 4.4 Intensitas Energi Listrik Per Sektor Pelanggan

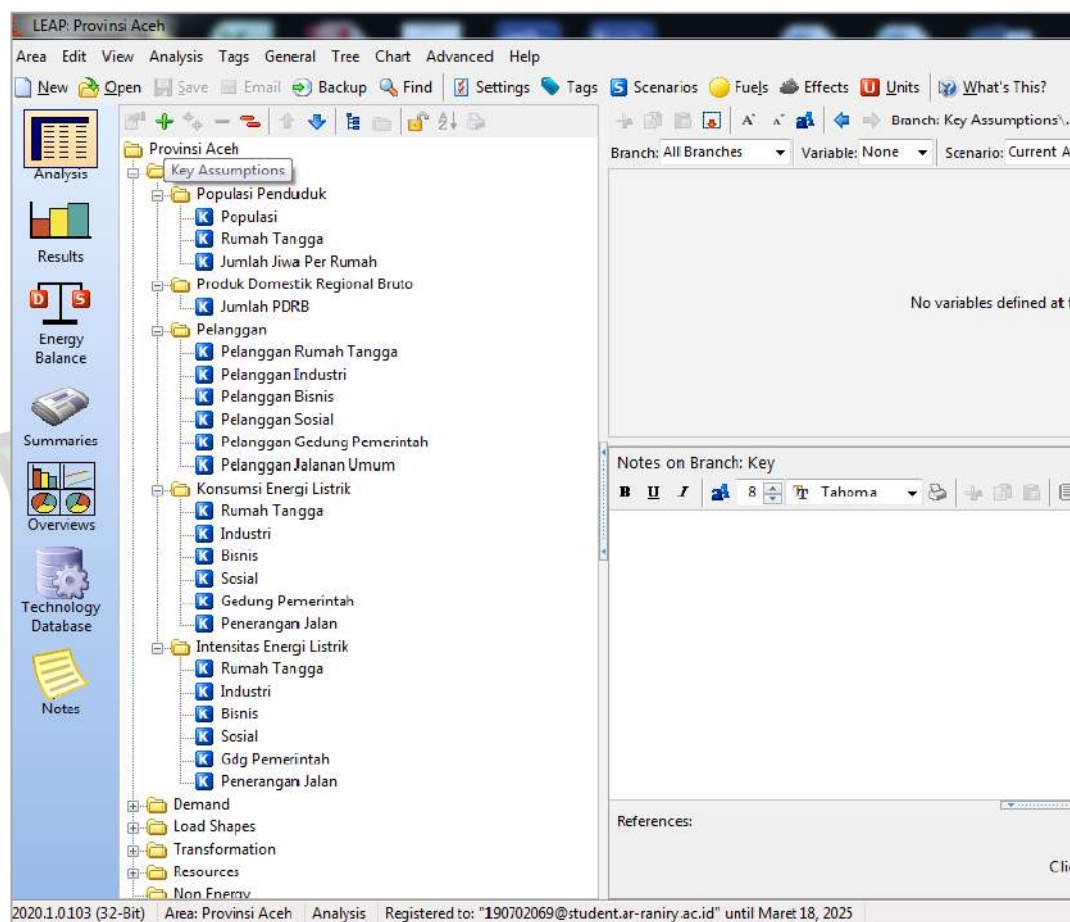
Data Intensitas Energi Listrik Per Sektor Pelanggan (KWh)							
Tahun	Rumah Tangga	Industri	Bisnis	Sosial	Gedung Pemerintahan	Penerangan Jalan Umum	Jumlah
2019	1.329,25	49.315,65	3.676,98	4.322,36	9.108,53	57.288,24	
2020	1.379,71	48.021,93	3.510,46	3.944,22	8.625,28	48.210,05	
2021	1.381,67	48.823,98	3.528,40	4.069,30	8.621,30	45.742,25	
2022	1.319,29	55.726,03	3.590,60	4.317,29	8.639,33	46.783,06	
2023	1.339,20	80.233,77	3.813,59	4.542,17	8.954,59	45.509,51	

Sumber: Statistik PLN, (2019-2023).

4.1.2 Modul Asumsi Kunci (*Key Assumptions*)

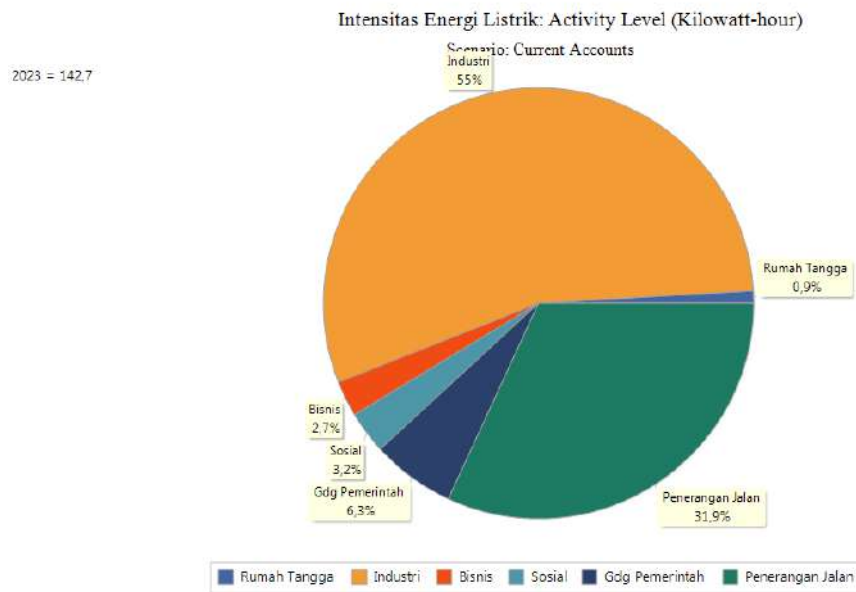
Modul asumsi kunci atau *key assumptions* digunakan untuk *input* data pada tahun awal dari prakiraan untuk masa yang akan datang. Data yang di-*input* meliputi data seperti Tabel 4.1 sampai dengan Tabel 4.4 namun hanya data pada tahun 2023 pada setiap tabel, karena sebagai tahun awal atau *base year* dari prakiraan yang dilakukan. LEAP secara otomatis akan membuat data yang di-

input menjadi tabel *chart pie* dan tabel ini bisa diubah tergantung dari pengguna. Cabang atau *branch* pada asumsi kunci diatur sedemikian rupa agar mudah dalam mengklasifikasikan kelompok data yang digunakan, berikut Gambar 4.1 menampilkan setiap cabang yang berada di bawah modul asumsi kunci (*key assumption*).



Gambar 4. 1 Klasifikasi Data Sekunder Pada Modul *Key Assumption*.

Persamaan untuk mencari intensitas energi listrik adalah jumlah konsumsi energi per sektor/jumlah pelanggan per sektor. Pada cabang intensitas energi listrik pada skenario awal atau *base year* tahun prakiraan, pada *current account expression* persamaan yang di-*input* adalah sebagai berikut: Key\Konsumsi Energi Listrik\Rumah Tangga\Key\Pelanggan\Pelanggan Rumah Tangga, sehingga di dapatkan hasil seperti pada Gambar 4.2 untuk tahun data tahun awal prakiraan.



Gambar 4.2 Jumlah Intensitas Energi Listrik Per Sektor Pelanggan.

4.1.3 Hasil Prakiraan Populasi Penduduk dan *Demand* Energi Listrik

Skenario BaU

Dalam penelitian yang dilakukan data histori yang diperoleh sejak 5 tahun yang lalu 2019-2023, maka perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan (6) dapat dilihat pada lampiran A. Dari hasil perhitungan persentase pertumbuhan yang dilakukan dapat diketahui bahwa pertumbuhan populasi penduduk dan rumah tangga berada pada persentase yang sama yakni 1,09% dan pertumbuhan PDRB mencapai 9,85% dalam jangka waktu 5 tahun kedepannya, dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Kemudian pada data listrik per sektor pelanggan, pertumbuhan persentase pelanggan tertinggi berapa pada pelanggan Penerangan Jalan Umum 9,4%. Dari segi konsumsi energi listrik sektor tertinggi berada pada pelanggan sektor industri dengan tingkat persentase pertumbuhan 20%, lebih tinggi jika dibandingkan dengan pelanggan energi listrik sektor pelanggan lainnya, sebagaimana yang disajikan pada Tabel 4.6. Kedua data pertumbuhan ini akan dimasukkan kedalam LEAP pada modul *Demand* atau modul permintaan energi.

Tabel 4. 5 Pertumbuhan Populasi Penduduk, Rumah Tangga dan PDRB

Pertumbuhan (%)		
Populasi Penduduk	Rumah Tangga	PDRB
1,09	1,09	9,85

Tabel 4.6 Rekapitulasi Pertumbuhan Data Listrik Per Sektor Pelanggan

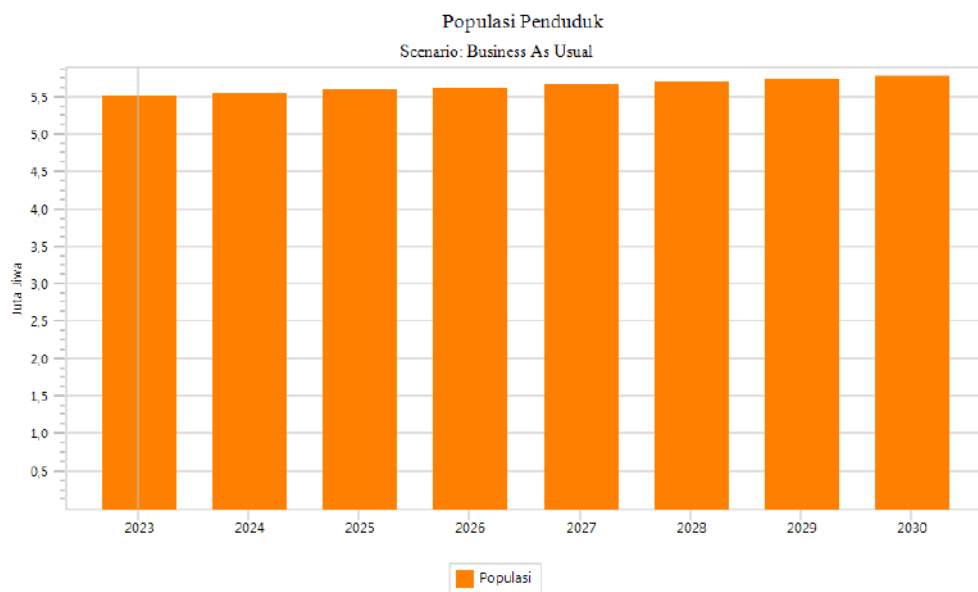
Pertumbuhan Pelanggan Per Sektor Pelanggan					
Rumah Tangga	Industri	Bisnis	Sosial	Gdg Pemerintah	P. Jalan Umum
3.28%	7.52%	6,89%	4,64%	3,10%	9,4%
Pertumbuhan Konsumsi Energi Listrik Per Sektor Pelanggan					
3.47%	20%	7,87%	5,65%	10,57%	2,9%
Pertumbuhan Intensitas Energi Listrik Per Sektor Pelanggan					
0.18%	0,92%	0,91%	0,72%	-0,42%	-5,93%

Skenario *Business as Usual* (BaU) merupakan anggapan bahwasannya tidak terjadinya perubahan terhadap suatu kondisi dari suatu wilayah yang ingin dikaji. Dalam hal prakiraan atau proyeksi terhadap masa yang akan datang tidak mempertimbangkan sama sekali perubahan terhadap regulasi, kebijakan dan lainnya dari tahun awal data prakiraan yang tersedia (Harahap, 2019). Dengan meningkatnya jumlah pertumbuhan populasi penduduk, PDRB, pelanggan dan konsumsi energi listrik per sektor pelanggan akan menyebabkan jumlah permintaan energi listrik yang berakibat pada peningkatan jumlah emisi gas rumah kaca. Dari hasil perhitungan persentase pertumbuhan pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 maka diperoleh data prakiraan populasi penduduk dan PDRB dengan skenario Bau menggunakan LEAP yang tersajikan pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Hasil Prakiraan Populasi Penduduk dan PDRB Skenario BAU

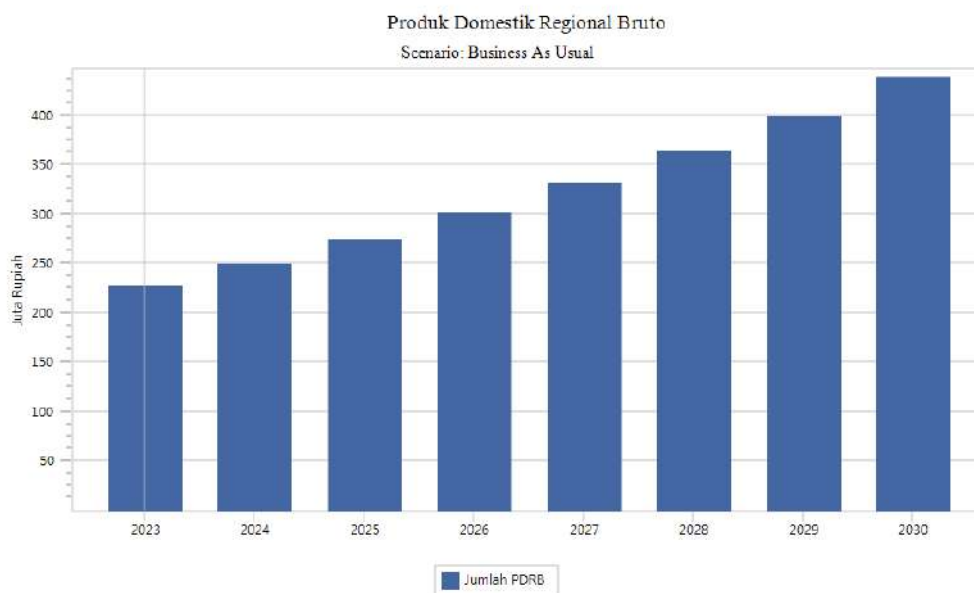
Tahun	Populasi Penduduk	PDRB (Juta Rp)
2024	5.552.224	249.480,558
2025	5.588.888	274.054,393
2026	5.625.775	301.048,751
2027	5.662.905	330.702,053
2028	5.700.280	363.276,205
2029	5.737.902	399.058,911
2030	5.775.772	483.366,214

Dengan nilai persentase pertumbuhan sebesar 1,09% pada populasi penduduk, peningkatan pertumbuhan penduduk tidak terlalu meningkat secara signifikan. Kemudian pertumbuhan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) sebesar 9,85%. Pada tahun 2030 jumlah populasi penduduk mencapai 5.775.772 juta jiwa, dengan PDRB pada tahun yang sama berjumlah Rp.483.366,214. Validasi perhitungan manual terhadap persentase pertumbuhan dilakukan dengan persamaan (7), dapat dilihat pada lampiran A. Hasil prakiraan pertumbuhan populasi penduduk dan PDRB disajikan pada Gambar 4.3 dan Gambar 4.4.



Gambar 4.3 Grafik Hasil Prakiraan Populasi Penduduk Dengan Skenario BaU.





Gambar 4.4 Grafik Hasil Prakiraan PDRB Dengan Skenario BaU.

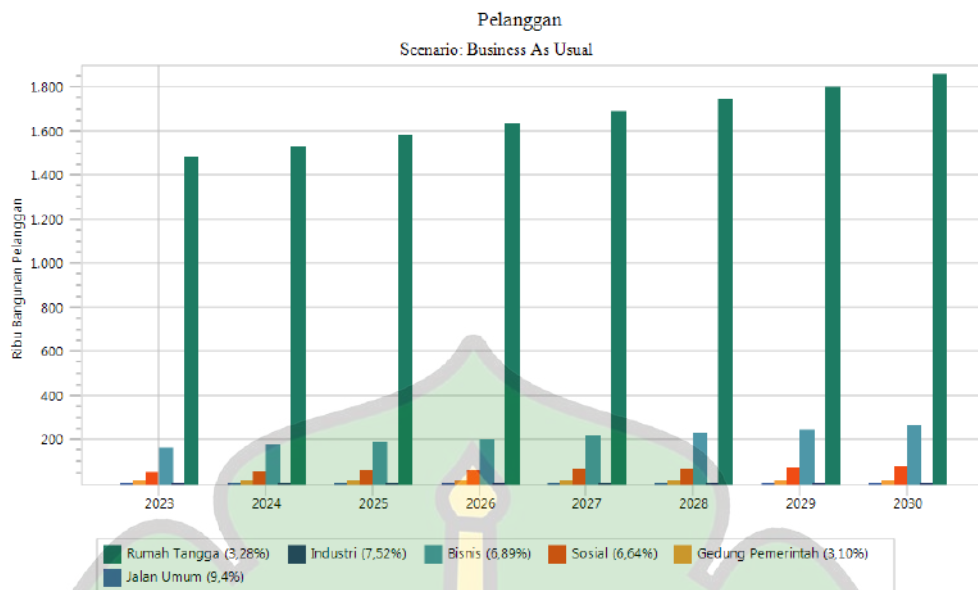
Data kelistrikan terdiri dari data pelanggan, konsumsi energi listrik, dan intensitas energi listrik. Pertumbuhan pelanggan mengalami peningkatan dengan nilai yang berbeda-beda, nilai persentase pertumbuhan terbesar terjadi pada pelanggan Penerangan Jalan Umum sebesar 9,4% dengan jumlah pelanggan tahun awal hanya 2.944 unit pelanggan dan pada tahun 2030 menjadi 5.522 unit pelanggan. Sedangkan persentase nilai pertumbuhan terendah berada pada jenis pelanggan Gedung Pemerintahan sebesar 3,10% dengan jumlah pelanggan tahun awal sebanyak 12.904 unit pelanggan dan pada tahun 2030 menjadi 15.978 unit pelanggan. Namun demikian persentase nilai pertumbuhan tertinggi berada pada pelanggan rumah tangga dengan persentase pertumbuhan sebesar 3,28%, jumlah pelanggan pada tahun 2023 sebanyak 1.483.479 unit pelanggan dan pada tahun 2030 menjadi 1.859.49 unit pelanggan. Grafik peningkatan pertumbuhan pelanggan dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan hasil prakiraan LEAP serta validasi perhitungan manual dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan Tabel 4.9.

Tabel 4.8 Hasil Prakiraan Pelanggan Per Sektor Dengan LEAP BAU

Pelanggan/Sektor (unit)							
Pelanggan	Tahun						
	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Rumah Tangga	1.532,13	1.582,39	1.634,29	1.687,89	1.742,26	1.800,44	1.859,49
Industri	4.650	5.000	5.376	5.780	6.215	6.682	7.185
Bisnis	176.920	189.110	202.140	216.067	230.954	246.867	263.876
Sosial	57.847	60.531	63.340	66.279	69.354	75.572	75.940
Gedung Pemerintah	13.304	13.716	14.142	14.580	15.032	15.498	15.978
Jalan Umum	3.221	3.523	3.855	4.217	4.613	5.047	5.522

Tabel 4.9 Hasil Validasi Perhitungan Manual Pelanggan Per Sektor

Pelanggan/Sektor (unit)							
Pelanggan	Tahun						
	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Rumah Tangga	1.532,13	1.582,39	1.634,29	1.687,89	1.742,26	1.799,40	1.858,42
Industri	4.650	4.999	5.778	6.212	6.581	7.075	7.607
Bisnis	176.920	189.109	202.138	216.065	230.951	246.863	263.871
Sosial	57.847	60.531	63.339	66.278	69.353	75.570	79.076
Gedung Pemerintah	13.304	13.716	14.141	14.860	15.320	15.794	16.283
Jalan Umum	3.220	3.522	3.853	4.215	4.611	5.044	5.518



Gambar 4.5 Grafik Hasil Prakiraan Pelanggan Listrik Skenario BaU.

Untuk melakukan simulasi prakiraan akan permintaan energi listrik dengan LEAP data harus di-input pada modul *demand*, modul ini hanya menghitung jumlah permintaan energi pada suatu wilayah. Pada penelitian yang dilakukan, hanya menghitung jumlah permintaan terhadap energi listrik saja. Data kelistrikan yang berada pada modul asumsi kunci (*key assumption*) yaitu intensitas energi listrik dan jumlah pelanggan digunakan untuk menentukan prakiraan permintaan energi pada masa yang akan datang. Persamaan yang digunakan pada variabel *Final Energy Intensity* pada modul *Demand* adalah $key \backslash \text{Pelanggan} [\text{Pelanggan}] * key \backslash \text{Intensitas energi (sektor)} [\text{kWh/Pelanggan}]$.

Total permintaan energi listrik seluruh jenis pelanggan pada tahun 2024 adalah 3.626 MWh dan permintaan energi listrik pada tahun 2030 meningkat menjadi 4.861 MWh, grafik dan hasil prakiraan permintaan energi listrik pertahunnya disajikan pada Gambar 4.6 serta Tabel 4.10 dan Tabel 4.11. Dengan hasil prakiraan jumlah Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) pada tahun 2030 mencapai Rp.483.366,214, maka permintaan energi listrik pada Provinsi Aceh semakin meningkat. Menurut Suhono (2011), tingginya permintaan energi listrik pada suatu wilayah menandakan bahwa tingkat perekonomian masyarakat tergolong cukup baik. Hal ini didasari pada pendekatan atau konsep ekonometri,

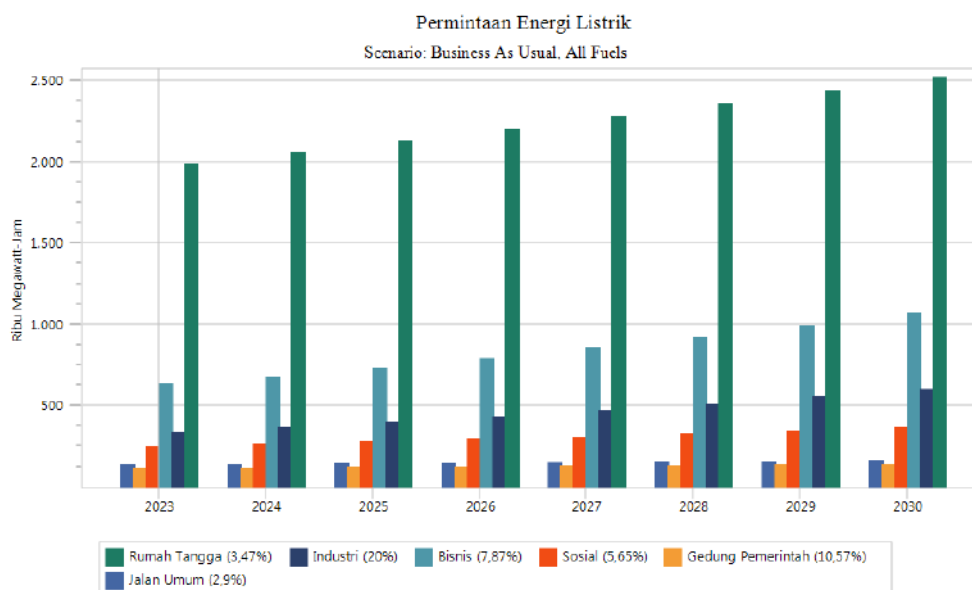
dimana semakin besar tingkat ekonomi atau pendapatan masyarakat, maka akan terjadi kecenderungan permintaan energi yang juga akan semakin meningkat.

Tabel 4.10 Hasil Prakiraan Permintaan Energi Listrik Dengan LEAP BaU

Permintaan Energi Listrik (MWh)							
Pelanggan	Tahun						
	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Rumah Tangga	2.055,53	2.126,77	2.200,48	2.276,75	2.355,66	2.437,30	2.521,78
Industri	368,70	400,08	434,12	471,06	511,14	554,64	601,83
Bisnis	680,84	734,37	792,11	854,40	921,57	994,03	1.072,19
Sosial	264,64	278,92	293,96	309,81	326,52	344,13	362,69
Gedung Pemerintah	118,63	121,80	125,04	128,38	131,80	135,32	138,93
Jalan Umum	137,88	141,90	146,03	150,28	154,66	159,17	163,80
Total	3.626,22	3.804,82	3.992,74	4.191,68	4.401,36	4.625,59	4.861,22

Tabel 4.11 Hasil Validasi Perhitungan Manual Permintaan Energi Listrik

Permintaan Energi Listrik (MWh)							
Pelanggan	Tahun						
	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Rumah Tangga	2.040,25	2.110,95	2.184,11	2.259,80	2.336,77	2.417,71	2.501,4
Industri	376,51	476,50	476,50	517,31	553,08	600,07	605,59
Bisnis	680,83	734,36	792,10	854,38	921,55	994,01	1.072,16
Sosial	264,64	278,91	293,95	309,80	326,55	358,34	377,67
Gedung Pemerintah	118,63	121,79	125,03	130,84	134,26	138,48	142,17
Jalan Umum	137,85	141,83	145,96	150,21	155,12	159,63	164,27

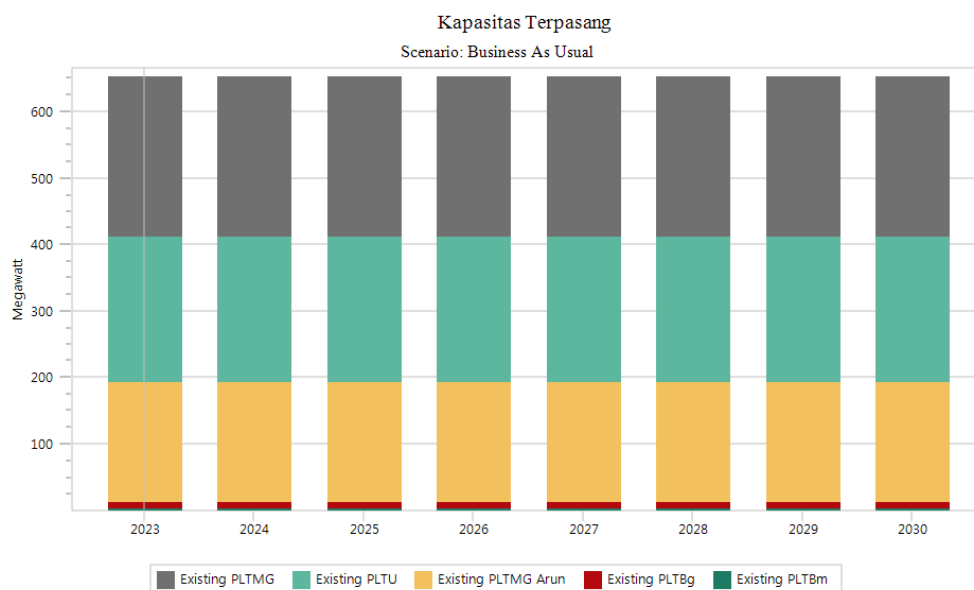


Gambar 4. 6 Grafik Hasil Prakiraan Permintaan Energi Listrik Skenario BaU.

4.1.4 Prakiraan *Supply* Energi Listrik Skenario BaU dan RUPTL 2021-2030

Prakiraan terhadap *supply* energi listrik dilakukan pada modul *Transformation*, modul ini menghitung kapasitas pembangkit listrik sebagai pasokan energi listrik yang dibutuhkan pada modul *Demand*. Data yang di-*input* pada modul ini dapat beragam tergantung dari penggunaan energi. Pada prakiraan yang dilakukan hanya energi listrik yang berasal dari pembangkit listrik saja yang di-*input*, tidak dengan energi yang lain. Skenario yang digunakan pada modul ini adalah skenario BaU dan skenario RUPTL 2021-2030 terhadap *supply* energi listrik di Provinsi Aceh.

Pada skenario BaU, *supply* energi listrik berasal dari pembangkit listrik yang telah terpasang di Provinsi Aceh pada tahun awal prakiraan. Pembangkit listrik yang telah ada pada tahun awal di Provinsi Aceh adalah Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (PLTMG) Arun 180 MW, PLTMG 240 MW, Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Nagan Raya 2x110 MW, PLTBm 3 MW dan PLTBg 10 MW dengan total kapasitas keseluruhannya mencapai 653 MW pada tahun awal prakiraan yaitu 2023, seperti pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Prakiraan Kapasitas Supply Energi Listrik Skenario BaU.

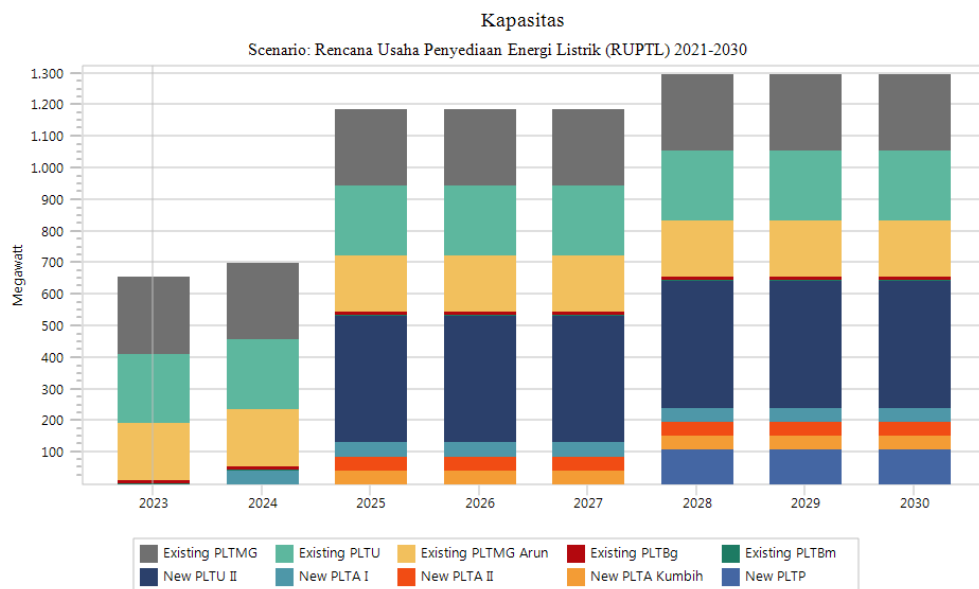
Skenario Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2021-2030 merupakan skenario yang bertujuan untuk memproyeksikan supply energi listrik dan emisi dari sektor pembangkit listrik berdasarkan rencana penambahan pembangkit listrik di Provinsi Aceh sesuai Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2021-2030. Strategi penurunan emisi gas rumah kaca (GRK) yang tertuang pada RUPTL 2021-2030 diarahkan untuk mencapai bauran energi baru terbarukan (EBT) 23% pada tahun 2025 (PLN, 2020). Bauran energi tersebut untuk mendukung tercapainya *Nationally Determined Contribution* (NDC) sampai dengan tahun 2030 sebesar 31,89% dengan usaha sendiri (Nur, 2024). Adapun rencana pembangkit listrik yang akan dibangun berdasarkan RUPTL 2021-2030 disajikan pada Tabel 4.12.

Dengan bertambahnya kapasitas pembangkit energi EBT dan bahan bakar fosil dengan sistem interkoneksi pada prakiraan tahun 2024, 2025, dan 2028 maka *supply* daya listrik secara berturut-turut menjadi 689 MW, 1.186 MW dan 1.296 MW sebagaimana disajikan pada Gambar 4.8.

Tabel 4.12 Pembangkit Listrik Yang Akan Dibangun

Jenis Pembangkit	Tahun Rencana Pembangunan Pembangkit	Kapasitas Pembangkit
PLTU II	2025	2x200 MW
PLTA Peusangan I	2024	45 MW
PLTP	2028	110 MW
PLTA Kumbih	2025	45 MW
PLTA Peusangan II	2025	43 MW
Total		643 MW

Sumber: RUPTL 2021-2030.



Gambar 4.8 Grafik Prakiraan Kapasitas Supply Energi Listrik Skenario RUPTL 2021-2030.

4.2 Hasil Prakiraan Emisi Gas Rumah Kaca Skenario BaU dan RUPTL 2021-2030

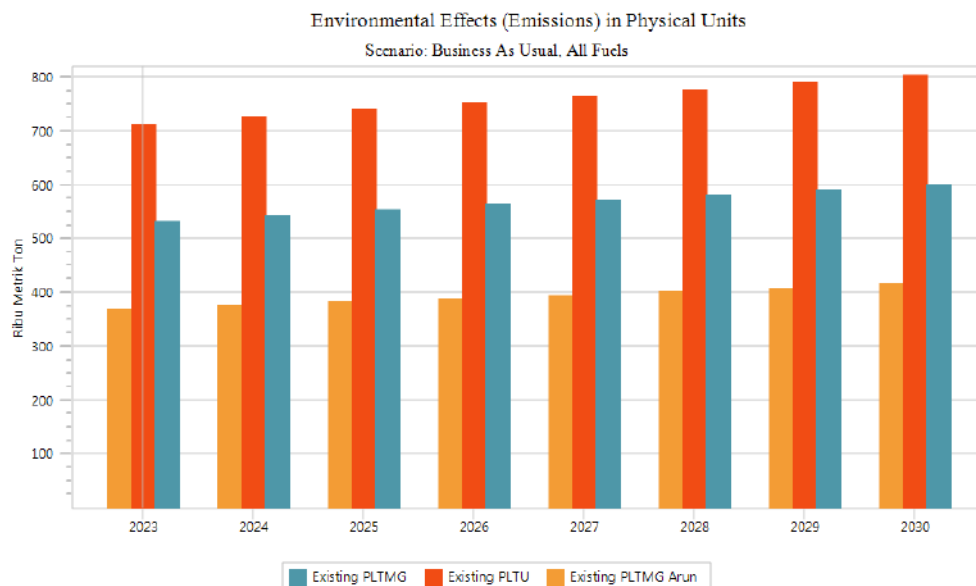
Prakiraan emisi gas rumah kaca dengan LEAP dilakukan pada modul *Transformation* dengan mengatur faktor emisi (*Add Multiplate Effects*) dan memilih *IPCC Tier 1 Default Factors Emission* tergantung bahan bakar energi yang digunakan pada setiap pembangkit listrik energi fosil, sehingga LEAP secara

otomatis akan menghasilkan emisi gas rumah kaca (GRK) yang terdiri dari Karbon Dioksida (CO₂), Metana (CH₄), Dinitrogen Monoksida (N₂O) dan lain lain. Nilai dari setiap emisi GRK secara otomatis akan ter-*input* sesuai dengan referensi dari IPCC yang memang telah tersedia pada perangkat lunak LEAP.

Dari hasil prakiraan yang dilakukan, diketahui bahwa total emisi gas rumah kaca (GRK) dengan menggunakan skenario BaU dari tahun 2023 hingga tahun 2030 adalah emisi Karbon Dioksida (CO₂) sebesar 13.390 metrik ton, Metana (CH₄) sebesar 310 metrik ton dan emisi Dinitrogen Monoksida (N₂O) 118 metrik ton dapat dilihat pada Tabel 4.13 hingga Tabel 4.15 dan Gambar 4.9 hingga Gambar 4.11. Seluruh emisi tersebut berasal dari pembangkit listrik dengan menggunakan energi fosil yang masih terus beroperasi hingga tahun 2030.

Tabel 4.13 Hasil Prakiraan Emisi Karbon Dioksida (CO₂) Skenario BaU

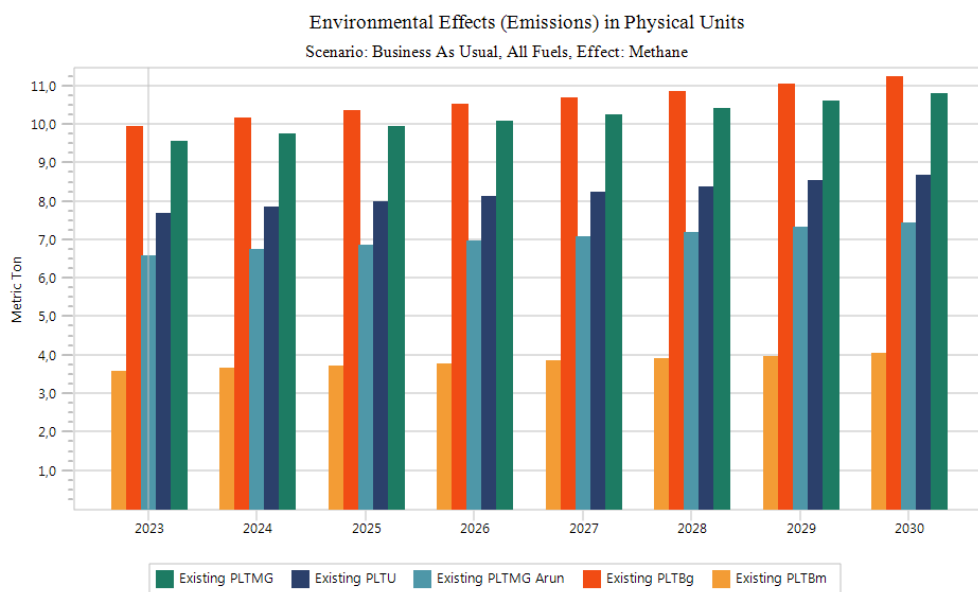
Jenis Pembangkit	Emisi Karbon Dioksida (CO ₂) metrik ton								Total
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
PLTMG	516	527	539	551	559	568	577	587	4.423
PLTU	690	704	720	736	747	759	771	784	5.911
PLTMG II	357	364	372	381	386	392	399	405	3.055
Total	1.562	1.595	1.630	1.668	1.692	1.719	1.747	1.776	13.390



Gambar 4.9 Grafik Hasil Prakiraan Emisi Karbon Dioksida (CO₂) Skenario BaU.

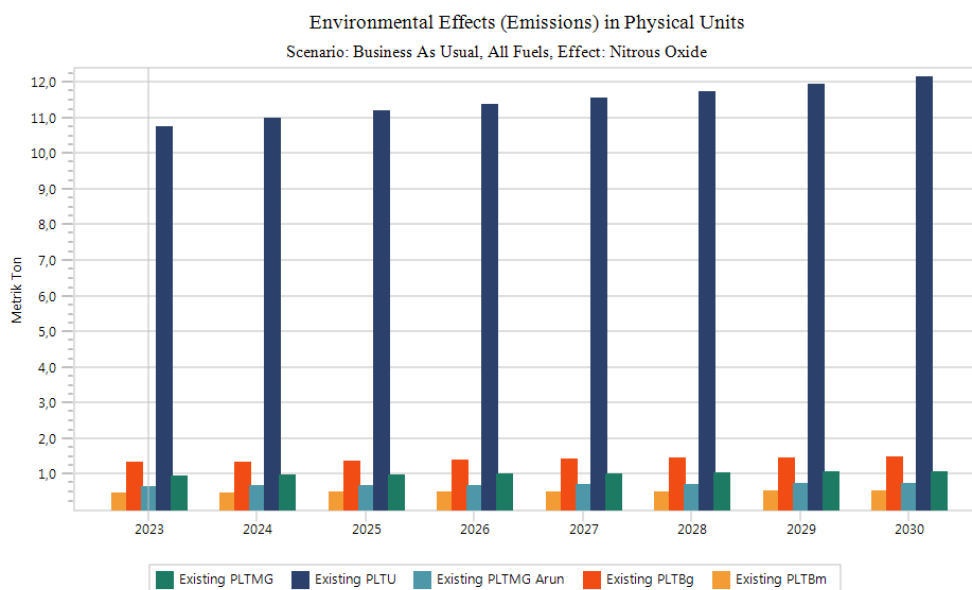
Tabel 4.14 Hasil Prakiraan Emisi Metana (CH₄) BaU

Jenis Pembangkit	Emisi Metana (CH ₄) metrik ton								Total
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
PLTMG	9	9	10	10	10	10	10	11	79
PLTU	7	8	8	8	8	8	8	8	64
PLTMG II	6	7	7	7	7	7	7	7	55
PLTBg	10	10	10	10	10	11	11	11	83
PLTBm	3	4	4	4	4	4	4	4	30
Total	36	37	38	39	39	40	40	41	310

**Gambar 4.10** Grafik Hasil Prakiraan Emisi Metana (CH₄) Skenario BaU.

Tabel 4.15 Hasil Prakiraan Emisi Dinitrogen Monoksida (N₂O) Skenario BAU.

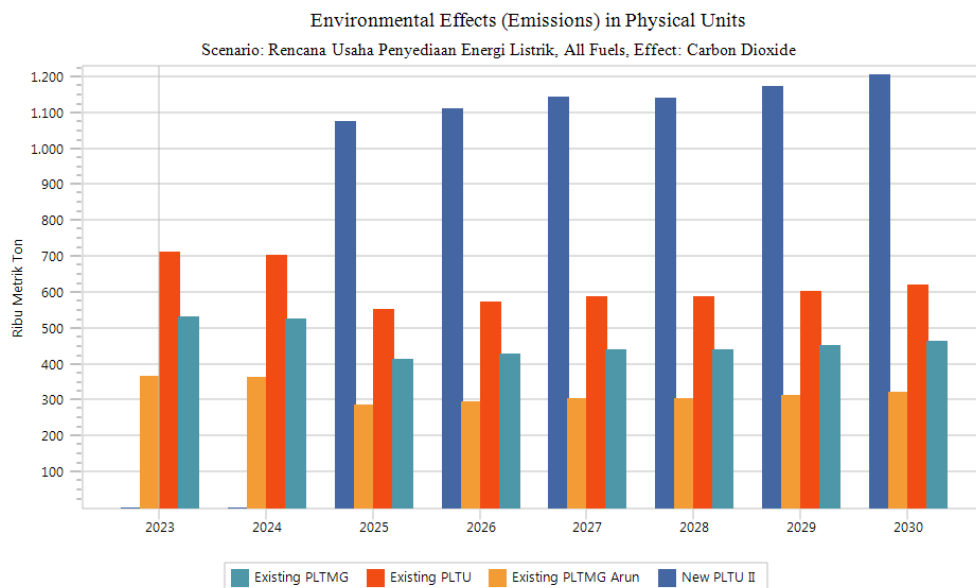
Jenis Pembangkit	Emisi Dinitrogen Monoksida (N ₂ O) metrik ton								Total
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
PLTMG	1	1	1	1	1	1	1	1	8
PLTU	10	11	11	11	11	11	12	12	89
PLTMG II	1	1	1	1	1	1	1	1	5
PLTBg	1	1	1	1	1	1	1	1	11
PLTBm	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	4
Total	14	14	14	15	15	15	15	16	118

**Gambar 4.11** Grafik Hasil Prakiraan Emisi Dinitrogen Monoksida (N₂O) Skenario BaU.

Selanjutnya dari hasil prakiraan emisi yang dilakukan dengan menggunakan skenario RUPTL 2021-2030, total emisi Karbon Dioksida (CO₂) menjadi 17.246 metrik ton, total emisi Metana (CH₄) menjadi 319 metrik ton dan total emisi Dinitrogen Monoksida (N₂O) menjadi 193 metrik ton, sebagaimana disajikan pada Tabel 4.16 hingga 4.18 serta Gambar 4.12 sampai dengan Gambar 4.14. Peningkatan emisi karbon dioksida (CO₂) terjadi karena adanya pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) unit 3 dan 4 dengan kapasitas 2×200 MW yang diprakiraan baru beroperasi pada tahun 2025.

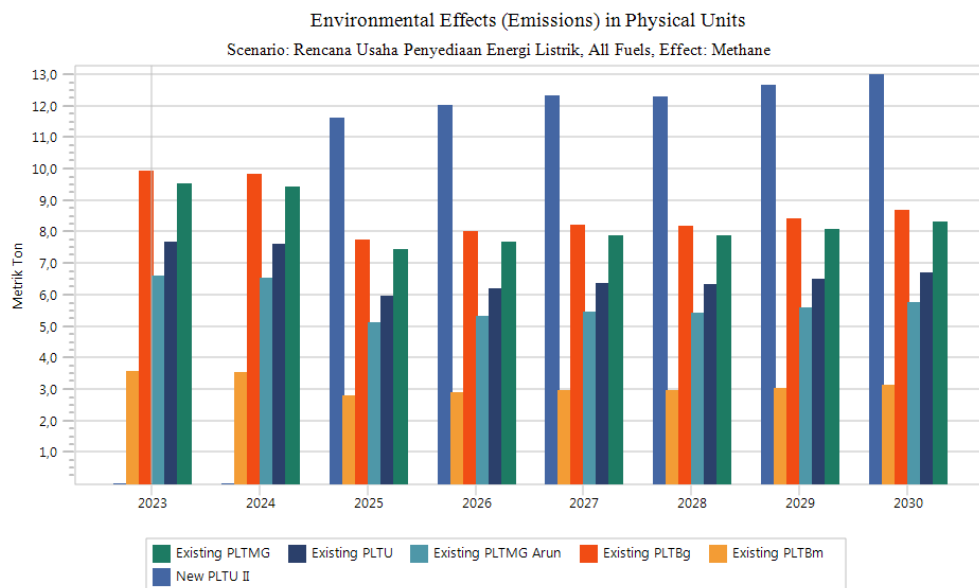
Tabel 4.16 Hasil Prakiraan Emisi Karbon Dioksida (CO₂) Skenario RUPTL 2021-2030.

Jenis Pembangkit	Emisi Karbon Dioksida (CO ₂) metrik ton								Total
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
PLTMG	516	510	386	405	423	421	434	446	3.541
PLTU	690	682	516	541	565	563	580	596	4.733
PLTMG II	357	353	267	280	292	291	300	308	2.446
PLTBm	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLTBg	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLTU II	-	-	1.002	1.051	1.098	1.093	1.125	1.157	6.526
PLTA I	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLTA II	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLTA Kumbih	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLTP	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	1.562	1.545	2.170	2.277	2.378	2.368	2.438	2.507	17.246

**Gambar 4.12** Grafik Hasil Prakiraan Emisi Karbon Dioksida (CO₂) Skenario RUPTL 2021-2030.

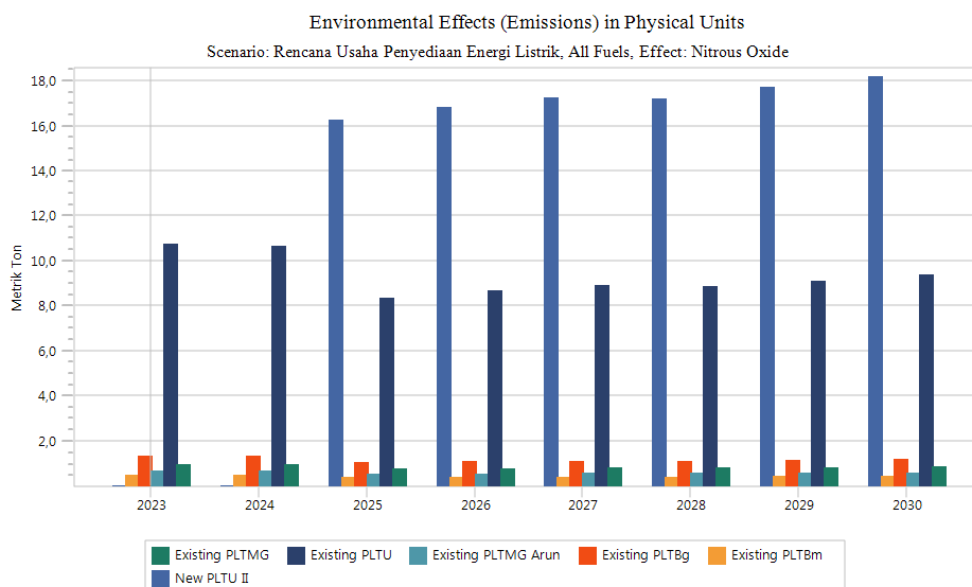
Tabel 4.17 Hasil Prakiraan Emisi Metana (CH₄) Skenario RUPTL 2021-2030.

Jenis Pembangkit	Emisi Metana (CH ₄) metrik ton								Total
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
PLTMG	9	9	7	7	8	8	8	8	63
PLTU	7	7	6	6	6	6	6	6	51
PLTMG II	6	6	5	5	5	5	5	6	44
PLTBg	10	10	7	8	8	8	8	8	66
PLTBm	3	3	3	3	3	3	3	3	24
PLTU II	-	-	11	11	12	12	12	12	70
PLTA I	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLTA II	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLTA Kumbih	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLTP	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	36	36	38	40	42	41	43	44	319

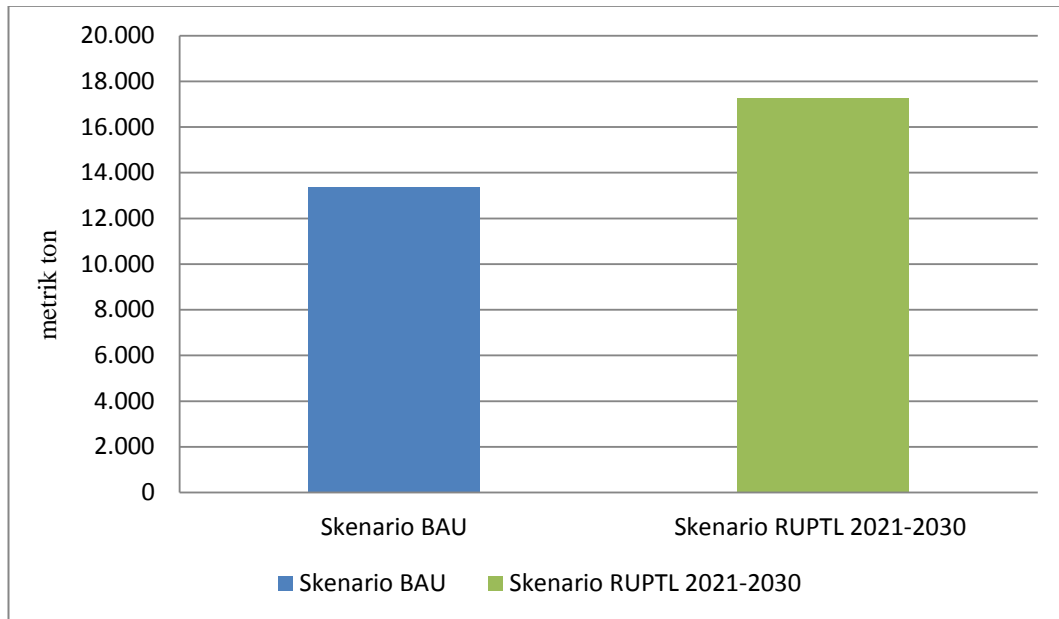
**Gambar 4.13** Grafik Hasil Prakiraan Emisi Metana (CH₄) Skenario RUPTL 2021-2030.

Tabel 4.18 Hasil Prakiraan Emisi Dinitrogen Monoksida (N₂O) RUPTL 2021-2030.

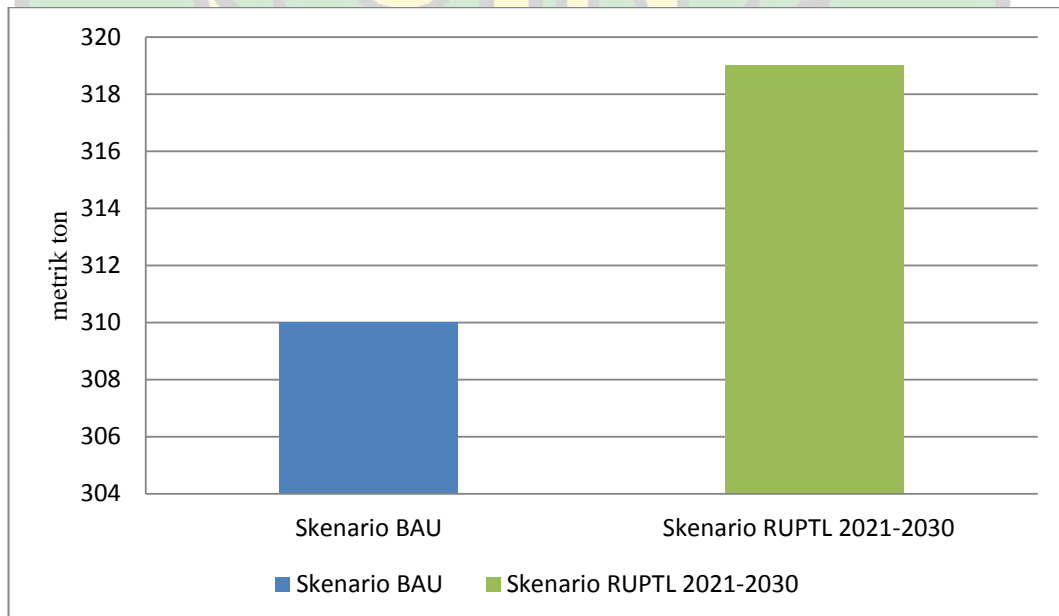
Jenis Pembangkit	Emisi Dinitrogen Monoksida (N ₂ O) metrik ton								Total
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	
PLTMG	1	1	1	1	1	1	1	1	79
PLTU	10	10	8	8	9	9	9	9	64
PLTMG II	1	1	1	1	1	1	1	1	55
PLTBg	1	1	1	1	1	1	1	1	83
PLTBm	0,5	0,5	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	3,2
PLTU II	-	-	15	16	17	17	17	17	99
PLTA I	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLTA II	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLTA Kumbih	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PLTP	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	14	14	25	27	28	28	29	29	193

**Gambar 4.14** Grafik Hasil Prakiraan Emisi Dinitrogen Monoksida (N₂O) RUPTL 2021-2030.

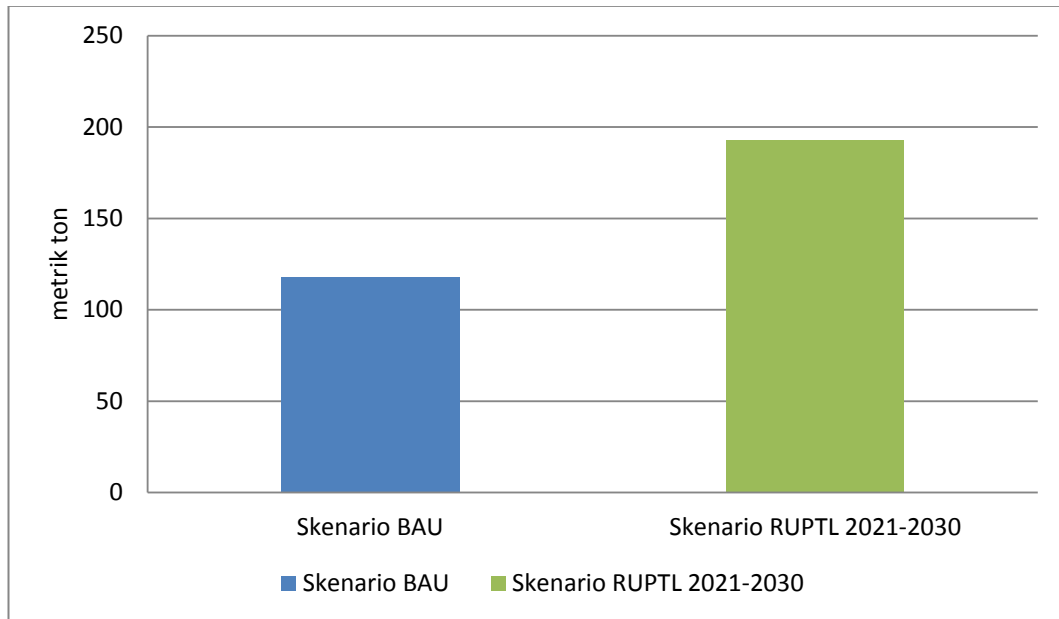
Dari hasil prakiraan LEAP dengan skenario RUPTL 2021-2030, total emisi Karbon Dioksida (CO₂) meningkat sebesar 3.856 metrik ton, total emisi Dinitrogen Monoksida (N₂O) meningkat 75 metrik ton dan total emisi Metana (CH₄) meningkat hanya 9 metrik ton dari hasil prakiraan dengan skenario BaU, sebagaimana disajikan pada Gambar 4.16 hingga Gambar 4.18.



Gambar 4.15 Perbandingan Total Emisi CO₂ Skenario BaU dan RUPTL 2021-2030.



Gambar 4.16 Perbandingan Total Emisi CH₄ Skenario BaU dan RUPTL 2021-2030.



Gambar 4.17 Perbandingan Total Emisi N₂O Skenario BaU dan RUPTL 2021-2030.

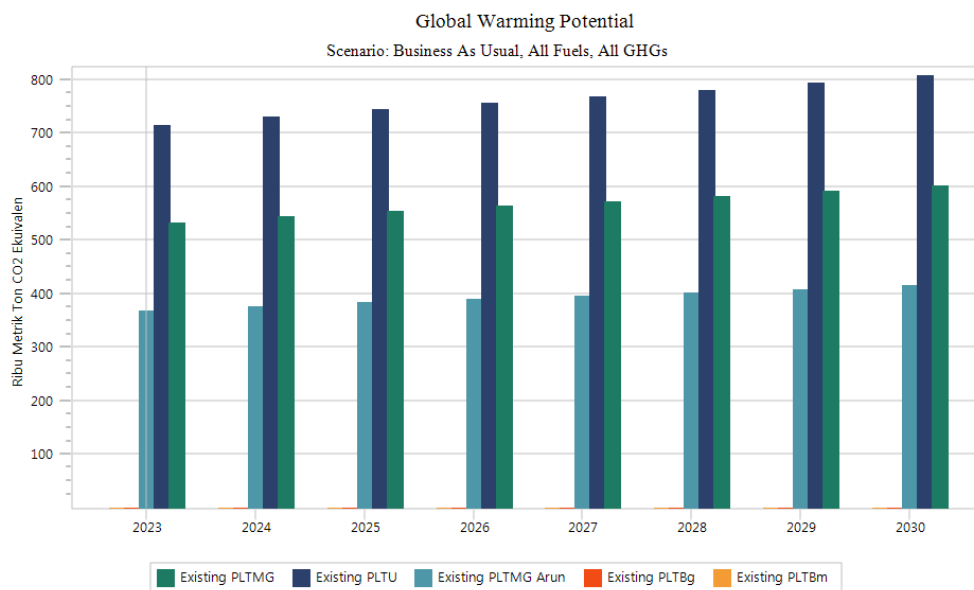
Global Warming Potential merupakan nilai yang menunjukkan seberapa besar gas rumah kaca dapat menghangatkan bumi dibandingkan dengan karbon dioksida (CO₂) selama periode waktu tertentu. Semakin tinggi nilai *Global Warming Potential* (GWP), semakin besar pula kemampuan gas tersebut dalam menjebak panas dan berkontribusi terhadap pemansan global. Metana (CH₄) memiliki GWP 21 lebih tinggi dari CO₂ dan Dinitrogen Monoksida (N₂O) memiliki GWP 310 lebih tinggi dari CO₂, dalam artian satu unit metana menjebak panas 21 kali lebih banyak dari satu unit CO₂ dan satu unit nitrogen oksida menjebak 310 kali lebih banyak dari satu unit CO₂ selama 100 tahun (Prayogi & Sugiono, 2022).

Hasil *Global Warming Potential* (GWP) pada semua gas rumah kaca (CO₂, CH₄ dan N₂O) dengan menggunakan skenario BaU pada tahun 2030 mencapai 1.781 metrik ton CO₂ ekuivalen, dengan total pada seluruh tahun prakiraan mencapai 13.430 metrik ton CO₂ ekuivalen. Sedangkan pada Skenario RUPTL 2021-2030, nilai GWP pada semua gas rumah kaca di tahun 2030 mengalami kenaikan menjadi 2.620 metrik ton CO₂ ekuivalen dan total nilai GWP pada seluruh tahun prakiraan mencapai 18.101 metrik ton CO₂ ekuivalen. Peningkatan nilai GWP pada skenario RUPTL 2021-2030 disebabkan oleh Pembangkit Listrik

Tenaga Uap (PLTU) Nagan Raya unit tiga dan empat yang baru mulai beroperasi pada tahun 2025, dengan kapasitas sebesar 2×200 MW. Hasil prakiraan tersebut disajikan pada Tabel 4.19 dan Tabel 4.20 serta pada Gambar 4.18 dan Gambar 4.19.

Tabel 4.19 Hasil Prakiraan GWP Dengan Skenario BaU

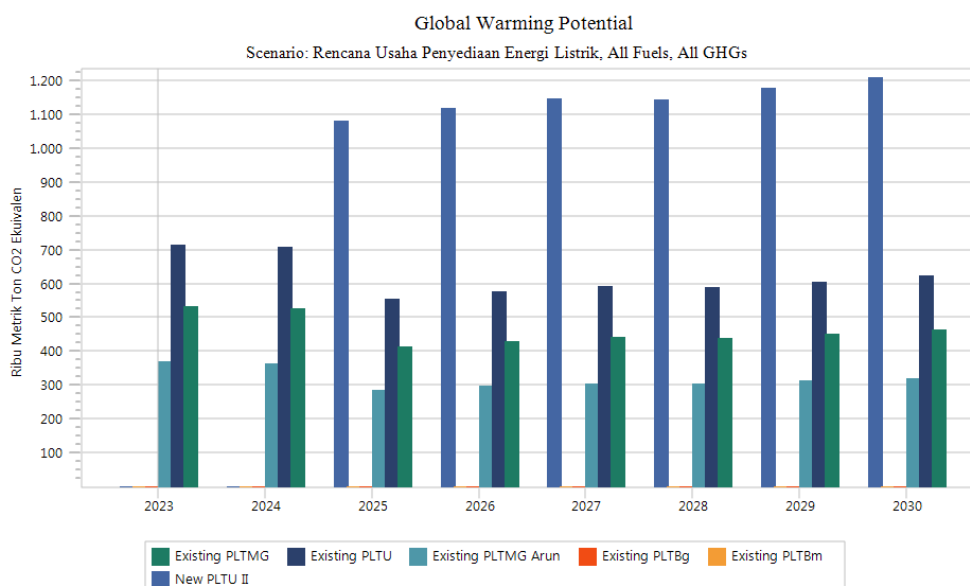
Jenis Pembangkit	Global Warming Potential metrik ton CO ₂ ekuivalen								
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
PLTMG	517	528	539	551	560	568	578	587	4.427
PLTU	693	707	723	739	750	762	774	787	5.937
PLTMG II	357	364	372	381	387	393	399	406	3.058
PLTBg	1	1	1	1	1	1	1	1	5
PLTBm	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	2
Total	1.567	1.600	1.635	1.672	1.697	1.723	1.751	1.781	13.430



Gambar 4.18 Hasil Prakiraan GWP Semua GRK Skenario BaU.

Tabel 4.20 Hasil Prakiraan GWP Dengan Skenario RUPTL 2021-2030.

Jenis Pembangkit	Global Warming Potential metrik ton CO ₂ ekuivalen								
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	Total
PLTMG	533	527	415	429	441	439	452	465	3.701
PLTU	715	707	556	575	591	589	606	623	4.962
PLTMG II	368	364	286	296	304	304	312	321	2.556
PLTBg	1	1	1	1	1	1	1	1	5
PLTBm	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	1,6
PLTU II	-	-	1.080	1.117	1.148	1.144	1.177	1.210	6.876
Total	1.617	1.599	2.337	2.418	2.485	2.477	2.548	2.620	18.101

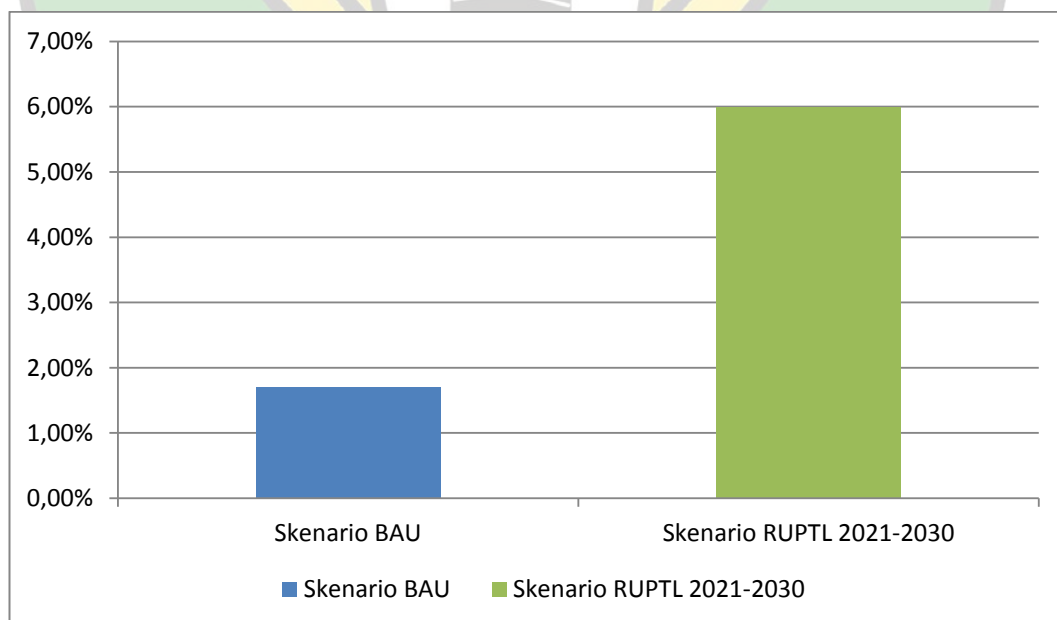
**Gambar 4.19** Grafik Hasil Prakiraan GWP Semua GRK Skenario RUPTL 2021-2030.

Kemudian jika dikaji dari rata-rata pertumbuhan persentase GWP, dengan skenario BaU pertumbuhan GWP pada tahun 2024 sebesar 2% dan pada tahun 2030 menjadi 1,6%. Rata-rata pertumbuhan menunjukkan bahwa persentase GWP dengan skenario BaU tumbuh 1,7%. Sedangkan dengan menggunakan skenario RUPTL 2021-2030, persentase GWP pada tahun 2024 adalah -1% dan pada tahun 2030 menjadi 3,7%. Rata-rata pertumbuhan menunjukkan bahwa persentase GWP dengan skenario RUPTL 2021-2030 tumbuh 6%, perhitungan rata-rata pertumbuhan dapat dilihat pada lampiran B. Petumbuhan negatif terjadi pada

tahun 2024 dan 2028 pada skenario RUPTL 2021-2030 dikarenakan adanya penetrasi dari energi baru terbarukan dari PLTA Peusangan I sebesar 45 MW yang baru beroperasi pada tahun 2024 dan PLTP Seulawah Agam 110 MW diperkirakan beroperasi pada tahun 2028. Namun demikian penetrasi EBT pada sistem interkoneksi pada skenario ini hanya sebesar 243 MW, lebih kecil dari pembangkit listrik energi fosil sebesar 400 MW. Jika penetrasi EBT lebih besar dari pada energi fosil, maka seharusnya emisi gas rumah kaca yang dihasilkan akan turun seperti yang dinyatakan oleh Nyarko, dkk (2023) dan Ugwoke dkk, (2021). Presentase pertumbuhan disajikan pada Tabel 4.21 dan Gambar 4.20.

Tabel 4.21 Pertumbuhan Persentase dan Rata-rata Pertumbuhan GWP.

Tahun	Skenario BaU	Skenario RUPTL 2021-2030
2024	2%	-1%
2025	2%	31%
2026	2,3%	3,3%
2027	1,4%	2,6%
2028	1,5%	-0,3%
2029	1,6%	2,7%
2030	1,6%	3,7%
Rata-rata Pertumbuhan	1,7%	6%



Gambar 4.20 Perbandingan Rata-rata Pertumbuhan GWP Kedua Skenario.

4.3 Upaya Mitigasi Penurunan Emisi GRK Pada Sektor Pembangkit Listrik di Provinsi Aceh

Berdasarkan hasil prakiraan emisi gas rumah kaca yang dilakukan, upaya mitigasi yang dapat dilakukan dalam penurunan emisi gas rumah kaca pada sektor pembangkit energi listrik adalah dengan menyusun regulasi atau kebijakan dalam rangka mendorong energi terbarukan lebih optimal sebagai pembangkit listrik pada masa yang akan direncanakan. Berdasarkan RUPTL 2021-2030 potensi energi tenaga air sebagai pembangkit listrik di Provinsi Aceh mencapai 5.062 MW dan untuk potensi panas bumi diperkirakan sekitar 980 MW. Potensi tersebut jika direalisasikan pada masa yang akan mendatang tentunya akan menyebabkan penurunan emisi gas rumah kaca dari sektor pembangkit energi listrik di Provinsi Aceh secara signifikan.

Dalam rangka pengawasan lingkungan dan pengendalian lingkungan, pemerintah Provinsi Aceh dapat berkoordinasi dengan pemerintah pusat dalam hal pengawasan pelaksanaan dan penerapan standar pengendalian emisi gas rumah kaca pada sektor pembangkit listrik, terutama pada pembangkit listrik berbahan bakar fosil di Provinsi Aceh dan juga dapat membuat sebuah kebijakan terkait dengan pemanfaatan Ruang Terbuka Hijau (RTH), reboisasi hutan secara berkala dan perluasan area hijau sebagai media penyerapan emisi gas rumah kaca yang dilepas pada pembangkit energi listrik di masa yang akan datang.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

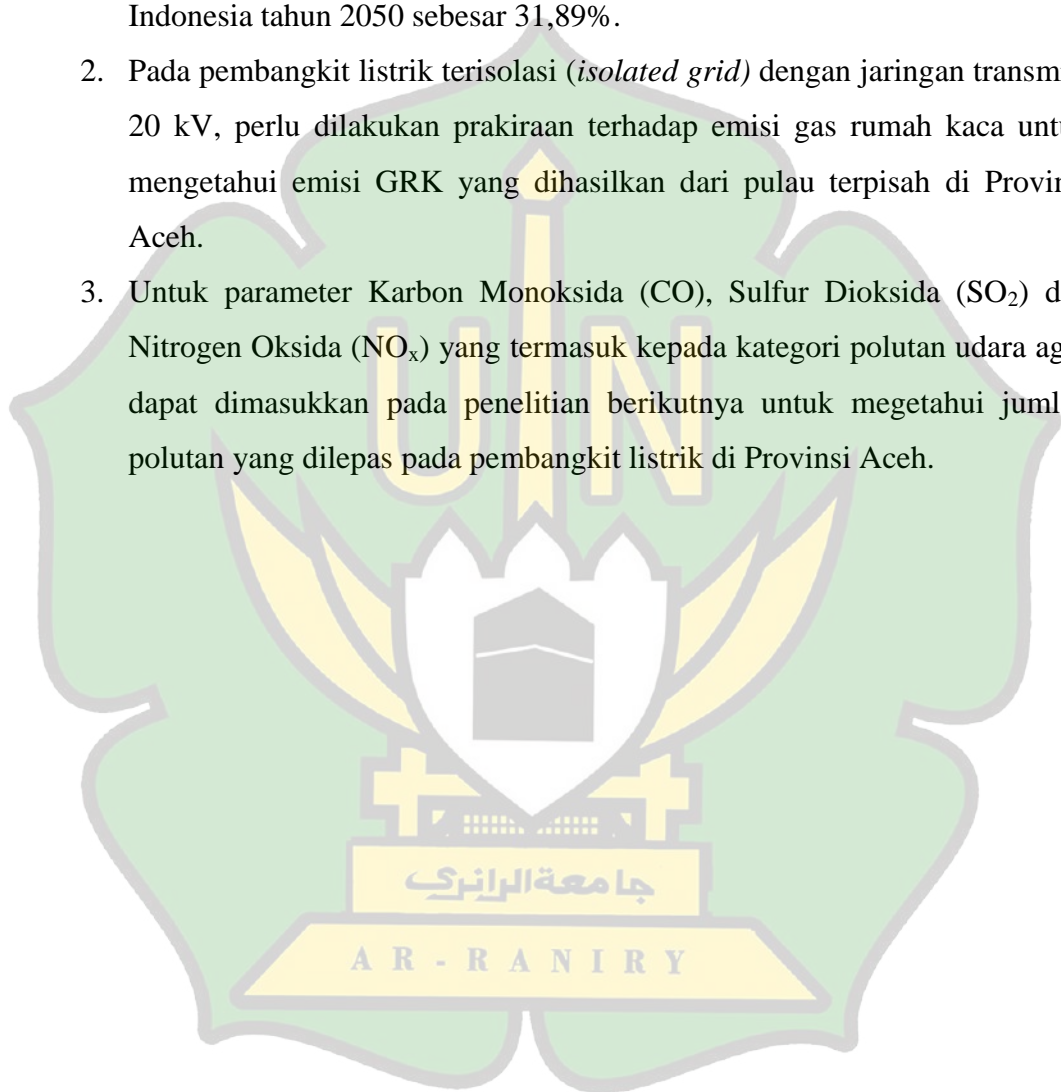
Adapun kesimpulan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil prakiraan dan analisis data penelitian menggunakan LEAP, sektor pelanggan rumah tangga memiliki permintaan energi listrik tertinggi dibandingkan dengan sektor lainnya yaitu sebesar 2.521,778 MWh pada tahun 2030 atau meningkat 3,47%, dengan pelanggan sebanyak 1.895,495 pelanggan. Sementara itu, permintaan energi listrik sektor pelanggan gedung pemerintah pada tahun 2030 memiliki konsumsi energi listrik paling rendah dibandingkan dari sektor pelanggan lainnya sebesar 138.927 MWh atau meningkat sebesar 10,57% dengan jumlah pelanggan sebanyak 15.978 pelanggan.
2. Simulasi prakiraan emisi gas rumah kaca dilakukan dengan menggunakan skenario *Business as Usual* (BaU) dan skenario Rencana Usaha Penyediaan Energi Listrik (RUPTL) 2021-2030. Pada skenario BaU dengan pertumbuhan populasi penduduk 1,09% dan pertumbuhan PDRB 9,85% maka total emisi gas rumah kaca pada seluruh pembangkit listrik pada periode 2024-2030 mencapai 13.430 metrik ton CO₂ ekuivalen, dengan rata-rata pertumbuhan emisi gas rumah kaca mencapai 1,7%. Kemudian dengan menggunakan skenario RUPTL 2021-2030, total emisi gas rumah kaca pada periode 2024-2030 yang dihasilkan pada seluruh pembangkit listrik di Provinsi Aceh mencapai 18.101 metrik ton CO₂ ekuivalen, dengan rata-rata pertumbuhan emisi gas rumah kaca sebesar 6%. Peningkatan persentase rata-rata pertumbuhan emisi gas rumah kaca pada skenario RUPTL 2021-2030, disebabkan oleh suplai energi listrik dari PLTU Nagan Raya dengan kapasitas 2 × 200 MW, kapasitas tersebut lebih besar dari total penetrasi pembangkit listrik EBT yang hanya 243 MW dari seluruh periode prakiraan.

5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk menghitung emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari pembangkit listrik di Provinsi Aceh untuk jangka lebih panjang hingga tahun 2050, hal ini menyesuaikan dengan target pemerintah dalam *Enhanced Nationally Determined Contribution* Indonesia tahun 2050 sebesar 31,89%.
2. Pada pembangkit listrik terisolasi (*isolated grid*) dengan jaringan transmisi 20 kV, perlu dilakukan prakiraan terhadap emisi gas rumah kaca untuk mengetahui emisi GRK yang dihasilkan dari pulau terpisah di Provinsi Aceh.
3. Untuk parameter Karbon Monoksida (CO), Sulfur Dioksida (SO₂) dan Nitrogen Oksida (NO_x) yang termasuk kepada kategori polutan udara agar dapat dimasukkan pada penelitian berikutnya untuk mengetahui jumlah polutan yang dilepas pada pembangkit listrik di Provinsi Aceh.



DAFTAR PUSTAKA

- Adiputra, I. B. B., Hartati, R. S., & Ariastina, W. G. (2018). Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Terhadap Konsumsi Energi di Provinsi Bali. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 17(3), 359.
- Afdhol, M. (2020). Analisis Prakiraan Kebutuhan Dan Ketersediaan Energi Listrik Tahun 2019-2023. *Analisis Prakiraan Kebutuhan Dan Ketersediaan Energi Listrik Tahun 2019-2023*, 2023, 17–102.
- Badan Pusat Statistik Aceh (2022). *Produk Domestik Regional Bruto Provinsi Aceh 2018-2022*.
- Amo-Aidoo, A., Kumi, E. N., Hensel, O., Korese, J. K., & Sturm, B. (2022). Solar energy policy implementation in Ghana: A LEAP model analysis. *Scientific African*, 16,
- Azhar, M., & Satriawan, D. A. (2018). Implementasi Kebijakan Energi Baru dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional. *Administrative Law and Governance Journal*, 1(4), 398–412.
- Desionasista, M. (2020). *Analisis Perencanaan Bahan Bakar Sektor Rumah Tangga Di Kota Pekanbaru Tahun 2018-2020 Menggunakan Perangkat Lunak LEAP. Tugas Akhir*. 2(1), 41–49.
- Dewi, Y. P., & Sihombing, M. (2017). Inventarisasi Sumber Emisi Gas Rumah Kaca (Greenhouse Gas) Dari Kegiatan Eksplorasi & Eksploitasi Minyak Dan Gas Bumi PT. MNO. *ReTII*, 66–71.
- Djohar, A., & Musarudin, M. (2017). Analisis Kebutuhan dan Penyediaan Energi Listrik di Kabupaten Konawe Kepulauan Tahun 2017-2036 dengan Menggunakan Perangkat Lunak Leap. *Fortei 2017*, 293–298.
- Dwiyoko, G., Sukisno, T., & Damarwan, E. S. (2020). Proyeksi Kebutuhan Energi Listrik Kabupaten Purbalingga Tahun 2030 Menggunakan Software Leap. *Jurnal Edukasi Elektro*, 4(1), 29–40.
- Ependi, S. (2020). *Pengembangan Perangkat Konversi Energi Panas Menjadi Energi Listrik*. Universitas Bandar Lampung. July, 1–23.

- Fitria, N., Hardi, S., dan Fauzi(2021). Optimasi Operasi Pembangkit Listrik Tenaga Mesin Gas (Pltmg) Arun Dengan Sistem Homer Energi. *Jurnal Tektro*, 5(1), 82.
- Harahap, E. H. S. (2019). *Analisis Prakiraan Permintaan Dan Penyediaan Energi Listrik Tahun 2019-2023 Di Kabupaten Padang Lawas*. 1–77.
- Insani, D. S., Badriana, B., & Daud, M. (2019). Analisis Peramalan Kebutuhan Energi Listrik untuk Kabupaten Bireuen Menggunakan Perangkat Lunak LEAP. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, 8(1), 32.
- Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC), 2006. *IPCC Guidelines For National Greenhouse Gas Inventories*.
- Kahar, B. (2016). *Studi dan Pemodelan Penyediaan Energi di Pulau Moti Kota Ternate Berbasis Energi Terbarukan*. 135.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2020). Inventarisasi emisi GRK bidang energi. *Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Energi Tahun 2020*, 41.
- Kementerian ESDM. (2013). Kajian Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Energi. *Pusat Data Dan Teknologi Informasi Energi Dan Sumber Daya Mineral Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral*, 1–118.
- Koloay, A. C., Tumaliang, H., & Pakiding, M. (2018). Perencanaan Dan Pemenuhan Kebutuhan Energi Listrik Di Kota Bitung. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 7(3), 285–294.
- Lewerissa, Y. J. (2018). Analisis Energi Pada Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (Pltu) Dengan Cycle Tempo. *Jurnal Voering*, 3(1), 23.
- Maheen, R., Cai, L., Zhang, Y. S., & Zhao, M. (2023). Quantitative analysis of carbon dioxide emission reduction pathways: Towards carbon neutrality in China's power sector. *Carbon Capture Science and Technology*, 7(March).
- Masus, Y. A., Tarigan, B. V, & Bale, J. S. (2019). *Analisis Kebutuhan Energi di Universitas Nusa Cendana Tahun 2018-2050 Menggunakan Perangkat Lunak Long-range Energy Alternative Planning system (LEAP)*. 06(01), 1–12.

- Muhammad Fauzi Nasri, M. T. S. U. (2015). Prediksi Konsumsi Bahan Bakar Minyak Untuk Kendaraan Darat. *Jurnal Teknik Mesin*, 3(2), 198–207.
- Nur, S. (2024). *Indonesian Geothermal Energy : History, Development and the Opportunity to Contribute on GHG Emission Reduction*. 1(5), 7–13.
- Nyarko, E., & Mahama, M. (2023). Greenhouse gas (GHG) emissions reduction in the electricity sector: Implications of increasing renewable energy penetration in Ghana’s electricity generation mix. *Scientific African*, 21 (August).
- Prayogi, U., & Sugiono, R. (2022). Analisis Global Warming Potential (Gwp) Dan Ozone Depletion Potential (Odp), Pada Refrigeran R32, R290, R407C, R410a, Sebagai Pengganti R22. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(1), 14–20.
- Perusahaan Listrik Negara (2020). *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik 2021-2030*.
- Perusahaan Listrik Negara (2019-2023). *Statistik Tahunan PLN*.
- Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon Untuk Pencapaian Target Kontribusi Yang Ditetapkan Secara Nasional Dan Pengendalian Emisi Gas Rumah Kaca Dalam Pembangunan Nasional.
- Qanun Aceh Nomor 4 Tahun 2019 Tentang Rencana Umum Energi Aceh.
- Rajagukguk, A. S. F., Pakiding, M., & Rumbayan, M. (2015). Kajian Perencanaan Kebutuhan dan Pemenuhan Energi Listrik di Kota Manado. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 4(3), 1–11.
- Ren, H. dkk, (2022). Research on Regional low-carbon development path based on LEAP model: Taking the Lin-gang Special Area as an example. *Energy Reports*, 8, 327–335.
- Ramlan, M. (2002). Pemanasan Global (*Global Warming*). *Jurnal Teknologi Lingkungan Vol.3, No. 1 hal 30-32*.
- Suhono, (2010). *Kajian Perencanaan Permintaan dan Penyediaan Energi Listrik Di Wilayah Kabupaten Sleman Menggunakan Perangkat Lunak LEAP*. Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
- Santika, W. G., (2021). Mencapai Target Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca

- Yang Lebih Ambisius Di Indonesia. *Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology* 2, hal 123-127.
- Sarkawi, D. (2011). Pengaruh Pemanasan Global Terhadap Perubahan Iklim. *Jurnal Cakrawala Volume XI No. 2 Hal 132*.
- Ugwoke, B. dkk, (2021). Low emissions analysis platform model for renewable energy: Community-scale case studies in Nigeria. *Sustainable Cities and Society*, 67(November 2020), 102750.
- United States Agency International Development (2016). *Pembiayaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Indonesia Clean Energy Development (ICED), Lembaga Pendidikan Ekonomi dan Masyarakat, Fakultas Ekonomi dan Bisnis, Universitas Indonesia (LPEM UI).
- Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2016 Tentang Pengesahan Persetujuan Paris Atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa Mengenai Perubahan Iklim.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 30 Tentang Energi.
- United Nations Framework Convention Climate On Change (UNFCCC), 2006. *Handbook*.
- Williams, J. M. (2020). LEAP User Manual and guide with Database. *The Psychological Treatment of Depression*, 213–229.
- Yudha, F. K. (2019). Potensi Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca dari Biogas Skala Rumah Tangga Tipe Floating Drum. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 110(9), 1689–1699.
- Yulianto, A. D. (2020). Perencanaan Pembangkit Listrik Berbasis Energi Terbarukan Untuk Lahan Perkebunan: Studi Kasus Di Kecamatan Bupon Kabupaten Luwu. *Tesis Teknik Elektro*. July, 1–23.

LAMPIRAN A

Perhitungan Persentase Pertumbuhan dan Validasi Perhitungan Manual

A.1 Pertumbuhan Intensitas Energi Listrik Per Sektor

Intensitas energi listrik dapat dilihat pada Tabel 4.4, data tersebut merupakan data dari 5 tahun sebelumnya. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\left(\sqrt[4]{\frac{\text{Intensitas Tahun Akhir}}{\text{Intensitas Tahun Awal}}} - 1 \right) \times 100\%$$

a) Pertumbuhan Intensitas Energi Listrik Sektor Rumah Tangga:

$$\begin{aligned} &= \left(\sqrt[4]{\frac{1.339,20}{1.329,25}} - 1 \right) \times 100\% \\ &= \left(\sqrt[4]{1.00748} - 1 \right) \times 100\% \\ &= (1.00186 - 1) \times 100\% \\ &= 0,00186 \times 100\% = 0,18\% \end{aligned}$$

b) Pertumbuhan Intensitas Energi Listrik Industri:

$$\begin{aligned} &= \left(\sqrt[4]{\frac{80.233,77}{49.315,65}} - 1 \right) \times 100\% \\ &= \left(\sqrt[4]{1.62694} - 1 \right) \times 100\% \\ &= (1.00928 - 1) \times 100\% \\ &= 0.00928 \times 100\% = 0,92\% \end{aligned}$$

c) Pertumbuhan Intensitas Energi Listrik Bisnis:

$$\begin{aligned} &= \left(\sqrt[4]{\frac{3.813,59}{3.676,98}} - 1 \right) \times 100\% \\ &= \left(\sqrt[4]{1.03715} - 1 \right) \times 100\% \\ &= (1.00916 - 1) \times 100\% \\ &= (0.00916 \times 100\%) = 0,91\% \end{aligned}$$

A.2 Pertumbuhan Pelanggan Per Sektor

Jumlah pelanggan dalam 5 tahun dapat dilihat pada Tabel 4.2. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan rumus yang sama seperti sebelumnya.

a) Pertumbuhan Pelanggan Rumah Tangga:

$$\begin{aligned}
 &= \left(\sqrt[4]{\frac{1.483.479}{1.303.772}} - 1 \right) \times 100\% \\
 &= (\sqrt[4]{1.13783} - 1) \times 100\% \\
 &= (1.03280 - 1) \times 100\% \\
 &= 0,0328 \times 100\% = 3.28\%
 \end{aligned}$$

b) Pertumbuhan Pelanggan Industri:

$$\begin{aligned}
 &= \left(\sqrt[4]{\frac{4.325}{3.236}} - 1 \right) \times 100\% \\
 &= (\sqrt[4]{1.33652} - 1) \times 100\% \\
 &= (1.07521 - 1) \times 100\% \\
 &= 0,07521 \times 100\% = 7.52\%
 \end{aligned}$$

c) Pertumbuhan Pelanggan Bisnis:

$$\begin{aligned}
 &= \left(\sqrt[4]{\frac{165.516}{126.752}} - 1 \right) \times 100\% \\
 &= (\sqrt[4]{1.30582} - 1) \times 100\% \\
 &= (1.06898 - 1) \times 100\% \\
 &= 0.06898 \times 100\% = 6,89\%
 \end{aligned}$$

A.3 Pertumbuhan Konsumsi Energi Listrik Per Jenis Sektor

Pertumbuhan konsumsi energi listrik dilakukan dengan menggunakan satuan MWh pada Tabel 4.2 . Dengan menggunakan persamaan yang sama, berikut hasil perhitungan:

a) Pertumbuhan Konsumsi Energi Listrik Rumah Tangga:

$$= \left(\sqrt[4]{\frac{\text{Tahun Akhir}}{\text{Tahun Awal}}} - 1 \right) \times 100\% .$$

$$= \left(\sqrt[4]{\frac{1.986,67}{1.733,04}} - 1 \right) \times 100\%$$

$$= \left(\sqrt[4]{1.14634} - 1 \right) \times 100\%$$

$$= (1.03473 - 1) \times 100\% = 3.47\%$$

b) Pertumbuhan Energi Listrik Industri:

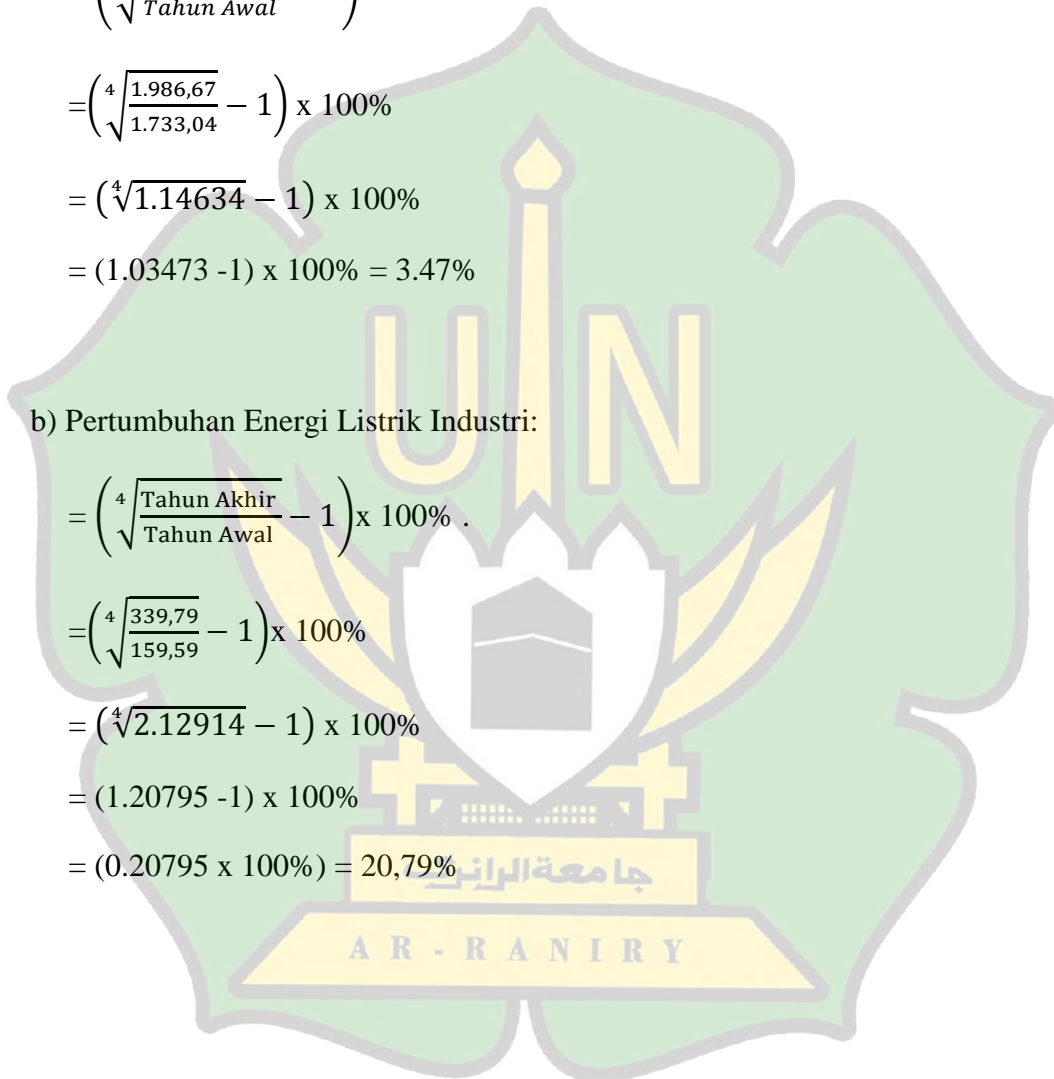
$$= \left(\sqrt[4]{\frac{\text{Tahun Akhir}}{\text{Tahun Awal}}} - 1 \right) \times 100\% .$$

$$= \left(\sqrt[4]{\frac{339,79}{159,59}} - 1 \right) \times 100\%$$

$$= \left(\sqrt[4]{2.12914} - 1 \right) \times 100\%$$

$$= (1.20795 - 1) \times 100\%$$

$$= (0.20795 \times 100\%) = 20,79\%$$



A.4 Tabel Rekapitulasi Pertumbuhan Pelanggan, Konsumsi dan Intensitas Energi Listrik Per Sektor Pelanggan

Pertumbuhan Pelanggan Per Jenis Pelanggan					
Rumah Tangga	Industri	Bisnis	Sosial	Gdg Pemerintah	P. Jalan Umum
3.28%	7.52%	6,89%	4,64%	3.10%	9,4%
Pertumbuhan Konsumsi Energi Listrik Per Sektor Pelanggan					
3.47%	20,79%	7,87%	5,65%	10,57%	2,9%
Pertumbuhan Intensitas Energi Listrik Per Sektor Pelanggan					
0.18%	0,92%	0,91%	0,72%	-0,42%	-5.93%

A.5 Validasi Pertumbuhan Penduduk

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Tahun } N = \text{Tahun}_{(N-1)} + (\text{Tahun}_{(N-1)} \times \text{Pertumbuhan})$$

$$\text{Tahun 2024} = 5.515.839 + (5.515.839 \times 0,66\%) = 5.552.243$$

$$\text{Tahun 2025} = 5.552.243 + (5.552.243 \times 0,66\%) = 5.588.887$$

$$\text{Tahun 2026} = 5.588.887 + (5.588.887 \times 0,66\%) = 5.625.773$$

$$\text{Tahun 2027} = 5.625.773 + (5.625.773 \times 0,66\%) = 5.662.903$$

$$\text{Tahun 2028} = 5.662.903 + (5.662.903 \times 0,66\%) = 5.700.278$$

$$\text{Tahun 2029} = 5.700.278 + (5.700.278 \times 0,66\%) = 5.737.899$$

$$\text{Tahun 2030} = 5.737.899 + (5.737.899 \times 0,66\%) = 5.775.769$$

A.6 Validasi Pertumbuhan Rumah Tangga

$$\text{Tahun 2024} = 1.103.167 + (1.103.167 \times 0,66\%) = 1.110.447$$

$$\text{Tahun 2025} = 1.110.447 + (1.110.447 \times 0,66\%) = 1.117.775$$

$$\text{Tahun 2026} = 1.117.775 + (1.117.775 \times 0,66\%) = 1.125.152$$

$$\text{Tahun 2027} = 1.125.152 + (1.125.152 \times 0,66\%) = 1.132.578$$

$$\text{Tahun 2028} = 1.132.578 + (1.132.578 \times 0,66\%) = 1.140.053$$

$$\text{Tahun 2029} = 1.140.053 + (1.140.053 \times 0,66\%) = 1.147.577$$

$$\text{Tahun 2030} = 1.147.577 + (1.147.577 \times 0,66\%) = 1.155.151$$

A.7 Validasi Pertumbuhan Produk Domestik Regional Bruto (PDRB)

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Tahun N} = \text{Tahun}_{(N-1)} + (\text{Tahun}_{(N-1)} \times \text{Pertumbuhan})$$

$$\text{Tahun 2024} = 227.110.203 + (227.110.203 \times 9,9\%) = 249.594.113$$

$$\text{Tahun 2025} = 249.594.113 + (249.594.113 \times 9,9\%) = 274.303.903$$

$$\text{Tahun 2026} = 274.303.903 + (274.303.903 \times 9,9\%) = 301.459.989$$

$$\text{Tahun 2027} = 301.459.989 + (301.459.989 \times 9,9\%) = 331.304.527$$

$$\text{Tahun 2028} = 331.304.527 + (331.304.527 \times 9,9\%) = 364.103.675$$

$$\text{Tahun 2029} = 364.103.675 + (364.103.675 \times 9,9\%) = 400.149.938$$

$$\text{Tahun 2030} = 400.149.938 + (400.149.938 \times 9,9\%) = 439.764.781$$

B.7 Validasi Intensitas, Pelanggan, dan Konsumsi Listrik Rumah Tangga

1. Intensitas Listrik Rumah Tangga

Persamaan yang digunakan:

$$\text{Tahun N} = \text{Tahun}_{(N-1)} + (\text{Tahun}_{(N-1)} \times \text{Pertumbuhan})$$

$$\text{Tahun 2024} = 1.329,25 + (1.329,25 \times 0,18\%)$$

$$= 1.331,64 \text{ KWh}$$

$$\text{Tahun 2025} = 1.331,64 + (1.331,64 \times 0,18\%)$$

$$= 1.334,03 \text{ KWh}$$

$$\text{Tahun 2026} = 1.334,03 + (1.334,03 \times 0,18\%)$$

$$= 1.336,43 \text{ KWh}$$

$$\text{Tahun 2027} = 1.336,43 + (1.336,43 \times 0,18\%)$$

$$= 1.338,83 \text{ KWh}$$

$$\text{Tahun 2028} = 1.338,83 + (1.338,83 \times 0,18\%)$$

$$= 1.341,23 \text{ KWh}$$

$$\text{Tahun 2029} = 1.341,23 + (1.341,23 \times 0,18\%)$$

$$= 1.343,62 \text{ KWh}$$

$$\text{Tahun 2030} = 1.343,62 + (1.343,62 \times 0,18\%)$$

$$= 1.346,03 \text{ KWh}$$

2. Pelanggan Rumah Tangga

$$\text{Tahun 2024} = 1.483.479 + (1.483.479 \times 3,28\%)$$

$$= 1.532.137 \text{ Unit Pelanggan}$$

$$\text{Tahun 2025} = 1.532.137 + (1.532.137 \times 3,28\%)$$

$$= 1.582.391 \text{ Unit Pelanggan}$$

$$\text{Tahun 2026} = 1.582.391 + (1.582.391 \times 3,28\%)$$

$$= 1.634.293 \text{ Unit Pelanggan}$$

$$\text{Tahun 2027} = 1.634.293 + (1.634.293 \times 3,28\%)$$

$$= 1.687.897 \text{ Unit Pelanggan}$$

$$\text{Tahun 2028} = 1.687.897 + (1.687.897 \times 3,28\%)$$

$$= 1.742.260 \text{ Unit Pelanggan}$$

$$\text{Tahun 2029} = 1.742.260 + (1.742.260 \times 3,28\%)$$

$$= 1.799.406 \text{ Unit Pelanggan}$$

$$\text{Tahun 2030} = 1.799.406 + (1.799.406 \times 3,28\%)$$

$$= 1.858.426 \text{ Unit Pelanggan}$$

3. Konsumsi Listrik Rumah Tangga

$$\text{Tahun 2024} = 1.986,67 + (1.986,67 \times 3,47\%)$$

$$= 2.055,60 \text{ KWh}$$

$$\text{Tahun 2025} = 2.055,60 + (2.055,60 \times 3,28\%)$$

$$= 2.126,92 \text{ KWh}$$

$$\text{Tahun 2026} = 2.126,92 + (2.126,92 \times 3,28\%)$$

$$= 2.200,72 \text{ KWh}$$

$$\text{Tahun 2027} = 2.200,72 + (2.200,72 \times 3,28\%)$$

$$= 2.277,08 \text{ KWh}$$

$$\text{Tahun 2028} = 2.277,08 + (2.277,08 \times 3,28\%)$$

$$= 2.356,09 \text{ KWh}$$

$$\text{Tahun 2029} = 2.356,09 + (2.356,09 \times 3,28\%)$$

$$= 2.437,84 \text{ KWh}$$

$$\text{Tahun 2030} = 2.437,84 + (2.437,84 \times 3,28\%)$$

$$= 2.552,43 \text{ KWh}$$

A.13 Validasi Perhitungan Manual Terhadap Permintaan Energi Listrik 2024-2030

Perhitungan dilakukan dengan mengalikan level aktivitas dengan intensitas energi listrik, level aktivitas yang digunakan adalah jumlah pelanggan dari tahun ke-n. Dengan persamaan yang digunakan sebagai berikut:

$$\text{Permintaan Tahun } N = \text{Jumlah Pelanggan Tahun } N \times \text{Intensitas Tahun } N$$

1. Permintaan Energi Listrik Rumah Tangga

$$\text{Tahun 2024} = 1.532.137 \times 1.331,64$$

$$= 2.040.254 \text{ MWh}$$

$$\text{Tahun 2025} = 1.334,03 \times 1.582.391$$

$$= 2.110.957 \text{ MWh}$$

$$\text{Tahun 2026} = 1.336,43 \times 1.634.293$$

$$= 2.184.118 \text{ MWh}$$

$$\text{Tahun 2027} = 1.338,83 \times 1.687.897$$

$$= 2.259.807 \text{ MWh}$$

$$\text{Tahun 2028} = 1.341,23 \times 1.742.260$$

$$= 2.336.771 \text{ MWh}$$

$$\text{Tahun 2029} = 1.343,62 \times 1.799.406$$

$$= 2.417.717 \text{ MWh}$$

$$\text{Tahun 2030} = 1.346,03 \times 1.858.426$$

$$= 2.501.478 \text{ MWh}$$

2. Permintaan Energi Listrik Industri

$$\text{Tahun 2024} = 80.971,92 \times 4.650$$

$$= 376,519 \text{ MWh}$$

$$\text{Tahun 2025} = 81.716,86 \times 4.999$$

$$= 408,502 \text{ MWh}$$

$$\text{Tahun 2026} = 82.468,65 \times 5.778$$

$$= 476,503 \text{ MWh}$$

$$\text{Tahun 2027} = 83.277,36 \times 6.212$$

$$= 517,318 \text{ MWh}$$

$$\text{Tahun 2028} = 84.043,51 \times 6.581$$

$$= 553,089 \text{ MWh}$$

$$\text{Tahun 2029} = 84.816,71 \times 7.075$$

$$= 600,078 \text{ MWh}$$

$$\text{Tahun 2030} = 85.597,02 \times 7.607$$

$$= 605,598 \text{ MWh}$$



LAMPIRAN B
Perhitungan Persentase Pertumbuhan Emisi Gas Rumah Kaca

B.1 Pertumbuhan Emisi Pada Semua Gas Rumah Kaca Skenario BaU

$$\begin{aligned} \text{Pertumbuhan Emisi 2024} &= \frac{\text{tahun 24}-\text{tahun 23}}{\text{tahun 23}} \times 100\% \\ &= \frac{1600-1567}{1567} \times 100\% = 2\% \end{aligned}$$

$$\text{P. E 2025} = \frac{1635-1600}{1600} \times 100\% = 2\%$$

$$\text{P.E 2026} = \frac{1673-1635}{1635} \times 100\% = 2,3\%$$

$$\text{P.E 2027} = \frac{1698-1673}{1673} \times 100\% = 1.4\%$$

$$\text{P.E 2028} = \frac{1724-1698}{1698} \times 100\% = 1.5\%$$

$$\text{P.E 2029} = \frac{1752-1724}{1724} \times 100\% = 1.6\%$$

$$\text{P.E 2030} = \frac{1781-1752}{1752} \times 100\% = 1.6\%$$

$$\text{Rata-rata Pertumbuhan Emisi BaU} = \frac{2+2+2,3+1,4+1,5+1,6+1,6}{7} = 1,77 \sim 1,7\%$$

B.2 Pertumbuhan Emisi Pada Semua Gas Skenario RUPTL 2021-2030.

$$\text{P. E 2024} = \frac{1599-1617}{1599} \times 100\% = -1\%$$

$$\text{P. E 2025} = \frac{2337-1599}{2337} \times 100\% = 31\%$$

$$\text{P. E 2026} = \frac{2418-2337}{2418} \times 100\% = 3,3\%$$

$$\text{P. E 2027} = \frac{2485-2418}{2485} \times 100\% = 2,6\%$$

$$\text{P. E 2028} = \frac{2477-2485}{2485} \times 100\% = -0,3\%$$

$$\text{P. E 2029} = \frac{2548-2477}{2548} \times 100\% = 2,7\%$$

$$\text{P. E 20230} = \frac{2648-2548}{2648} \times 100\% = 3,7\%$$

$$\text{Rata-rata Pertumbuhan Emisi RUPTL} = \frac{-1+31+3,3+2,6+-0,3+2,7+3,7}{7} = 6\%$$

LAMPIRAN C

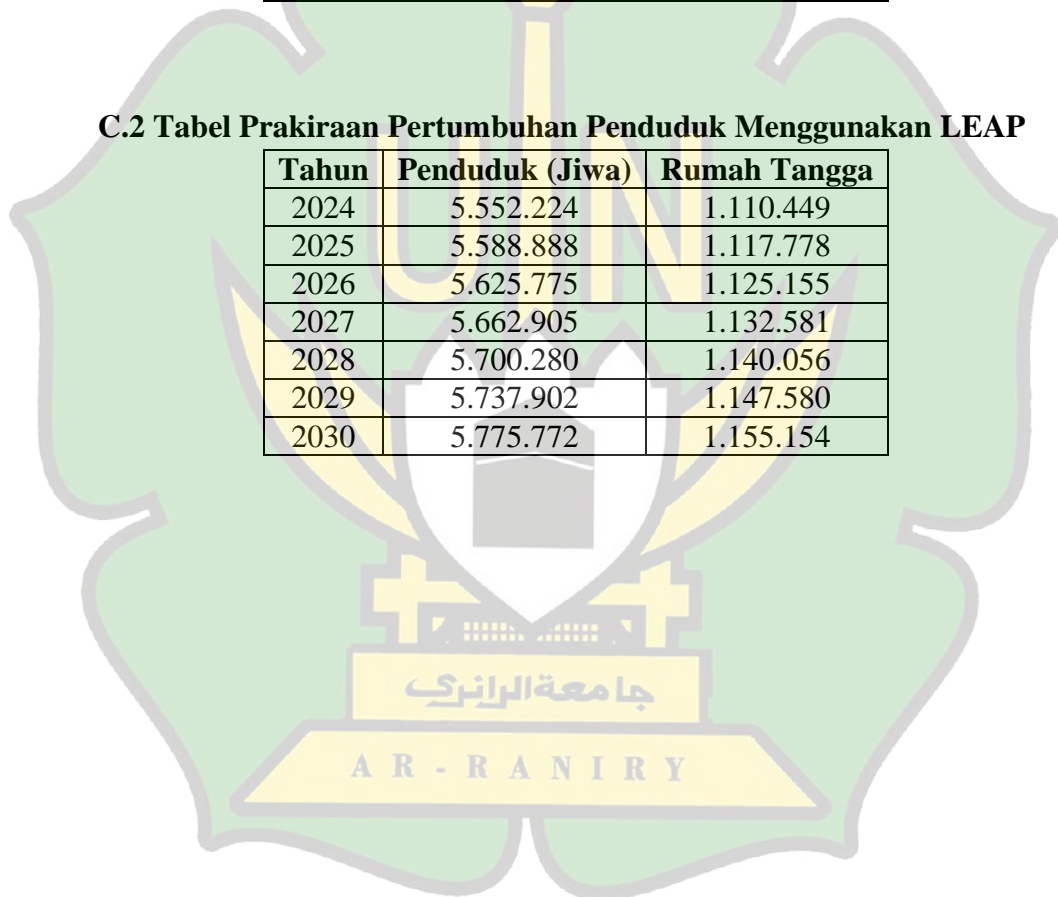
Tabel Validasi Perhitungan Manual dan Prakiraan Dengan LEAP

C.1 Tabel Validasi Perhitungan Petumbuhan Penduduk

Tahun	Penduduk (Jiwa)	Rumah Tangga
2024	5.552.243	1.110.447
2025	5.588.887	1.117.775
2026	5.625.773	1.125.152
2027	5.662.903	1.132.578
2028	5.700.278	1.140.053
2029	5.737.899	1.147.577
2030	5.775.769	1.155.151

C.2 Tabel Prakiraan Pertumbuhan Penduduk Menggunakan LEAP

Tahun	Penduduk (Jiwa)	Rumah Tangga
2024	5.552.224	1.110.449
2025	5.588.888	1.117.778
2026	5.625.775	1.125.155
2027	5.662.905	1.132.581
2028	5.700.280	1.140.056
2029	5.737.902	1.147.580
2030	5.775.772	1.155.154

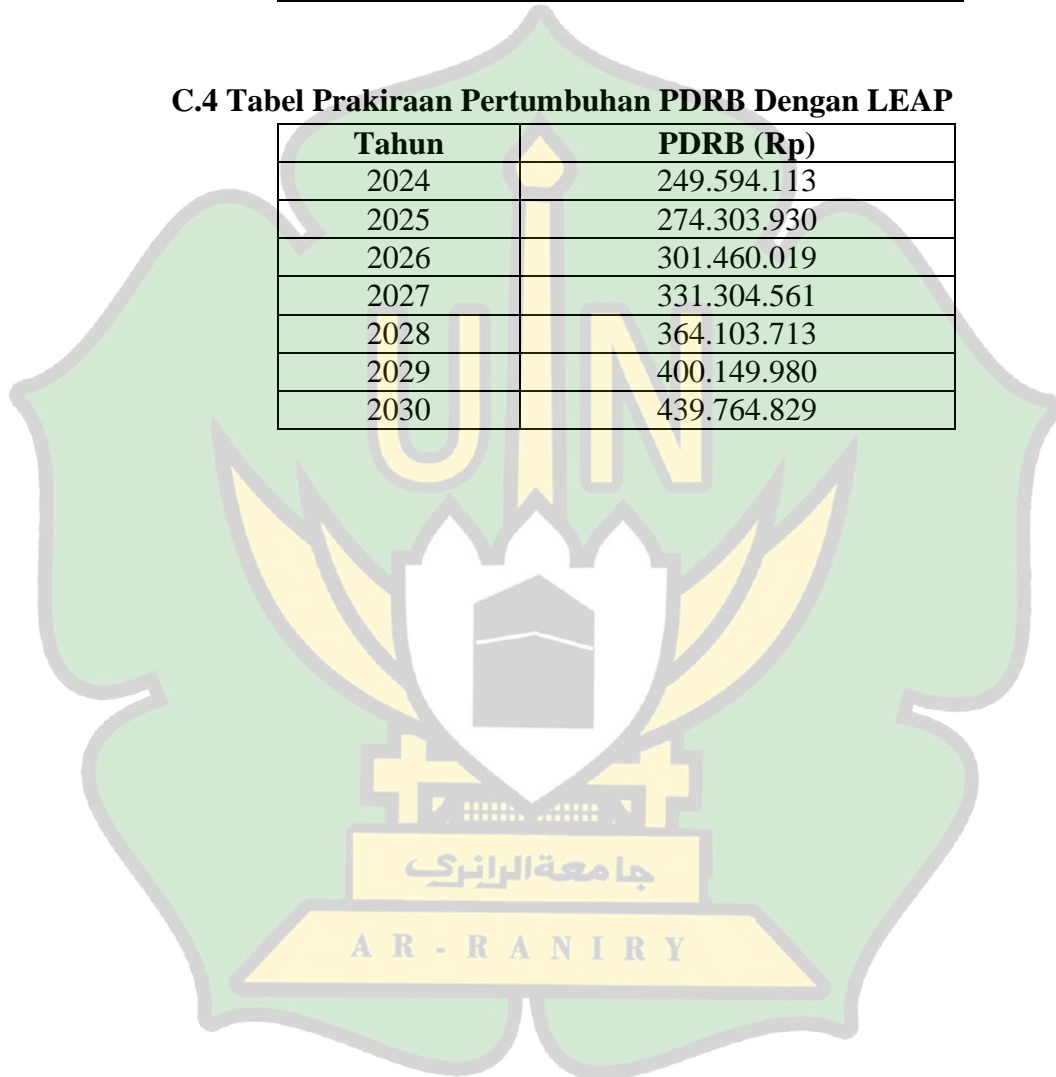


C.3 Tabel Validasi Perhitungan Pertumbuhan PDRB

Tahun	PDRB (Rp)
2024	249.594.113
2025	274.303.903
2026	301.459.989
2027	331.304.527
2028	364.103.675
2029	400.149.938
2030	439.764.781

C.4 Tabel Prakiraan Pertumbuhan PDRB Dengan LEAP

Tahun	PDRB (Rp)
2024	249.594.113
2025	274.303.930
2026	301.460.019
2027	331.304.561
2028	364.103.713
2029	400.149.980
2030	439.764.829



C.5 Tabel Validasi Perhitungan Pelanggan Per Sektor Tahun 2024-2030

Pelanggan/ Sektor (unit)	Tahun						
	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Rumah Tangga	1.532.137	1.582.391	1.634.293	1.687.897	1.742.260	1.799.406	1.858.426
Industri	4.650	4.999	5.778	6.212	6.581	7.075	7.607
Bisnis	176.920	189.109	202.138	216.065	230.951	246.863	263.871
Sosial	57.847	60.531	63.339	66.278	69.353	75.570	79.076
Gedung Pemerintah	13.304	13.716	14.141	14.860	15.320	15.794	16.283
Jalan Umum	3.220	3.522	3.853	4.215	4.611	5.044	5.518

**C.6 Tabel Prakiraan Pelanggan Per Sektor Dengan LEAP Skenario BaU
Tahun 2024-2030**

Pelanggan/ Sektor (unit)	Tahun						
	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Rumah Tangga	1.532.137	1.582.391	1.634.294	1.687.898	1.742.262	1.800.441	1.859.495
Industri	4.650	5.000	5.376	5.780	6.215	6.682	7.185
Bisnis	176.920	189.110	202.140	216.067	230.954	246.867	263.876
Sosial	57.847	60.531	63.340	66.279	69.354	75.572	75.940
Gedung Pemerintah	13.304	13.716	14.142	14.580	15.032	15.498	15.978
Jalan Umum	3.221	3.523	3.855	4.217	4.613	5.047	5.522

C.7 Tabel Validasi Perhitungan Intensitas Energi Listrik Tahun 2024-2030

Intensitas Energi Listrik (KWh/Pelanggan)							
Pelanggan	Tahun						
	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Rumah Tangga	1.331,64	1.334,03	1.336,43	1.338,83	1.341,23	1.343,62	1.346,03
Industri	80.971,92	81.716,86	82.468,65	83.277,36	84.043,51	84.816,71	85.597,02
Bisnis	3.848,29	3.883,30	3.918,63	3.954,28	3.990,26	4.026,57	4.063,21
Sosial	4.574,87	4.607,80	4.640,97	4.674,38	4.708,03	4.741,92	4.776,06
Gedung Pemerintah	8.916,98	8.879,52	8.842,26	8.805,12	8.764,13	8.768,13	8.731,30
Jalan Umum	42.810,79	40.272,11	37.883,97	35.637,45	33.643,31	31.648,26	29.771,51

C.8 Tabel Prakiraan Intensitas Energi Listrik Dengan LEAP Skenario BaU Tahun 2024-2030

Intensitas Energi Listrik (KWh/Pelanggan)							
Pelanggan	Tahun						
	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Rumah Tangga	1.331,64	1.341,61	1.344,03	1.348,86	1.351,29	1.353,73	1.356,16
Industri	78.286,95	80.016,39	80.752,54	81.495,47	82.245,22	83.001,88	83.765,50
Bisnis	3.848,29	3.883,31	3.918,65	3.954,31	3.990,29	4.026,61	4.063,25
Sosial	4.574,87	4.607,81	4.640,98	4.674,40	4.708,06	4.741,95	4.776,10
Gedung Pemerintah	8.916,98	8.879,53	8.842,23	8.805,10	8.768,11	8.731,29	8.694,62
Jalan Umum	42.810,80	40.272,12	37.883,98	35.637,46	33.524,16	31.536,18	29.666,08

C.9 Tabel Konsumsi Energi Listrik Perhitungan Manual

Intensitas Energi Listrik (KWh/Pelanggan)							
Pelanggan	Tahun						
	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Rumah Tangga	2.055,60	2.126,92	2.200,72	2.277,08	2.356,09	2.437,84	2.552,43
Industri	407.748	489,297	587,156	704,587	845,504	1.014,60	1.217,52
Bisnis	674.700	770.875	823.988	880.760	941.444	1.006,30	1.075,63
Sosial	265,28	280,268	296,103	312,832	330.507	349,180	368.908
Gedung Pemerintah	127,763	141,267	156,198	172,708	190,963	211,147	233,465
Jalan Umum	137,86	141,857	145,971	150.204	154,559	159,041	163,653

C.10 Tabel Konsumsi Energi Listrik Dengan LEAP

Intensitas Energi Listrik (KWh/Pelanggan)							
Pelanggan	Tahun						
	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Rumah Tangga	2.055.60	2.126.93	2.200.74	2.277.10	2.356.12	2.437,88	2.522.47
Industri	407.74	489.298	587.157	704.589	845.506	1.014.60	1.217.52
Bisnis	680.88	734.472	792.275	854.627	921.886	994.439	1.072.70
Sosial	265.28	280.276	296.111	312.842	330.517	349.192	368,921
Gedung Pemerintah	127.76	141.268	156.200	172.711	190.966	211.151	233.470
Jalan Umum	137.86	141.864	145.978	150.211	154.567	159.049	163.662



C.11 Tabel Validasi Perhitungan Permintaan Energi Listrik Tahun 2024-2030

Jenis Permintaan Energi Listrik (MWh)							
Pelanggan	Tahun						
	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Rumah Tangga	2.040.254	2.110.957	2.184.118	2.259.807	2.336.771	2.417.717	2.501.478
Industri	376,519	476,503	476,503	517,318	553,089	600,078	605,598
Bisnis	680,839	734,366	792,104	854,381	921,554	994,011	1.072,163
Sosial	264,642	278,914	293,954	309,808	326,553	358,346	377,671
Gedung Pemerintah	118,631	121,791	125,038	130,844	134.266	138,483	142,171
Jalan Umum	137,850	141,838	145,966	150,211	155,129	159,633	164,279

C.12 Tabel Prakiraan Permintaan Energi Listrik Dengan LEAP Skenario BaU Tahun 2024-2030

Jenis Permintaan Energi Listrik (MWh)							
Pelanggan	Tahun						
	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Rumah Tangga	2.055,526	2.126,769	2.200,480	2.276,747	2.355,657	2.437,302	2.521,776
Industri	368,703	400,077	434,120	471,060	511,144	554,638	601,833
Bisnis	680,840	734,373	792,114	854,396	921,574	994,035	1.072,193
Sosial	264,643	278,916	293,959	309,814	326,523	344,134	362,694
Gedung Pemerintah	118,632	121,796	125,044	128,379	131,803	135,318	138,927
Jalan Umum	137,882	141,898	146,031	150,284	154,662	159,166	163,802