

**ANALISIS POTENSI ENERGI BARU DAN TERBARUKAN  
DI SUMATERA UTARA SAMPAI TAHUN 2028  
DISIMULASIKAN MENGGUNAKAN LEAP**

**TESIS**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Magister Teknik (M.T.)  
Dalam Bidang Teknik Elektro

Oleh:

**Sri Ulina**

**NPM: 1920080005**



**UMSU**

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO  
PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2022**

**PENGESAHAN**

**ANALISIS POTENSI ENERGI BARU DAN TERBARUKAN DI SUMATERA UTARA SAMPAI TAHUN 2028 DISIMULASIKAN MENGGUNAKAN LEAP**

**SRI ULINA**

**NPM : 1920080005**

Program Studi : Magister Teknik Elektro

“Tesis ini telah dipertahankan di Hadapan Komisi Penguji yang dibentuk oleh Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, dinyatakan Lulus dalam Ujian Tesis dan berhak menyandang Gelar Magister Teknik Elektro (M.T) Pada Hari Senin, Tanggal 21 Maret 2022”

***Komisi Penguji***

1. **Assoc. Prof. Dr. Ir. SUWARNO, M.T**  
**Ketua**

1. ....

2. **Assoc. Prof. Dr. MUHAMMAD FITRA ZAMBAK, M.Sc**  
**Sekretaris**

2. ....

3. **Assoc. Prof. Dr. Ir. SURYA HARDI, M.Sc**  
**Anggota**

3. ....

## PENGESAHAN TESIS

Nama : SRI ULINA  
NPM : 1920080005  
Program Studi : Magister Teknik Elektro  
Konsentrasi : Manajemen Energi Listrik  
Judul Tesis : ANALISIS POTENSI ENERGI BARU DAN TERBARUKAN DI SUMATERA UTARA SAMPAI TAHUN 2028 DISIMULASIKAN MENGGUNAKAN LEAP

*Pengesahan Tesis*

Medan, 21 Maret 2022

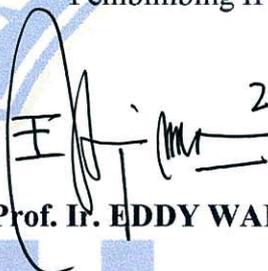
**Komisi Pembimbing**

Pembimbing I



Assoc. Prof. Dr. Ir. SYAFRUDDIN HASAN, M.Sc

Pembimbing II



Assoc. Prof. Ir. EDDY WARMAN, M.T

**Diketahui**

Direktur



Prof. Dr. TRIONO EDDY, S.H., M.Hum

Ketua Program Studi



Assoc. Prof. Dr. Ir. SUWARNO, M.T

## PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

### ANALISIS POTENSI ENERGI BARU DAN TERBARUKAN DI SUMATERA UTARA SAMPAI TAHUN 2028 DISIMULASIKAN MENGUNAKAN LEAP

Dengan ini penulis menyatakan bahwa :

1. Tesis ini disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Magister pada Program Magister Teknik Elektro Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara benar merupakan hasil karya penulis sendiri.
2. Tesis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara maupun di perguruan tinggi lain.
3. Tesis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Komisi Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
4. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
5. Pernyataan ini saya tulis dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari ternyata ditemukan seluruh atau sebagian tesis ini bukan hasil karya penulis sendiri atau adanya plagiat dalam bagian-bagian tertentu, penulis bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang penulis sandang dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Medan, 21 Maret 2022

Penulis



(Sri Ulina)

1920080005

## PERSEMBAHAN

Dengan rasa syukur , dan kerendahan hati, tesis ini saya persembahkan kepada :

- ★ Alm. Ayah R.Siagian,S.Sos dan Ibu Dra.B br Sitorus , yang telah memberikan doa-doa terbaiknya dan telah memberikan dukungan yang luar biasa.
- ★ Adik Kandung Eka Romaito Siagian, memberikan dukungan dan doa yang luar biasa.
- ★ Keluarga Siagian dan Keluarga Sitorus , yang telah memberikan motivasi dan doa-doa terbaiknya.
- ★ Teman-teman PPs UMSU yang telah memberikan warna dan kisah cerita yang tidak terlupakan.
- ★ Almamater UMSU yang telah membentuk penulis menjadi lebih baik.



" Pendidikan adalah senjata paling ampuh untuk mengubah dunia."

- *Nelson Mandela* -

"Kesenangan dalam sebuah pekerjaan membuat kesempurnaan pada hasil yang dicapai."

- *Aristoteles* -

# **ANALISIS POTENSI ENERGI BARU DAN TERBARUKAN DI SUMATERA UTARA SAMPAI TAHUN 2028 DISIMULASIKAN MENGGUNAKAN LEAP**

**Sri Ulina  
NPM : 1920080005**

## **ABSTRAK**

Energi dibutuhkan untuk melakukan aktivitas kegiatan manusia. Kebutuhan akan energi di dunia dari tahun ke tahun terus meningkat. Pemakaian energi yang ada selama ini hanya berasal dari energi fosil seperti batu bara dan minyak bumi. Cadangan energi fosil ini akan berkurang setiap tahunnya. Untuk mengatasi permasalahan ini diperlukan suatu sumber potensi energi alternatif yang dapat menggantikan energi fosil tersebut yaitu energi baru dan terbarukan. Potensi energi baru dan terbarukan menjadi salah satu sumber alternatif penyediaan dan ketahanan energi di Provinsi Sumatera Utara. Untuk menjamin ketahanan energi supaya berjalan secara berkelanjutan, maka perlu menganalisis potensi energi baru dan terbarukan di Sumatera Utara sampai tahun 2028. Penulis menggunakan *software LEAP (Long range Energy Alternative Planning system)*, dimana *software* ini dapat membantu peneliti dalam menganalisa potensi energi baru dan terbarukan di masa mendatang. Data yang digunakan untuk menganalisa potensi energi baru dan terbarukan meliputi data pertumbuhan penduduk, laju pertumbuhan penduduk dan data pendapatan perkapita, laju pertumbuhan ekonomi Sumatera Utara 2010 . Dari hasil yang diperoleh dengan menggunakan LEAP , didapati Sumatera Utara sampai tahun 2028 memiliki potensi energi baru dan terbarukan yaitu *wind* , *hydro* , dan *biomassa wood* . *Biomassa wood* memiliki potensi yang terbesar dari *wind dan hydro* di Sumatera Utara yang bisa dijadikan energi baru dan terbarukan sebesar 27,0 juta megawatt-hours sampai tahun 2028.

Kata kunci : *Potensi, Energi Baru dan Terbarukan, LEAP*

# **POTENTIAL ANALYSIS OF NEW AND RENEWABLE ENERGY IN NORTH SUMATRA UNTIL 2028 SIMULATED USING LEAP**

**Sri Ulina**  
**NPM : 1920080005**

## **ABSTRACT**

Energy is needed to carry out human activities. The need for energy in the world from year to year continues to increase. The current use of energy only comes from fossil energy such as coal and oil. This fossil energy reserve will decrease every year. To overcome this problem, an alternative energy potential source that can replace fossil energy is needed, namely new and renewable energy. The potential for new and renewable energy is one of the alternative sources of energy supply and security in North Sumatra Province. To ensure energy security so that it runs sustainably, it is necessary to analyze the potential for new and renewable energy in North Sumatra until 2028. The author uses the LEAP (Long range Energy Alternative Planning system) software, where this software can assist researchers in analyzing the potential for new and renewable energy. in the future. The data used to analyze the potential of new and renewable energy include population growth data, population growth rate and per capita income data, North Sumatra 2010 economic growth rate. From the results obtained using LEAP , it is found that North Sumatra until 2028 has the potential for new and renewable energy , namely wind , hydro , and wood biomass . Wood biomass has the greatest potential from wind and hydro in North Sumatra which can be used as new and renewable energy of 27.0 million megawatt-hours until 2028.

***Keywords:*** *Potential, New and Renewable Energy, LEAP*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas nikmat kesehatan dan kesempatan serta kemudahan yang diberikan Tuhan Yang Maha Esa kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini.

Tesis dengan judul “Analisis Potensi Energi Baru Dan Terbarukan Di Sumatera Utara Sampai Tahun 2028 Disimulasikan Menggunakan LEAP” ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Pasca Sarjana Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara.

Dalam proses penulisan tesis ini, penulis banyak mendapatkan bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak sehingga penulisan tesis ini dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya dan penghargaan yang setinggi-tingginya penulis sampaikan kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Triono Eddy, S.H.,M.Hum., selaku Direktur PPs UMSU.
2. Bapak Assoc. Prof. Dr. Muhammad Fitra Zambak,M.Sc., selaku Wakil Direktur PPs UMSU dan juga selaku Dosen Penguji.
3. Bapak Assoc. Prof . Dr. Ir. Suwarno, M.T., selaku Ketua Program Studi MTE UMSU dan juga selaku Dosen Penguji.
4. Ibu Rohana, S.T., M.T., selaku Sekretaris Program Studi MTE UMSU.
5. Bapak Assoc. Prof. Dr. Ir. Syafruddin Hasan, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing
6. Bapak Assoc.Prof. Ir.Eddy Warman,M.T, selaku Dosen Pembimbing.
7. Bapak Assoc. Prof . Dr. Ir. Surya Hardi, M.Sc., selaku Dosen Penguji.
8. Segenap Bapak dan Ibu dosen PPs MTE UMSU.
9. Seluruh Staf Biro dan Kepegawaian PPs UMSU,
10. Mahasiswa Program Studi Pascasarjana Teknik Elektro UMSU, khususnya MTE 2019 yang selalu memberi motivasi kepada penulis

Penulis menyadari penulisan tesis ini masih jauh dari kesempurnaan yang disebabkan keterbatasan dan kemampuan penulis. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat untuk kita semua.

Terimakasih.

Medan,Maret 2022

Penulis,

## DAFTAR ISI

PENGESAHAN .....	i
PENGESAHAN TESIS .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN .....	iii
PERSEMBAHAN .....	iv
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Pembatasan Masalah .....	3
1.3 Rumusan Masalah .....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB 2 KAJIAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Konsep Teoritis .....	5
2.1.1 Pengertian Biomassa .....	10
2.1.2 Jenis-Jenis Biomassa .....	11
1 Biogas.....	11
2 Kayu .....	14
3 Limbah Pertanian .....	16
2.1.3 Proses Biomassa .....	22
2.1.4 Pengkonversian Energi Biomassa Menjadi Listrik .....	27
2.1.5. LEAP .....	28

2.2	Kajian Penelitian Yang Relevan.....	43
2.3	Kerangka Konseptual .....	48
<b>BAB 3</b>	<b>METODE PENELITIAN .....</b>	<b>49</b>
3.1	Tempat dan Waktu Penelitian .....	50
3.2	Desain Penelitian .....	50
3.3	Sumber Data Penelitian .....	51
3.4	Definisi Operasional Variabel .....	51
3.5	Teknik Pengumpulan Data .....	52
3.6	Teknik Analisis Data .....	53
<b>BAB 4</b>	<b>HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>54</b>
4.1	Deskripsi Hasil Penelitian .....	54
4.2	Temuan Penelitian .....	54
4.3	Pembahasan .....	55
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>61</b>
5.1	Kesimpulan .....	61
5.2	Saran .....	61
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>62</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>66</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kapasitas Pembangkit Tenaga Listrik Nasional (MW) Berdasarkan Jenis Pembangkit 2014-2019.....	5
Tabel 2.2	Kandungan Biogas .....	12
Tabel 2.3	Nilai kesetaraan biogas dengan energi lain .....	13
Tabel 4.1	Hasil energi dan potensi Energi baru dan terbarukan SUMUT.....	58
Tabel 4.2	Hasil Akhir Energi dan Potensi Energi baru dan terbarukan Provinsi Sumatera Utara pada tahun 2028 (Juta Megawatt-Hours) ...	60

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kotoran sapi.....	12
Gambar 2.2 Alur Diagram dari kotoran menjadi listrik .....	13
Gambar 2.3 Bonggol Jagung .....	18
Gambar 2.4 Antarmuka LEAP .....	29
Gambar 2.5 Diagram Alir Perhitungan di Dalam LEAP.....	35
Gambar 2.6 Kumulatif LDC.....	41
Gambar 2.7 Kerangka konseptual .....	48
Gambar 3.1 Desain Penelitian .....	50
Gambar 4.1 Memasukkan jumlah data penduduk,data pendapatan perkapita, laju pertumbuhan ekonomi SUMUT 2010 pada LEAP .....	56
Gambar 4.2 Pertumbuhan penduduk Provinsi Sumatera Utara 2010-2028 .....	56
Gambar 4.3 Pertumbuhan ekonomi PDB Provinsi Sumatera Utara 2010-2028 .....	57
Gambar 4.4 Hasil Potensi Energi Baru dan Terbarukan di Sumatera Utara .....	58
Gambar 4.5 Balance Energy Provinsi Sumatera Utara .....	59

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1 Income .....	66
Lampiran 2 Population .....	67
Lampiran 3 Income Growth Rate .....	68
Lampiran 4 Pop Growth Rate.....	69
Lampiran 5 GDP .....	70

## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang Masalah**

Energi sebagai kelangsungan hidup yang dibutuhkan manusia di kehidupan sehari –hari semakin menipis dikarenakan penggunaan yang meningkat di masyarakat . Pasokan energi dunia sebagian besar berasal dari minyak bumi yang tidak berkelanjutan. Energi yang dibutuhkan dan diandalkan terus meningkat sesuai permintaan, sementara sumber cadangan minyak dan batu bara semakin berkurang. Beberapa macam energi yang bisa dimanfaatkan, salah satunya adalah Energi Baru Terbarukan (EBT) yang merupakan energi yang berasal dari alam dan dapat diperbaharui. Jika energi tersebut digunakan dengan baik, maka energi tersebut tidak akan habis. Pemanfaatan energi terbarukan terbagi menjadi energi yang sudah dikembangkan namun secara terbatas, dan yang sudah dikembangkan namun masih pada tahap penelitian. Sumatera Utara merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang memiliki sumber daya terbarukan seperti energi surya, angin, air, panas bumi, laut dan biomassa yang belum dimanfaatkan secara optimal .

Berdasarkan PP nomor 79 tahun 2014 mengenai Kebijakan Energi Nasional, di mana target bauran EBT sebesar 23% pada tahun 2025, dan 31% pada tahun 2050[1]. Sementara itu, Rencana Umum Energi Daerah (RUED) yang disusun oleh 34 pemerintah provinsi mengindikasikan total kapasitas terpasang energi terbarukan pada tahun 2025 mencapai 48 GW.

Target kapasitas energi terbarukan per daerah pada 2025 yang dicanangkan dalam RUED jauh lebih tinggi dan bervariasi sumbernya dibanding rencana pembangunan pembangkit yang disusun oleh PLN[2].

Berdasarkan Perpres no 22 tahun 2017 untuk mencapai pengembangan potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) akan dilakukan beberapa pemodelan PLT Bioenergi: Pengembangan Bioenergi untuk tenaga listrik diperkirakan sebesar 5,5 GW pada tahun 2025 dan 26,0 GW pada tahun 2050 atau 80% dari potensi bioenergi sebesar 32,7 GW[3]. Untuk mengetahui besarnya potensi yang tersedia di Sumatera Utara, penulis menggunakan sebuah perangkat lunak yang bernama LEAP (*Long-range Energy Alternative Planning-system*). LEAP ini akan membantu dalam melihat potensi energi untuk masa mendatang. Metodologi pemodelan dalam LEAP adalah akunting (*accounting framework*). *Accounting framework* digunakan sebagai alat untuk menganalisis implikasi dari penerapan beberapa skenario permintaan atau penyediaan energi untuk mencapai target-target yang telah ditentukan. Beberapa potensi energi baru dan terbarukan yang akan diteliti oleh penulis, merupakan energi biomassa, karena energi biomassa paling banyak sumbernya berasal dari tanaman pertanian seperti sekam padi, ampas tebu (*bagasse*), cangkang kelapa sawit, bonggol jagung, kayu, dan arang. Perangkat yang mendukung untuk melihat potensi energi baru dan terbarukan yang ditentukan penulis adalah LEAP. Berdasarkan uraian yang disampaikan, penulis melakukan penelitian tentang “***Analisis Potensi Energi Baru Dan Terbarukan Di Sumatera Utara Sampai Tahun 2028 Disimulasikan Menggunakan LEAP***”.

## 1.2 Pembatasan Masalah

Dalam penelitian ini permasalahan yang dibahas adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya membahas potensi *biomassa wood* di dalam LEAP dengan mengambil data Badan Pusat Statistik (BPS) Sumatera Utara dengan tahun dasar yaitu 2010 dan tahun akhir 2028 .
2. Data BPS yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari Badan Pusat Statistik Provinsi Sumatera Utara tahun 2010 terdiri dari data penduduk, laju pertumbuhan penduduk, ekonomi dan laju pertumbuhan ekonomi.
3. Penelitian ini tidak membahas spesifikasi potensi di masing-masing daerah Sumatera Utara, dan pembangkitnya .
4. Penelitian ini disimulasikan menggunakan LEAP ( Long-range Energy Alternativ Planning system ) versi 2020.1.0.56 untuk mengetahui potensi *biomassa wood* sebagai energi baru dan terbarukan sampai tahun 2028 di Sumatera Utara.

## 1.3 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dibahas dalam penelitian tesis ini yaitu :

1. Bagaimana parameter-parameter yang mempengaruhi potensi energi biomassa menggunakan LEAP sampai tahun 2028 ?
2. Bagaimana potensi *biomassa wood* di Sumatera Utarasampai tahun 2028 menggunakan LEAP ?

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian tesis ini yaitu :

1. Menganalisa parameter – parameter yang mempengaruhi potensi energi *biomassa wood* sebagai energi baru dan terbarukan di Sumatera Utara.
2. Menganalisa potensi energi *biomassa wood* di Sumatera Utara sampai tahun 2028 menggunakan LEAP.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian tesis ini adalah :

1. Untuk mengetahui penggunaan *Long-range Energy Alternatives Planning system* (LEAP) dan parameter- parameter yang mempengaruhi potensi energi baru dan terbarukan dan pengaplikasiannya untuk masyarakat.
2. Bagi Pemerintah Provinsi Sumatera Utara, dapat mengambil langkah atau kebijakan pembangunan yang terarah dibidang energi kelistrikan dari potensi energi biomassa sebagai energi baru dan terbarukan sampai 2028.

## BAB 2

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1. Konsep Teoritis

Bumi semakin rentan karena eksploitasi manusia yang kurang terkendali, sejumlah masalah menghadang masa depan bumi tempat kita menumpang hidup, pemanasan global dan perubahan iklim menjadi isu yang sangat menonjol, bauran energi Indonesia saat ini masih bertumpu sepenuhnya pada minyak bumi, sekitar 50% dari bauran energi berasal dari minyak bumi. Belum lagi dengan terus meningkatnya harga minyak dunia, dimana pemerintah, khususnya Indonesia tidak mungkin terus menerus menambah APBN untuk subsidi bahan bakar minyak. Padahal kita ketahui minyak bumi adalah sumber energi yang tidak terbarukan dan dalam pemanfaatannya berpotensi mengeluarkan gas efek rumah kaca yang dapat memperburuk keseimbangan bumi ini.

Tabel 2.1 Kapasitas Pembangkit Tenaga Listrik Nasional (MW)  
Berdasarkan Jenis Pembangkit 2014-2019

	2014	2015	2016	2017	2018	2019
■ PLTB Tahun	1	1	1	1	144	154
■ PLTS (termasuk PLTS Atap dan PLTS Hybrid)	23	37	47	54	64	149
■ PLTSa	14	16	16	16	16	16
■ PLTBg/Bm/Bn	1,389	1,726	1,767	1,841	1,867	1,874
■ PLTM/MH	188	239	307	344	373	418
■ PLTA	5,049	5,069	5,344	5,344	5,400	5,559
■ PLTP	1,403	1,438	1,533	1,808	1,948	2,131
■ PLTG/GU/MG	14,885	15,890	17,070	17,660	18,926	19,860
■ PLTU dan PLTU MT	23,858	26,448	28,352	30,768	31,587	34,737
■ PLTD	3,637	3,824	3,979	4,396	4,631	4,674
■ Grand Total	50,448	54,688	58,416	62,233	64,955	69,572

Sumber : Kementrian ESDM 2019

Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yang cukup besar untuk memasok kebutuhan energi khususnya listrik. Energi terbarukan merupakan energi bersih dari sisi emisi gas buang dan gas rumah kaca sehingga sangat berpotensi dikembangkan di Indonesia. Dalam rencana pengembangan energi bauran tahun 2025 energi terbarukan dapat berkontribusi hingga 15% dari total energi bauran. Dalam cetak biru pengembangan energi nasional (Pepres No. 22 Tahun 2017), pencapaian proporsi 15% tersebut didapat dari geothermal hingga 9,5 MW, mikrohidro hingga 500 MW (on grid) dan 330 MW (off grid), energi matahari hingga 80 MW, biomassa 810 MW, energi angin 250 MW (on grid) dan 5 MW (off grid), biodiesel hingga 4,7 juta kiloliter, dan gasohol 5% dari total konsumsi minyak.

Biomassa yang terdapat dalam jumlah cukup besar pada perkebunan mete di Indonesia merupakan salah satu sumber bahan baku untuk energi termal. Potensi ketersediaan biomassa dari kulit mete sangat besar. Pada tahun 2014, hasil gelondong mete sebesar 130.052 ton dari areal seluas 581.270 ha (Ditjenbun, 2012). Saat ini ekspor dalam bentuk kacang mete sekitar 2% dari total hasil sehingga apabila berat kulit mete 0,42 dari berat total gelondong mete dengan kandungan energi 4,516 kkal/kg (H.S. Couto et. al.), maka terdapat  $4,933 \times 10^9$  kkal/tahun atau setara dengan 930 ton batu bara. Limbah kulit tersebut dapat dimanfaatkan untuk menggantikan sumber energi yang digunakan selama ini. Disamping itu, sebagai negara agraris, Indonesia setiap tahun mampu menghasilkan 49 juta ton padi. Jumlah ini setara dengan 32 juta ton beras per tahun. Dalam proses penggilingan padi menjadi beras giling, diperoleh hasil samping berupa sekam (15-20%), yaitu bagian pembungkus/kulit luar biji, dedak/bekatul (8-12%) yang merupakan kulit ari,

dihasilkan dari proses penyosohan, dan menir ( $\pm 5\%$ ) merupakan bagian beras yang hancur. Apabila produksi gabah kering giling nasional 49,8 juta ton/tahun, maka akan diperoleh sekam 7,5-10 juta ton, dedak/bekatul 4-6 juta ton, dan menir 2,5 juta ton. Menurut press release Badan Pusat Statistik 1 November 2015, lebih dari 10,8 juta ton sekam dihasilkan dari 54 juta ton produksi gabah kering giling (GKG). Pemanfaatan hasil samping tersebut masih terbatas, bahkan kadang-kadang menjadi limbah dan mencemari lingkungan terutama di sentra produksi padi saat panen musim penghujan. Padahal, kandungan energi dari sekam tersebut mencapai 3,300 kkal/kg (Rahmat R., 2014). Penelitian pembakaran biomassa telah dilakukan oleh beberapa peneliti, diantaranya Huff (2012), yang meneliti pengaruh ukuran, bentuk, densitas, kadar air, dan temperatur dinding tungku terhadap waktu pembakaran kayu. Peneliti lain, Werther (2015), mengemukakan beberapa masalah yang berhubungan dengan limbah pertanian antara lain kadar air, bulk density, kadar abu, dan kadar volatile matter. Penelitian karakteristik pembakaran briket sekam telah dilakukan Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Pasca Panen Pertanian. Briket dengan campuran pati 12% dapat bertahan lama sehingga dapat mendidihkan air lebih cepat. Untuk meningkatkan pembakaran, Naruse (2013) membuat briket campuran batubara dan sekam dengan campuran 80% batubara dan 20% sekam yang dipress dalam suatu mesin. Hasilnya, penambahan sekam pada briket dapat meningkatkan kemampuan nyala briket. Akan tetapi pembakaran briket yang mengandung batubara akan menghasilkan bahan pencemar CO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, poliaromatik hidrokarbon dan logam-logam berat. Bahan-bahan tersebut sangat membahayakan kesehatan manusia. Nilai kalor rendah pada briket sekam dapat ditingkatkan dengan cara mencampurkan sekam dan bahan lain yang bernilai kalor tinggi seperti kulit mete. Pembakaran

briket campuran biomassa seperti ini belum banyak diteliti. Energi akan tetap dibutuhkan dari masa ke masa. Pada saat ini di sektor industri dan transportasi, energi digunakan sebagai bahan bakar utama penggerak sektor tersebut. Energi yang umumnya sekarang digunakan berasal dari bahan bakar fosil yaitu minyak bumi, gas alam, dan batu bara. Ketiga bahan bakar tersebut saat ini merupakan penyuplai energi terbesar di dunia. Bahan bakar fosil mampu mendominasi 81% energi primer dunia dan juga berkontribusi pada 66% pembangkit listrik global. Padahal bahan bakar tersebut termasuk sumber daya energi yang tidak dapat diperbaharui keberadaannya akan langka dan akhirnya habis. Bahkan, pada masa sekarang ini, krisis energi sudah mulai kita rasakan dan semakin hari menjadi topik yang semakin menyita perhatian, dan hampir seluruh negara di dunia ini menjadikan topik tentang krisis energi ini sebagai perhatian utama dalam program kerjanya, tak terkecuali Indonesia. Selain itu, harga bahan bakar fosil yang cenderung melonjak di pasar dunia, situasi energi ini tidak lepas dari situasi energi dunia. Menurut data dari Badan Pusat Statistik mengenai perbandingan antara konsumsi dan produksi minyak bumi nasional, dapat terlihat bahwa situasi krisis energi ini harus segera dicari solusinya. Cadangan sumber daya energi bahan bakar fosil keberadaannya sangat terbatas, maka perlu adanya kegiatan diversifikasi sumber daya energi agar ketersediaan energi di masa depan akan terjamin. Kontinuitas penggunaan bahan bakar fosil (fossil fuel) juga memunculkan ancaman serius berupa polusi akibat emisi pembakaran bahan bakar fosil ke lingkungan. Polusi yang ditimbulkan oleh pembakaran bahan bakar fosil memiliki dampak langsung maupun tidak langsung pada kesehatan manusia. Polusi langsung bisa berupa gas-gas berbahaya, seperti CO, NO<sub>x</sub>, UHC (unburn hydrocarbon), dan timbal (Pb). Sedangkan polusi tidak langsung

mayoritas berupa ledakan jumlah molekul CO<sub>2</sub> yang berdampak pada pemanasan global. Tahun 1998 merupakan tahun dimana terjadi peningkatan suhu terbesar. Peningkatan suhu ini menyebabkan pencairan es di kutub sehingga volume lautan meningkat dan ketinggian permukaan laut meningkat 10 sampai 25 cm. Bahkan diprediksikan tahun 2100, suhu di permukaan bumi akan meningkat secara tajam hingga mencapai 6 derajat Celcius. Dampak itulah yang memicu terjadinya bencana alam yang akan menurunkan kualitas hidup manusia. Berdasar atas dua hal yang telah disampaikan di atas, maka diperlukan suatu energi alternatif untuk mengurangi bahkan menghilangkan ketergantungan manusia terhadap bahan bakar fosil. Salah satu solusi yang cukup menjanjikan dalam menjawab tantangan tersebut adalah bahan bakar hayati (biofuel). Bahan bakar hayati atau biofuel adalah bahan bakar organik yang dihasilkan oleh makhluk hidup, berupa bahan padat, cair, atau gas. Biofuel dapat dihasilkan oleh makhluk hidup atau secara tidak langsung dari limbah industri, limbah domestik, peternakan, pasar tradisional, dan limbah pertanian. Penggunaan biofuel ini juga ramah lingkungan. Dari data disebutkan bahwa emisi gas yang dihasilkan, yaitu CO<sub>2</sub>, lebih sedikit sekitar 12-18% jika dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Indonesia mempunyai potensi yang sangat besar dalam menyediakan lahan pertanian maupun lahan-lahan kritis yang dapat ditanami tumbuhan sumber pangan, dan dapat juga ditanami tumbuhan energi (energy crops) yang merupakan sumber biofuel. Tingginya keanekaragaman tumbuhan dapat dimanfaatkan sebagai sumber biofuel. Selain itu tersedianya sumber daya manusia yang cukup besar yang dapat mengolah, memanfaatkan, dan menghasilkan biofuel. Menurut data dari ESDM tahun 2019 tentang total kebutuhan energi nasional,

potensi biofuel, dalam bentuk biomassa yang merupakan salah satu jenis dari biofuel, masih sangat memungkinkan untuk dikembangkan.

### **2.1.1 Pengertian Biomassa**

Biomassa adalah bahan organik yang berasal baik dari tumbuhan maupun hewan yang kaya akan cadangan energi. Sehingga setelah diubah menjadi energi disebut dengan bioenergi. Selanjutnya bioenergi tersebut yang digunakan sesuai dengan kebutuhan manusia. Di Indonesia, salah satu potensi biomassa yang cukup menjanjikan adalah dari kulit mete yang merupakan limbah dari produksi kacang mete. Pada tahun 2014, hasil gelondongan mete sebesar 130.052 ton dari areal seluas 581.270 ha . Saat ini, ekspor dalam bentuk kacang mete sekitar 2% dari total hasil sehingga apabila berat kulit mete 0,42 dari berat total gelondong mete dengan kandungan energi 4,516 kkal/kg , maka terdapat  $4,933 \times 10^8$  kkal/tahun atau setara dengan 930 ton batu bara. Limbah kulit tersebut dapat dimanfaatkan untuk menggantikan sumber energi yang digunakan selama ini .

Manusia sudah mengalami krisis energi yang disebabkan oleh penggunaan bahan bakar fosil seperti minyak bumi dan gas alam yang sangat tinggi. Fosil adalah sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui, sehingga energi alternatif yang dikembangkan untuk energi masa depan. Pengembangan energi alternatif menekankan pada sumber daya yang dapat diperbaharui sebagai pengganti bahan bakar minyak dan salah satu sumber energi tersebut adalah biogas (Suminto, 2013)[4]. Biomassa sebagai bahan organik, tersedia secara terbarukan, yang diproduksi langsung atau tidak langsung dari organisme hidup tanpa kontaminasi

dari zat lain atau limbah. Biomassa merupakan limbah hutan dan pabrik, tanaman pertanian dan limbah kayu kotoran hewan, limbah operasi ternak, tanaman air, pertumbuhan pohon dan tanaman, sampah kota dan industri (Diji, 2013)[5]. Selain digunakan untuk bahan pangan, pakan ternak, minyak nabati, bahan bangunan dan sebagainya, biomassa juga digunakan sebagai sumber energi (bahan bakar). Biomassa pada umumnya yang digunakan sebagai bahan bakar adalah yang memiliki nilai ekonomis rendah atau merupakan limbah setelah diambil produk primernya. Sumber energi biomassa mempunyai beberapa kelebihan antara lain merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable*), sehingga dapat menyediakan sumber energi secara berkesinambungan (*sustainable*).

## **2.1.2 Jenis-Jenis Biomassa**

### **1. Biogas**

Biogas merupakan jenis energi alternatif yang diproduksi melalui pemecahan bahan organik, seperti pupuk kandang, kotoran manusia, material tanaman dan lainnya. Cara membuat biogas adalah semua bahan organik tersebut diuraikan melalui proses fermentasi dengan menggunakan bantuan mikroorganisme anaerobik untuk menghasilkan gas metana dan karbon dioksida. Gas yang dihasilkan dari proses ini dapat dimanfaatkan untuk menyalakan kompor, pembangkit listrik dan juga sebagai pemanas. Komponen terbesar (penyusun utama) biogas adalah metana ( $\text{CH}_4$ , 50 - 70 %) dan karbondioksida ( $\text{CO}_2$ , 30 - 40 %)[6]. Namun, komposisi biogas

bervariasi tergantung dengan asal proses anaerobik yang terjadi. Beberapa kandungan biogas dapat dilihat Tabel 2.2.

**Tabel 2.2** Kandungan Biogas

Komponen	Persentase %
Metan (CH <sub>4</sub> )	50-70%
Karbondioksida (CO <sub>2</sub> )	30-40%
Air (H <sub>2</sub> O)	0,3%
Hidrogen sulfide (H <sub>2</sub> S)	Sedikit sekali
Nitrogen (N <sub>2</sub> )	1- 2%
Hidrogen	5-10%

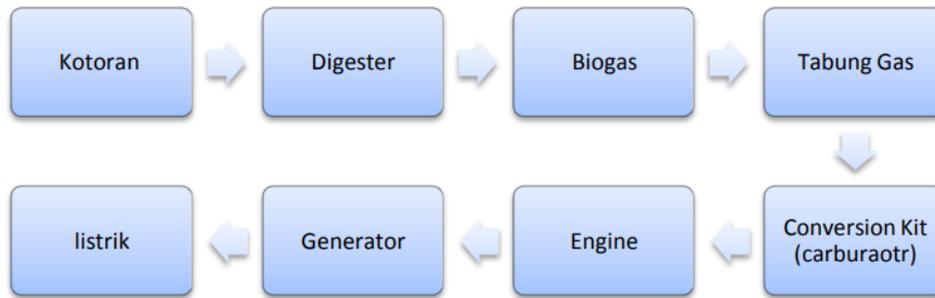
*Sumber : Diji, 2013*

Sifat fisik dan kimia dari biogas mempengaruhi pemilihan teknologi yang akan digunakan, dimana pengetahuan tentang sifat-sifat dari biogas bermanfaat untuk mengoptimalkan peralatan yang menggunakan gas ini.



**Gambar 2.1.** Kotoran sapi

*(Edi dan Adi Susanto, 2018)*



**Gambar 2.2.** Alur diagram dari kotoran menjadi listrik

Pembangkitan tenaga listrik sebagian besar dilakukan dengan cara memutar generator sehingga dihasilkan energi listrik. Energi mekanik yang diperlukan untuk menggerakkan generator di dapatkan dari mesin penggerak atau yang sering di gunakan yaitu : mesin diesel, turbin uap, turbin air, dan turbin gas. Jadi sesungguhnya mesin penggerak melakukan penggerakan energi primer menjadi energi mekanik, penggerak energi mekanik akan di kopel ke generator untuk menghasilkan energi listrik. Biogas dapat digunakan sebagai bahan bakar dan sebagai sumber energi alternatif untuk penggerak generator pembangkit tenaga listrik, biogas menghasilkan energi panas pada pembakaran dengan kesetaraan 1 kaki kubik (0,028 meter<sup>3</sup>) biogas menghasilkan energi panas sebesar 10 Btu (2,25 kkal) dan dapat dilihat di nilai kesetaraan biogas dengan sumber energi lainnya pada Tabel 2.3.

**Tabel 2.3** Nilai kesetaraan biogas dengan energi lain

Aplikasi	1m <sup>3</sup> Biogas setara dengan
1 m <sup>3</sup>	Elpiji 0,46 kg
	Minyak tanah 0,62 liter
	Minyak solar 0,52 liter
	Bensin 0,8 liter
	Kayu bakar 3,50 kg
	Listrik 4,7 kWh

## 2. Kayu

Manusia sudah menggunakan biomassa sebagai sumber energi sebelum mengenal bahan bakar fosil, misalnya dengan menggunakan kayu untuk menyalakan api unggun. Sejak manusia beralih pada minyak, gas bumi atau batu bara untuk menghasilkan tenaga, penggunaan biomassa tergeser dari kehidupan manusia (Welle, 2016)[7]. Jenis energi biomassa yang bisa dimanfaatkan sebagai energi alternatif masa depan adalah kayu. Bentuk sederhana dari biomassa dengan menggunakan kayu dibakar bisa menjadi bahan bakar[8]. Pada umumnya yang digunakan sebagai bahan bakar adalah biomassa yang nilai ekonomisnya rendah atau merupakan limbah setelah diambil produk primernya. Kayu merupakan biomassa yang sudah lama dikenal oleh masyarakat dan merupakan sumber energi terbarukan. Menurut Maharjoeno (2015), potensi biomassa yang bersumber dari kayu antara lain: limbah penggergajian kayu, limbah plywood dan limbah logging. Selain ketersediaannya cukup banyak di Indonesia, biomassa kayu juga cenderung tidak menyebabkan dampak negatif pada lingkungan (Alkarami, 2017)[9].

Energi panas yang dilepaskan oleh kayu tersebut digunakan untuk menghasilkan panas, memasak dan masih banyak lagi sehingga dalam skala besar kayu juga digunakan untuk produksi listrik, seperti pembangkit listrik tenaga uap. Meskipun begitu, jenis energi alternatif ini memiliki sejumlah kekurangan, seperti pembakaran kayu dengan emisi karbon dioksida dapat menyebabkan efek rumah kaca. Tidak perlu khawatir, karena penyebab efek rumah kaca juga dapat disiasati dengan cara menanam lebih banyak pohon. Sehingga dapat menyerap karbon dioksida dari atmosfer bumi. Penggunaan kayu sebagai bahan bakar memberikan

keuntungan yang lebih bila dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Keuntungan-keuntungan tersebut antara lain (Anonymous, 2014) :

1. Ketersediaannya melimpah Ketersediaan bahan ini pun bersifat relatif dan biasanya banyak terdapat di Indonesia karena kekayaan alamnya yang melimpah. Ini merupakan peluang bagi kita untuk mengembangkan kayu sebagai sumber energi lebih luas lagi. Sumber daya yang terbarukan (renewable resources)
2. CO<sub>2</sub> yang disisakan dari proses pembakaran 90% lebih sedikit daripada pembakaran dengan fosilfuel.
3. Mengandung lebih sedikit sulfur .

Menurut Prayitno (2017), salah satu faktor yang perlu dipertimbangkan dalam penggunaan kayu sebagai bahan energi adalah kecepatan tumbuh yang besar dengan sifat percabangan yang lebat[10]. Nilai kalor atau nilai panas adalah ukuran kualitas bahan bakar dan biasanya dinyatakan dalam British Thermal Unit (BTU) seperti dijelaskan dalam Brady (1999), yaitu jumlah panas yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu satu pound air sebesar 1°F. Nilai kalor yang dinyatakan dalam kalori berarti jumlah panas yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu 1 gram air sebesar 1°C. Nilai kalor kayu ditentukan oleh berat jenis kayu, kadar air, dan komposisi kimia kayu khususnya kadar lignin dan kadar ekstraktif. Saat ini pemanfaatan pohon sebagai salah satu jenis energi terbarukan masih dibagikan kayunya saja. Sementara bagian-bagian lainnya seperti cabang, ranting, kulit, dan daun terbuang sia-sia menjadi zat organik yang lapuk[11].

### **3. Limbah Pertanian**

Produksi energi biomassa yang dapat digunakan sebagai energi biomassa adalah limbah pertanian. Limbah pertanian yang dapat dimanfaatkan untuk energi ini adalah, tebu, jagung, kelapa sawit, padi dan lainnya. Limbah-limbah tersebut dapat diolah menjadi bahan bakar untuk menghasilkan listrik dan juga panas.

#### **a. Tebu**

Tebu (*Saccharum officinarum* L.) merupakan salah satu jenis tanaman yang hanya dapat ditanam di daerah yang memiliki iklim tropis[12]. Produksi pertanian ini dikelola di pabrik dan menghasilkan gula. Di setiap proses produksi gula, setiap tebu yang diproses dihasilkan ampas tebu sebesar 90%, 10% gula yang dimanfaatkan hanya 5% dan sisanya berupa tetes tebu (molase) dan air[13].

Tiap berproduksi pabrik gula selalu menghasilkan limbah yang terdiri dari limbah padat, cair dan gas. Limbah padat yaitu ampas tebu (bagasse), abu boiler dan blotong (filter cake). Limbah ampas tebu pada pabrik gula memiliki potensi untuk dijadikan bahan bakar transportasi ataupun pembangkit listrik. Pada pabrik gula memanfaatkan ampas tebu digunakan untuk pembakaran boiler agar memperoleh uap. Selain itu limbah tebu dapat menghasilkan energi alternatif berupa gas biomassa yang jika diproses lebih lanjut dapat menghasilkan gas hidrogen sebagai bahan bakar gas dan bahan bakar cair berupa metanol ataupun etanol. Sementara itu limbah atau sisanya dapat dimanfaatkan lagi sebagai bahan pupuk bagi pertanian[14].

Menurut rumus Pritzelwitz tiap kilogram ampas dengan kandungan gula sekitar 2,5% akan memiliki kalor sebesar 1825 kkal, dengan menurunnya kadar air

dan gula dalam ampas nilai bakar akan meningkat. Dengan penerapan teknologi pengeringan ampas yang memanfaatkan energi panas dari gas buang cerobong ketel, dimana kadar air ampas turun menjadi 40% akan dapat meningkatkan nilai bakar per kg ampas hingga 2305 kkal. Energi dikandung dari 1 kg ampas tebu sebesar 2,756 kWh dan kalori yang dihasilkan sebesar 2370,5 kcal/kg. Sedangkan daya yang dapat dibangkitkan secara teori untuk ampas tebu sebesar 2,8 MW. Secara aktual daya yang dibangkitkan berbeda-beda setiap jamnya dengan rata-rata sebesar 1,9 MW[15].

### **b.Jagung**

Jagung merupakan salah satu tanaman di bidang pertanian yang diolah sebagai bahan baku berbagai produk seperti tepung jagung (maizena), pati jagung, minyak jagung, dan pakan ternak.

Dari setiap panen jagung diperkirakan jagung (*rendemen*) yang dihasilkan sekitar 65%, sementara 35% dalam bentuk limbah berupa batang, daun, kulit, dan bonggol jagung[16]. Produksi jagung yang tinggi setiap tahunnya berdampak pada tingginya limbah yang dihasilkan terutama limbah bonggol jagung.. Limbah bonggol jagung hanya dibuang dan dibakar oleh masyarakat, dan mengamati kondisi potensi limbah bonggol jagung tersebut, maka perlu dilakukan analisa untuk mengetahui pemanfaatan energi yang dihasilkan sehingga energi yang dihasilkan pada limbah bonggol jagung digunakan sebagai energi bahan bakar alternatif untuk masa depan.

Sifat tongkol jagung yang memiliki kandungan karbon yang tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk mengeringkan 6 ton jagung dari kadar air 32.5% sampai 13.7% bb selama 7 jam diperlukan sekitar 30 kg tongkol jagung

kering per jam (Alkuino 2012)[17]. Dalam bentuk arang (char), efisiensi penggunaan energi tongkol jagung dapat ditingkatkan. Proses pembentukan arang (carbonization) menggunakan prinsip dasar proses pirolisa cepat/karbonasi cepat, dimana terjadi proses pembakaran pada suhu berkisar 150-600°C dengan udara yang sangat terbatas. Karbonisasi pada tekanan 1,2 Mpa, menyala setelah 2 menit pemanasan dan aliran udara pada autoclave dihentikan setelah 18 menit. Produktivitas fixedcarbon mencapai 100%.

Kandungan energi tongkol jagung: 3.500–4.500 kkal/ kg atau 14.7-18.9 MJ/kg, suhu pembakaran dapat mencapai 205°C Sedangkan sumber pustaka lain menyebutkan bahwa dengan karbonisasi tongkol jagung, kandungan energinya dapat mencapai 32 MJ/kg[18]. (Watson, 1988 dalam Prostowo, dkk., 1998; Mochidzuki, et al.,2002). Energi termal dari hasil pembakaran merupakan teknologi konversi biomasa yang paling tua, dan menghasilkan efisiensi panas hanya sekitar 12% (Manurung,2014)[19]. Pemanfaatan panas langsung yang paling banyak dilakukan orang adalah untuk memasak atau pengeringan dengan menggunakan tungku. Jika panas yang dihasilkan dipergunakan untuk memanaskan ketel uap maka dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan tenaga mekanis atau listrik.



**Gambar 2.3** Bonggol jagung

*(Siradjuddin Haluti, 2014)*

### **c. Kelapa sawit**

Tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) merupakan tumbuhan tropis golongan plasma yang termasuk tanaman tahunan. Tanaman Kelapa Sawit berasal dari Negara Afrika Barat. Tanaman ini dapat tumbuh subur di Indonesia, Malaysia, Thailand, Dan Papua Nugini. Kelapa Sawit merupakan tanaman yang sangat penting bagi pembangunan nasional perkebunan kelapa sawit dapat menyerap lapangan tenaga kerja yang lebih besar dan sebagai sumber devisa negara. Tanaman ini mulai diusahakan dan dibudidayakan secara komersial pada tahun 1991. orang yang pertama kali merintis usaha perkebunan kelapa sawit di Indonesia adalah Andrian Hallet seorang yang berkebangsaan Belgia yang mana telah belajar banyak tentang perkebunan kelapa sawit di Afrika (Fauzi, 2012:5). Di Indonesia sendiri, pemerintah serius menggarap program pengembangan energi alternatif pengganti minyak bumi secara menyeluruh. Itu ditunjukkan oleh terbitnya Peraturan Presiden No 5/2006 tentang Kebijakan Energi Nasional dan Instruksi Presiden No 1/2006 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati (Biofuel) sebagai Bahan Bakar Lain pada 25 Januari 2006. (Goenadi, 2012)[20].

Energi alternatif sangat dibutuhkan saat terjadi krisis bahan bakar minyak (BBM), sementara saat ini Indonesia sangat bergantung pada minyak bumi. Penelitian tentang bahan bakar alternatif sudah dilakukan di banyak negara, seperti Austria, Jerman, Prancis, dan AS. Negara ini mengembangkan teknologi biodiesel dengan memanfaatkan tanaman yang berbeda-beda. Biodiesel di Amerika Serikat dibuat dengan bahan baku kacang kedelai sesuai dengan kondisi wilayahnya. Negara Jerman memakai minyak dari tumbuhan rapeseed, AS menggunakan tanaman

kedelai, sedangkan untuk Indonesia tanaman yang paling potensial adalah kelapa sawit. (Akhairuddin, 2019: 57)[21]. Pembudidayaan tanaman ini secara komersial untuk pertama kalinya dilakukan sekitar tahun 1914 di daerah Deli Sumatera Utara, hingga saat ini telah berkembang sebagai pusat produksi kelapa sawit di Indonesia (Said, 1996). Adrien Hallet, seorang berkebangsaan Belgia dikenal sebagai perintis usaha perkebunan kelapa sawit di Indonesia, ia telah belajar banyak tentang kelapa sawit di Afrika. Budidaya yang dilakukannya kemudian diikuti oleh K. Schadt yang menandai lahirnya perkebunan kelapa sawit di Indonesia. Sejak saat itu perkebunan kelapa sawit di Indonesia mulai mengalami perkembangan (Fauzi, 2017). Iklim yang cocok untuk tanaman kelapa sawit adalah kawasan yang memiliki curah hujan yang lebih dari 1.500 mm/tahun dan yang optimum adalah 2.000 mm/tahun serta tersebar merata sepanjang tahun, lama penyinaran sinar matahari lebih dari 5 jam/hari atau 1.600 jam/tahun dengan suhu udara  $\pm 25 - 32^{\circ}\text{C}$ . Tanaman kelapa sawit mulai berproduksi pada saat berumur 3,5 - 4 tahun, dengan kemampuan produksi 10 - 15 ton tandan/Ha/tahun (Widyastuti, 2013)[22].

Berdasarkan survei yang dilakukan oleh Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi (EBTKE) Kementerian ESDM potensi energi listrik yang dihasilkan dari limbah kelapa sawit mencapai 12.654 mega watt (MW) dengan potensi terbesar terdapat di Sumatra (8.812 MW) dan Kalimantan (3.384 MW). (Sumber : <https://ekonomi.bisnis.com/read/20180124/44/730138/ini-besaran-potensi-energi-listrik-dari-limbah-kelapa-sawit>.)

#### **d.Padi**

Padi merupakan tanaman utama yang tumbuh di hampir seluruh wilayah Indonesia. Padi menghasilkan beras yang merupakan makan pokok sebagian besar masyarakat Indonesia. Pengolahan padi menjadi beras melalui beberapa tahapan pascapanen yang setiap tahapannya menyisakan limbah yang cukup banyak berupa jerami dan sekam padi. Kedua Jenis limbah olahan padi tersebut memiliki kandungan energi yang dapat dimanfaatkan lebih lanjut. Pada proses penggilingan beras sekam akan terpisah dari butir beras dan menjadi bahan sisa atau limbah penggilingan. Sekam dikategorikan sebagai biomassa yang dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan seperti bahan baku industri, pakan ternak dan energi atau bahan bakar. Dari proses penggilingan padi biasanya diperoleh sekam sekitar 20-30%, dedak antara 8-12% dan beras giling antara 50-63,5% data bobot awal gabah. Sekam dengan persentase yang tinggi tersebut dapat menimbulkan problem lingkungan. Untuk memanfaatkan limbah biomassa pengolahan padi sebagai sumber energi alternatif diperlukan informasi seberapa besar potensi energi yang dapat dimanfaatkan sehingga dapat memberikan informasi atau rekomendasi terkait pemanfaatan lanjutan apakah ekonomis untuk dikonversi menjadi energi listrik ataukah jenis energi yang lain misalnya konversi menjadi bahan bakar padat (densifikasi) atau gas (gasifikasi)[23].

Sekam padi dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan yaitu :

- a) sebagai bahan baku pada industri kimia, terutama kandungan zat kimia furfural yang dapat digunakan sebagai bahan baku dalam berbagai industri kimia.

- b) sebagai bahan baku pada industri bahan bangunan, terutama kandungan silika ( $\text{SiO}_2$ ) yang dapat digunakan untuk campuran pada pembuatan semen portland, bahan isolasi, husk-board dan campuran pada industri bata merah.
- c) sebagai sumber energi panas pada berbagai keperluan manusia, kadar selulosa yang cukup tinggi dapat memberikan pembakaran yang merata dan stabil[24].

### **2.1.3 Proses Biomassa**

Biomassa merupakan sumber energi alternatif di Indonesia yang bisa digunakan sebagai sumber energi, jumlahnya sangat melimpah dan potensi biomassa Indonesia sebesar 146,7 juta ton per tahun. Sementara potensi Biomassa yang berasal dari sampah untuk tahun 2020 diperkirakan sebanyak 53,7 juta ton[25]. Limbah yang berasal dari hewan maupun tumbuhan semuanya potensial untuk dimanfaatkan dan dikembangkan. Tanaman pangan dan perkebunan menghasilkan limbah yang cukup besar, yang dapat dipergunakan untuk keperluan lain seperti bahan bakar nabati. Pemanfaatan limbah sebagai bahan bakar nabati memberi tiga keuntungan langsung:

1. Peningkatan efisiensi energi secara keseluruhan karena kandungan energi yang terdapat pada limbah cukup besar dan akan terbuang percuma jika tidak dimanfaatkan.

2. Penghematan biaya, karena seringkali membuang limbah bisa lebih mahal daripada memanfaatkannya.

3. Mengurangi keperluan akan tempat penimbunan sampah karena penyediaan tempat penimbunan akan menjadi lebih sulit dan mahal, khususnya di daerah perkotaan[26].

Penggunaan biomassa untuk menghasilkan panas secara sederhana yaitu biomassa langsung dibakar dan menghasilkan panas. Dan panas hasil pembakaran akan dikonversi menjadi energi listrik melalui turbin dan generator. Panas hasil pembakaran biomassa akan menghasilkan uap dalam boiler. Uap akan ditransfer kedalam turbin sehingga akan menghasilkan putaran dan menggerakkan generator. Putaran dari turbin dikonversi menjadi energi listrik melalui magnetmagnet dalam generator. Agar dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar maka diperlukan teknologi untuk mengkonversi biomassa, diantaranya beberapa teknologi untuk konversi biomassa . Ada perbedaan pada alat yang digunakan untuk mengkonversi biomassa dan bahan bakar yang dihasilkan. Secara umum teknologi konversi biomassa menjadi bahan bakar dapat dibedakan menjadi tiga,

1. Pembakaran langsung, Pembakaran langsung merupakan teknologi yang paling sederhana karena pada umumnya biomassa dapat langsung dibakar. Beberapa biomassa perlu dikeringkan terlebih dahulu dan didensifikasi untuk kepraktisan dalam penggunaan.

2. Konversi termokimiawi, Konversi termokimiawi merupakan teknologi yang memerlukan perlakuan termal untuk memicu terjadinya reaksi kimia dalam menghasilkan bahan bakar.

3. Konversi biokimiawi, merupakan teknologi konversi yang menggunakan bantuan mikroba dalam menghasilkan bahan bakar.

Pemanfaatan energi biomassa dilakukan dengan beberapa cara sebagai berikut :

#### 1. Biobriket

Briket adalah salah satu cara yang digunakan untuk mengkonversi sumber energi biomassa ke bentuk biomassa lain dengan cara dimampatkan sehingga bentuknya menjadi lebih teratur. Briket yang terkenal adalah briket batubara namun tidak hanya batubara saja yang bisa dibuat menjadi briket. Contoh biomassa lain yang dibuat menjadi briket adalah sekam, arang sekam, serbuk gergaji, serbuk kayu, dan limbah-limbah biomassa yang lainnya.

Pembuatan briket tidak terlalu sulit, alat yang digunakan juga tidak terlalu rumit. Banyak jenis-jenis mesin pengempa briket mulai dari yang manual, semi mekanis, dan yang memakai mesin.

#### 2. Gasifikasi

Gasifikasi biomassa merupakan proses konversi bahan selulosa dalam suatu reaktor gasifikasi (*gasifier*) menjadi bahan bakar. Gas tersebut dipergunakan sebagai bahan bakar motor untuk menggerakkan generator pembangkit listrik. Gasifikasi merupakan salah satu alternatif dalam rangka program penghematan dan diversifikasi energi.

Selain itu gasifikasi akan membantu mengatasi masalah penanganan dan pemanfaatan limbah pertanian, perkebunan, dan kehutanan. Ada tiga bagian utama perangkat gasifikasi, yaitu :

- a. unit pengkonversi bahan baku (umpan) menjadi gas, disebut reaktor gasifikasi,
- b. unit pemurnian gas,
- c. unit pemanfaatan gas.

### 3. Pirolisis

Ada beberapa tingkatan proses pirolisis, yaitu pirolisis primer dan pirolisis sekunder. Pirolisis primer adalah pirolisis yang terjadi pada bahan baku (umpan), sedangkan pirolisis sekunder adalah pirolisis yang terjadi atas partikel dan gas/uap hasil pirolisis primer. Penting diingat bahwa pirolisis adalah penguraian karena panas lebih dari 150 0C, sehingga keberadaan O<sub>2</sub> dihindari pada proses tersebut karena akan memicu reaksi pembakaran.

### 4. *Liquification*

Proses perubahan wujud dari gas ke cairan dengan proses kondensasi, biasanya melalui pendinginan, atau perubahan dari padat ke cairan dengan peleburan, bisa juga dengan pemanasan atau penggilingan dan pencampuran dengan cairan lain untuk memutuskan ikatan. Pada bidang energi *liquification* terjadi pada batubara dan gas menjadi bentuk cairan untuk menghemat transportasi dan memudahkan dalam pemanfaatan.

## 5. Biokimia

Pemanfaatan energi biomassa yang lain adalah dengan cara proses biokimia, seperti hidrolisis, fermentasi, dan anaerobic digestion. Anaerobic digestion adalah penguraian bahan organik atau selulosa menjadi  $\text{CH}_4$  dan gas lain melalui proses biokimia. Selain anaerobic digestion, proses pembuatan etanol dari biomassa tergolong dalam konversi biokimia. Biomassa yang kaya dengan karbohidrat atau glukosa dapat difermentasi sehingga terurai menjadi etanol dan  $\text{CO}_2$ . Akan tetapi, karbohidrat harus mengalami penguraian (hidrolisis) terlebih dahulu menjadi glukosa. Etanol hasil fermentasi pada umumnya mempunyai kadar air yang tinggi dan tidak sesuai untuk pemanfaatannya sebagai bahan bakar pengganti bensin. Etanol ini harus didistilasi sedemikian rupa mencapai kadar etanol di atas 99.5%.

## 6. Densifikasi

Untuk meningkatkan manfaat biomassa dengan mudah adalah membentuk menjadi briket atau pellet. Briket atau pellet akan memudahkan dalam penanganan biomassa. Tujuannya adalah untuk meningkatkan densitas dan memudahkan penyimpanan dan pengangkutan. Secara umum densifikasi (pembentukan briket atau pellet) mempunyai beberapa keuntungan, yaitu : menaikkan nilai kalor per unit volume, mudah disimpan dan diangkut, mempunyai ukuran dan kualitas yang seragam.

## 7. Karbonisasi

Proses untuk mengkonversi bahan organik menjadi arang, . pada proses ini akan dilepaskan zat yang mudah terbakar seperti  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ , formaldehid, metana, formik dan acetyl acid serta zat yang tidak terbakar seperti  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  dan tar

cair. Gas-gas yang dilepaskan pada proses ini mempunyai nilai kalor yang tinggi dan dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan kalor pada proses karbonisasi[27].

#### 2.1.4 Pengkonversian Energi Biomassa Menjadi Listrik

Dalam pengkonversian energi biomassa menjadi energi , maka pengkonversian secara perhitungan *Real* berdasarkan persamaan energi sederhana yaitu[28]:

1 joule = 0,24 kalori.

Caranya: 1 kalori = 4,2 joule

Maka: 1 joule =  $1 / 4,2 = 0,24$  kalori

Sehingga 1 kkal =  $1000 \times 4,2$  joule = 4200 joule, atau 4,2 kilojoule

Melalui perhitungan secara *Real* melalui persamaan Energi sejenis maka dapat kita kalkulasikan potensi pemanfaatan Biomassa menjadi energi listrik yaitu[29]:

$$W = P \times t \quad (1)$$

W = Energi Listrik(Joule)

P = Daya (W)

t = Waktu(S)

Ex : P = 1000 Watt

t = 1 jam = 3600 detik

W = 1000 watt x 3600 detik = 3600000 Watt.detik

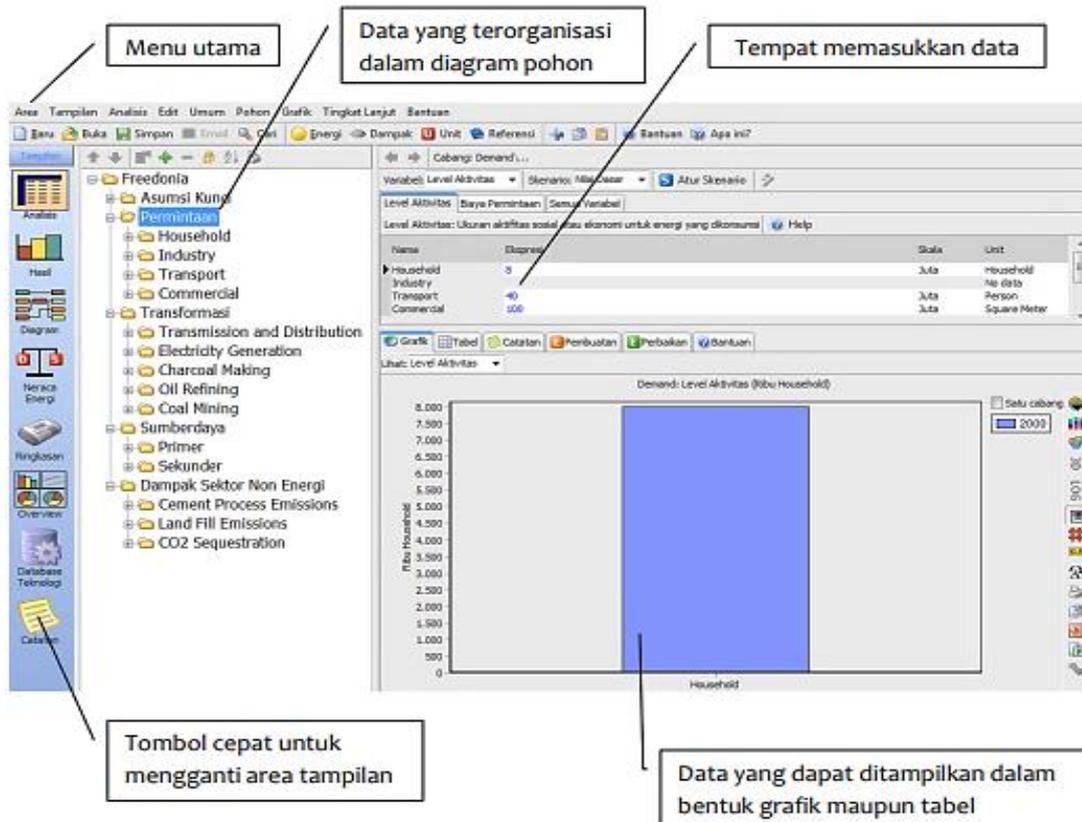
1 kWh =  $3,6 \times 10^6$  Joule

### 2.1.5 LEAP

The Long-range Energy Alternatives Planning atau kemudian disingkat menjadi LEAP adalah sebuah perangkat lunak yang dapat digunakan sebagai alat bantu dalam perencanaan/pemodelan energi-lingkungan. LEAP bekerja berdasarkan asumsi skenario yang pengguna inginkan, skenario tersebut didasarkan pada perhitungan dari proses pengkonversian bahan bakar menjadi energi hingga proses energi tersebut dikonsumsi oleh masyarakat. LEAP merupakan model yang mempertimbangkan penggunaan akhir energi (enduse), sehingga memiliki kemampuan untuk memasukkan berbagai macam teknologi dalam penggunaan energi. Keunggulan LEAP dibanding perangkat lunak perencanaan/pemodelan energi-lingkungan yang lain adalah tersedianya sistem antarmuka (interface) yang menarik dan memberikan kemudahan dalam penggunaannya serta tersedia secara cuma-cuma (freeware) bagi masyarakat negara berkembang. Dengan menggunakan LEAP, pengguna dapat melakukan analisa secara cepat dari sebuah ide kebijakan energi ke sebuah analisa hasil dari kebijakan tersebut, hal ini dikarenakan LEAP mampu berfungsi sebagai database, sebagai sebuah alat peramal (forecasting tool) dan sebagai alat analisa terhadap kebijakan energi. Berfungsi sebagai database, LEAP menyediakan informasi energi yang lengkap. Sebagai sebuah alat peramal, LEAP mampu membuat proyeksi permintaan dan penyediaan energi dalam jangka waktu tertentu sesuai dengan keinginan pengguna. Sebagai alat analisa terhadap kebijakan energi, LEAP memberikan pandangan hasil atas efek dari ide kebijakan energi yang akan diterapkan dari sudut pandang penyediaan dan permintaan energi, ekonomi, dan lingkungan. LEAP dibuat dan dikembangkan oleh Stockholm Environment Institute di Boston, Amerika Serikat, atau disebut SEI-Boston. LEAP pertama kali

dibuat pada tahun 1980, sedangkan versi terakhir dirilis pada tahun 2008. LEAP hanya mampu dijalankan di komputer yang menggunakan sistem operasi Windows.

## Antarmuka LEAP



**Gambar 2.4** Antarmuka LEAP

Untuk memberikan ilustrasi bagaimana LEAP dapat digunakan dalam berbagai persoalan energi, diberikan sebuah contoh data dalam skenario di negeri merdeka (Freedonia). Freedonia merefleksikan karakteristik yang terdapat di negara maju (industrialized/developed country) dan di negara berkembang (developing country). Secara sederhana, populasi masyarakat perkotaan (urban) digambarkan telah menikmati aliran listrik secara penuh dan mempunyai gaya hidup sesuai

dengan masyarakat negara maju, sedangkan populasi masyarakat pedesaan (rural) memiliki keterbatasan dalam mengakses energi dan mempunyai ketergantungan pada penggunaan energi dari biomasa. Latihan-latihan yang akan disajikan di sini telah didesain agar pengguna dapat memahami penggunaan LEAP dengan mudah. Untuk mempermudah latihan dan mengurangi pengulangan data masukan, latihan-latihan berikut bersifat kontinyu dan saling berkaitan.

Pengaturan parameter-parameter dasar merupakan salah satu langkah penting sebelum memulai melakukan latihan ini. Termasuk dalam pengaturan ini adalah standar satuan energi dan satuan mata uang. LEAP telah menyediakan data Freedonia yang lengkap, oleh karenanya latihan ini akan dimulai dengan membuat sebuah skenario baru yang disebut “Freedonia baru”, caranya adalah melalui menu Area, kemudian pilih sub-menu Baru. Semua data yang ada pada skenario baru ini berupa data default yang disediakan oleh LEAP, sehingga diperlukan peninjauan ulang pada parameterparameter yang ada melalui menu Umum, lalu pilih sub-menu Parameter Dasar. Di sini pengguna dapat menentukan tahun awal hitung (base year) dan tahun terakhir yang dihitung (end year), kedua parameter tersebut akan digunakan sebagai periode pemodelan.. Pada permulaan latihan, analisa permintaan energi di Freedonia hanya akan dipertimbangkan pada sektor rumah tangga. Dimulai dari mengatur “Nilai Dasar”, kemudian dilanjutkan dengan membuat sebuah skenario “Reference” yang akan digunakan untuk menguji perubahan pola konsumsi energi pada masa yang akan datang (dalam hal ini tidak ada pelaksanaan terhadap kebijakan energi baru). Pada akhir nya ini, akan dibuat sebuah kebijakan energi baru melalui pelaksanaan program peningkatan efisiensi energi, program ini diharapkan

dapat mengurangi pertumbuhan konsumsi energi di masa mendatang. Pada permulaan latihan, analisa permintaan energi di Freedonia hanya akan dipertimbangkan pada sektor rumah tangga. Dimulai dari mengatur “Nilai Dasar”, kemudian dilanjutkan dengan membuat sebuah skenario “Reference” yang akan digunakan untuk menguji perubahan pola konsumsi energi pada masa yang akan datang (dalam hal ini tidak ada pelaksanaan terhadap kebijakan energi baru). Pada akhir dari latihan ini, akan dibuat sebuah kebijakan energi baru melalui pelaksanaan program peningkatan efisiensi energi, program ini diharapkan dapat mengurangi pertumbuhan konsumsi energi di masa mendatang. Sistem Perencanaan Alternatif Energi Jangka Panjang atau biasa disingkat LEAP, metodologi yang digunakan oleh LEAP adalah struktur percontohan dengan pendekatan struktur pembukuan. Konstruksi ini dapat digunakan untuk membuat model kerangka energi dengan faktor-faktor tentang gambaran aktual kerangka energi, biaya, dan efek ekologis. Sesuatu selain menciptakan kembali pengaturan sisi pasar energi organik, LEAP dapat digunakan untuk memecah efek dari melakukan pendekatan energi. Akibatnya, struktur pembukuan digunakan sebagai instrumen untuk memecah konsekuensi melaksanakan beberapa situasi kepentingan energi atau pasokan untuk mencapai target yang telah ditentukan sebelumnya[30].

Struktur pembukuan menikmati manfaat sebagai berikut:

1. Dasar, lugas dan mudah beradaptasi, dan membutuhkan informasi penting yang sangat mendasar.
2. Reproduksi tidak selesai dengan kecurigaan kontes ideal.
3. Dapat digunakan untuk menguji pilihan inovasi atau biaya dalam pengembangan sistem energi.
4. Sangat berharga dalam aplikasi pembangunan batas.

Kemudian lagi, sistem pembukuan memiliki beberapa kelemahan, termasuk:

1. Oleh karena itu, tidak mengenali kerangka kerja biaya paling minimal, yaitu tidak sesuai untuk kerangka kerja yang sangat kompleks di mana perkiraan biaya paling minimal diperlukan.
2. Tidak layak untuk memberikan perkiraan biaya yang andal, yaitu permintaan energi yang diproyeksikan mungkin bertentangan dengan pengaturan pasokan energi yang diperpanjang.

Pada gilirannya, LEAP dapat dianggap sebagai model setengah berkembang biak yang menggabungkan perampingan, pemeragaan, dan pembukuan. Untuk memiliki opsi untuk bekerja sebagai model persilangan, LEAP bekerja dalam dua fase, menjadi hubungan pembukuan penting yang spesifik sebagai kantor implisit dan klien LEAP dapat menambahkan model rekreasi dari hasil yang diperoleh oleh LEAP.

Kantor komputasi kemajuan saat ini sebenarnya sedang dibuat di LEAP. Estimasi peningkatan harus dimungkinkan untuk memutuskan kerangka biaya yang paling minimal. Jump tidak langsung digunakan untuk menentukan kerangka biaya terkecil, namun hasil LEAP sebagai teks digunakan sebagai kontribusi untuk modul peningkatan *Open Source Energy Modeling System (OSeMOSYS)*. Konsekuensi dari perhitungan peningkatan OSeMOSYS dimasukkan sekali lagi ke dalam LEAP untuk ditampilkan sebagai efek samping dari kerangka pengeluaran terkecil[31].

Terminologi Umum dalam LEAP seperti berikut :

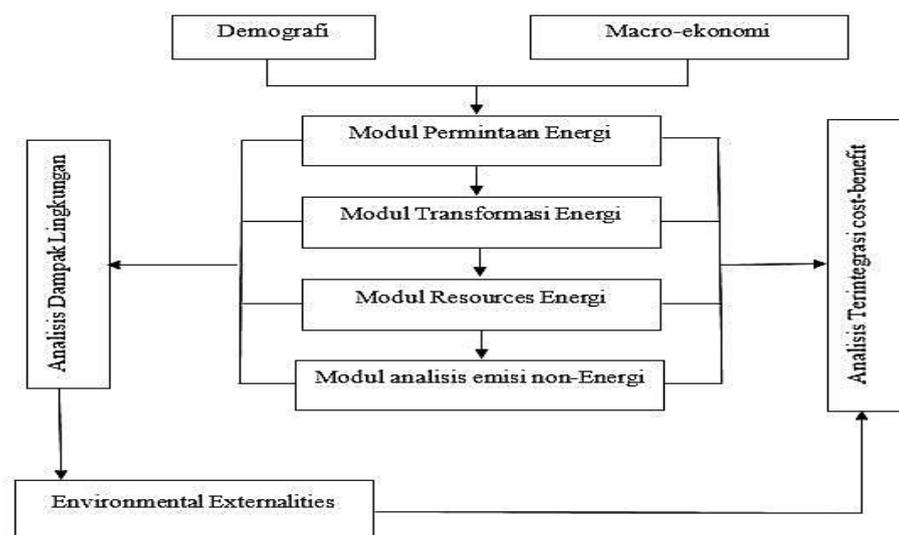
1. *Area*: sistem yang sedang dikaji (contoh: negara atau wilayah). *Current Accounts*: data yang menggambarkan Tahun Dasar (tahun awal) dari jangka waktu kajian.
2. *Scenario*: sekumpulan asumsi mengenai kondisi masa depan.
3. *Tree*: diagram yang merepresentasikan struktur model yang disusun seperti tampilan dalam Windows Explorer. Tree terdiri atas beberapa Branch:
4. *Branch*: cabang atau bagian dari Tree, Branch utama ada empat, yaitu Key Assumptions, Demand, Transformation, dan Resources. Masing-masing Branch utama dapat dibagi lagi menjadi beberapa Branch tambahan (anak cabang).
5. *Expression*: formula matematis untuk menghitung perubahan nilai suatu variabel. Expression akan muncul pada saat membuat suatu skenario.
6. *Saturation*: perilaku suatu variabel yang digambarkan mencapai suatu kejenuhan tertentu. Persentase kejenuhan adalah  $0\% \leq X \leq 100\%$ . Nilai dari total persen dalam suatu Branch dengan Saturation tidak perlu berjumlah 100 % (sebagai contoh: % saturation dari rumah tangga yang menggunakan lemari es).
7. *Share*: perilaku suatu variabel yang digambarkan mencapai suatu kejenuhan 100%. Nilai dari total persen dalam suatu Branch dengan Share harus berjumlah 100 %.

### **a.Kapabilitas Pemodelan dengan LEAP**

Jump terdiri dari 5 modul utama, khususnya modul variabel penggerak, modul pemeriksaan permintaan energi, modul perubahan energi, modul penyelidikan aset, dan modul inovasi dan efek alam. Grafik aliran perhitungan yang dilakukan oleh LEAP ditampilkan pada Gambar 2.3. Modul faktor pendorong terdiri dari faktor keuangan segmen dan skala besar. Variabel pendorong ini akan menentukan minat energi dalam kerangka energi yang ditunjukkan oleh LEAP[32].

Dalam modul pemeriksaan permintaan energi, berapa banyak energi yang tidak sepenuhnya ditentukan oleh latihan penggunaan energi. Tindakan ini ditangani oleh variabel yang dicirikan dalam variabel penggerak. Modul perubahan energi digunakan untuk menghidupkan kembali proses pasokan energi. Modul perubahan energi ini dapat terdiri dari siklus yang menghubungkan sumber energi dengan klien energi dan cara paling umum untuk mengubah energi esensial menjadi energi tambahan atau energi terakhir. Modul investigasi aset digunakan untuk menciptakan kembali aksesibilitas atau penyimpanan energi esensial. Modul ini juga dapat digunakan untuk mereproduksi latihan produk dan impor mulai dari satu bidang lalu ke bidang berikutnya. Investigasi komoditas dan impor aset energi esensial dapat dilakukan dengan melibatkan kantor teritorial di LEAP.

Modul pengujian efek alam terdiri dari modul inovasi di dalam modul permintaan energi dan modul perubahan energi sebagai modul penyelidikan efek ekologis dari area non-energi. Dari sisi permintaan energi, setiap jenis inovasi klien energi dapat diciptakan kembali untuk setiap jenis emanasi yang diciptakan. Demikian pula di sisi pasokan energi, emanasi berikutnya dapat ditiru melalui proses pasokan energi. Setiap interaksi pasokan energi yang unik akan menghasilkan berbagai pelepasan. Selanjutnya, penyelidikan efek alam dapat dilakukan secara terkoordinasi, baik dari sisi permintaan energi maupun dari sisi pasokan energi. Diagram alir perhitungan di dalam LEAP dapat dilihat pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.5** Diagram Alir Perhitungan di Dalam LEAP

Pemeriksaan keuntungan penghematan uang diselesaikan dengan menggunakan kantor modul pengeluaran di LEAP. Penyelidikan ini dapat dilakukan baik dari sisi permintaan energi maupun dari sisi penyediaan energi. Dari sisi permintaan energi, penelitian ini dapat diselesaikan untuk setiap jenis inovasi klien energi untuk jenis biaya modal, kegiatan dan dukungan, dan biaya substitusi. Dari sisi penyediaan energi, pemeriksaan yang dapat diselesaikan

adalah pemeriksaan biaya yang terdiri dari biaya modal, biaya kerja dan penunjang, biaya bahan bakar, dan biaya modul penyediaan energi yang tidak dipengaruhi oleh faktor-faktor. Sejalan pasokan energi, LEAP memberikan kantor untuk memastikan biaya yang ditimbulkan oleh pancaran yang diciptakan. Penyelidikan ini dibantu melalui modul eksternalitas iklim. Melalui modul ini, setiap biaya yang ditimbulkan untuk setiap jenis debit yang dibuat dapat diaktifkan kembali sebagai fitur pemeriksaan keuntungan penghematan uang terpadu.

Secara rundown, kerangka energi yang menunjukkan kapasitas menggunakan LEAP adalah:

1. Bunga energi:

- a. Mendemonstrasikan permintaan energi terorganisir.
- b. Permintaan energi menunjukkan adanya perubahan penggunaan jenis energi.

2. Perubahan energi:

- a. Pemeragaan jenis-jenis perubahan energi (umur daya, transmisi dan sirkulasi energi listrik, fasilitas pengolahan minyak bumi, proses pembuatan arang kayu, penambangan batubara, ekstraksi minyak, pembuatan etanol, dll).
- b. Kerangka kerja pengiriman pembangkit listrik mengingat LDC.
- c. Peragaan batas ekstensi dengan strategi eksogen dan endogen.

3. Aset energi:

- a. Permintaan, penciptaan, dan produk serta impor energi esensial.
- b. Perhitungan berbasis off-local untuk biomassa dan sumber daya yang berkelanjutan.

#### 4. Biaya:

Seluruh pengeluaran yang diperlukan dalam rangka energi yang terdiri dari biaya modal, kegiatan dan pemeliharaan, bahan bakar, efektivitas energi, dan efek alam.

- a. Efek alami:
- b. Semua pelepasan dan efek langsung dari kerangka energi
- c. Sumber area non-energi.

#### **b. Metode- Metode dalam LEAP**

LEAP adalah pemrograman yang digunakan untuk membuat ulang kerangka energi dalam situasi yang dicirikan oleh klien LEAP. Situasi ini adalah plot yang mantap yang sepenuhnya dimaksudkan untuk menggambarkan bagaimana kerangka energi tercipta selama jangka waktu tertentu. Langsung dimaksudkan untuk memiliki pilihan untuk meniru berbagai situasi baik secara mandiri atau tergabung. Situasi yang dikumpulkan dapat mengacu pada situasi yang berbeda. Setiap situasi akan mengacu pada kondisi yang digambarkan pada tahun dasar sebagai rekor saat ini. Oleh karena itu, perhitungan yang dilakukan dalam LEAP tidak prescient atau proyektif[33].

Pemeriksaan permintaan energi di LEAP bermaksud untuk memutuskan bunga dan biaya energi yang secara langsung terkait dengan pemanfaatan energi dalam model kerangka energi. Permintaan energi ditampilkan dengan berbagai struktur level yang dapat disesuaikan. Permintaan energi dapat dipesan berdasarkan area klien energi, sub-area klien energi, dan jenis inovasi klien energi. Penyelidikan permintaan energi harus dimungkinkan dengan beberapa

teknik, khususnya pemeriksaan penggunaan akhir energi, dugaan ekonometrik, dan model perputaran persediaan.

Strategi komputasi permintaan energi dilakukan dengan menggunakan dua metodologi, yaitu investigasi energi terakhir yang spesifik dan pengujian energi yang berharga. Dalam pemeriksaan energi terakhir, LEAP menghitung minat energi, berapa banyak energi yang dibutuhkan) secara langsung sesuai dengan aksi di area energi dan gaya energi terakhirnya. Tindakan energi ditangani oleh faktor pendorong yang dapat berupa informasi segmen atau informasi keuangan skala besar. Sementara itu, daya energi adalah energi yang dikonsumsi per satuan gerakan. Misalnya, kepentingan energi untuk industri beton dapat diselesaikan dengan melihat berapa banyak beton yang dikirim (dalam kg atau ton) dan energi yang dibutuhkan untuk membuat beton per satuan berat (ukuran energi per kg beton atau per ton beton).

Di sisi catu daya, rekreasi yang diselesaikan oleh LEAP tergantung pada dua hal, yaitu perpanjangan khusus batas pembangkit tenaga dan aturan pengiriman usia daya. Perpanjangan batas pembangkit tenaga dimaksudkan untuk menentukan batas pembuatan tambahan dan jenisnya serta keadaan perluasan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik. Sementara itu, Dispatch bermaksud untuk memutuskan bagaimana pembangkit listrik bekerja setelah dibuat. Penjaminan perpanjangan batas force plant dalam LEAP harus dimungkinkan dengan 2 cara, yaitu eksogen dan endogen spesifik. Perpanjangan batas pembangkit tenaga listrik eksogen diselesaikan secara fisik dengan memasukkan nilai batas dan waktu penambahan batas seperti rencana pensiun pembangkit. Untuk sementara, perkembangan endogen batas usia paksa diselesaikan oleh LEAP. Jump akan menentukan berapa

limit dan jam penambahan limit sesuai dengan jenis force plant yang telah diselesaikan sebelumnya. Dalam menentukan batas endogen, batas yang dibuat oleh LEAP berencana untuk mempertahankan keunggulan yang telah ditentukan sebelumnya.

Ada dua teknik untuk mengirimkan kerangka usia daya di LEAP, yang secara khusus didasarkan pada usia daya yang tercatat dan berdasarkan aturan pengiriman kerangka usia daya. Teknik aturan pengiriman dalam LEAP dimulai dari yang paling sederhana memanfaatkan tingkat usia energi listrik hingga strategi permintaan legitimasi dan biaya operasional. Jump juga dapat mereproduksi berbagai jenis kerangka kerja dengan berbagai strategi pengiriman. Misalnya, jenis pembangkit listrik dengan energi esensial dari daya ramah lingkungan menggunakan pengiriman berdasarkan tingkat usia daya, sementara berbagai jenis pembangkit listrik menggunakan strategi pengiriman berdasarkan meritorder.

Untuk perkiraan biaya kerangka usia tenaga, LEAP memainkan perhitungan keuntungan penghematan uang menurut perspektif biaya sosial dengan memastikan semua pengeluaran yang terkait dengan kerangka energi yang ditunjukkan dan kemudian melihat efek dari perhitungan biaya dari beberaparencana situasi. LEAP melakukan perhitungan elemen-elemen biaya yang terdiri dari:

1. Biaya dari sisi permintaan energi yang dapat dikomunikasikan sejauh biaya absolut, biaya per tindakan, atau biaya produktivitas energi dibandingkan dengan suatu keadaan.
2. Biaya modal perubahan energi.

3. Biaya tetap dan variabel untuk aktivitas dan dukungan.
4. Pengeluaran aset energi esensial (biaya bahan bakar).
5. Biaya aset energi esensial yang diimpor.
6. Keuntungan biaya dari latihan perdagangan aset energi esensial.
7. Biaya eksternalitas kontaminasi dari area perubahan energi.
8. Pengeluaran berkarakteristik lainnya, misalnya, biaya program produktivitas energi.

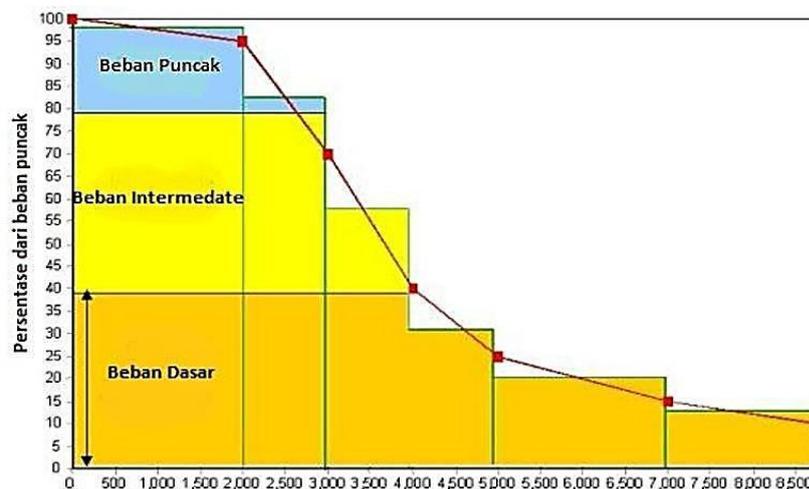
### **c. Perhitungan Permintaan Energi**

Dalam LEAP, estimasi permintaan energi dilakukan dengan menggunakan dua strategi, yaitu strategi energi terakhir dan teknik bantuan energi. Dalam penyelidikan permintaan energi terakhir, permintaan energi ditentukan sebagai hasil dari tingkat gerakan dan kekuatan energi. Tingkat pergerakan adalah proporsi tindakan sosial dan finansial yang mempengaruhi minat energi. Sementara itu, daya energi adalah pemanfaatan energi normal per inovasi klien energi atau per unit tingkat tindakan[34].

### **d. Proses Dispatch Pembangkit Listrik**

Dalam perkiraan perampingan, pembangkit listrik dikirim berdasarkan biaya operasional. Dengan strategi pengiriman ini, modul usia daya harus menyertakan heap span bend (LDC). Selain itu, LEAP akan meniru pengiriman setiap jenis proses usia gaya baik untuk memenuhi listrik yang tidak diatur oleh LDC dan kebutuhan energi listrik secara umum.

Untuk mereproduksi proses pengiriman pembangkit listrik, LEAP pertama-tama memposisikan proses usia daya seperti yang ditunjukkan oleh permintaan prestasi yang telah ditentukan sebelumnya. Data dari sistem pengurutan ini digunakan untuk menentukan batas yang dapat diakses sehubungan dengan setiap kumpulan permintaan legitimasi. Oleh karena itu, setiap pertemuan dengan permintaan legitimasi yang sama akan dikirim sepanjang waktu. Kemudian, LEAP akan mengadopsi strategi diskrit ke LDC yang tidak diatur dalam batu dan dipisahkan menjadi rentang waktu yang dipotong dapat dilihat pada Gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Komulatif LDC

Gambar 2.6. tinggi setiap rentang beban rangka puncak yang diperlukan ditingkatkan dengan tingkat beban puncak normal dari dua fokus yang berdekatan pada tikungan LDC yang telah ditentukan sebelumnya. Sedangkan lebar setiap bentang adalah perbedaan jumlah jam untuk dua tempat yang berdekatan. Selain itu, setiap proses umur daya dikirim dengan memperhatikan bentang vertikal untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di bawah tikungan LDC[35]. Pembangkit listrik untuk memenuhi beban dasar diberangkatkan

terlebih dahulu, diikuti oleh generator berikutnya yang digunakan untuk memenuhi beban setengah jalan dan beban puncak. Untuk mengatasi aksesibilitas khusus yang normal dari setiap pembangkit listrik, ketinggian terbesar dari setiap bentangan adalah batas yang dapat diakses (yaitu jumlah batas yang ditingkatkan oleh aksesibilitas paling ekstrem) untuk setiap kumpulan proses usia kekuatan. Setiap genset diberangkatkan sampai daerah di bawah tikungan LDC terisi penuh. Ketika batas yang dapat diakses melebihi jumlah yang diperlukan, batas asli untuk setiap interaksi yang dikirim dikurangi sedemikian rupa sehingga setiap siklus dikirim sehubungan dengan batas yang dapat diakses.

#### **e.Pertumbuhan Jumlah Penduduk.**

Penduduk sangat membutuhkan energi listrik yang dapat menopang jadwal keseharian mereka. Seiring bertambahnya jumlah penduduk di suatu negara atau wilayah, kebutuhan energi listrik juga akan meningkat. Peningkatan populasi adalah komponen yang sangat dominan dalam mempengaruhi tingkat signifikansi energi listrik dengan sedikit memperhatikan pergantian peristiwa moneter dan modern. Dengan demikian, dalam memasukkan potensi kebutuhan ketahanan energi listrik, diperlukan data yang benar mengenai jumlah penduduk dalam beberapa tahun ke depan dan perluasan penduduk dalam beberapa tahun mendatang[36].

## 2.2 Kajian Penelitian Yang Relevan

Adapun beberapa penelitian mengenai Perkiraan Konsumsi Energi Listrik yang telah dilakukan sebelumnya yaitu :

1. Menurut S.Z. Ihsan dkk (2020), Energi listrik memiliki peranan yang sangat penting dalam kehidupan manusia, energi listrik banyak digunakan di berbagai sektor, baik industri, rumah tangga, bisnis, sektor pelayanan publik dan lain- lain. Untuk mencapai penyesuaian antara pembangkitan dan permintaan tenaga listrik, penyedia tenaga listrik harus mengetahui beban atau kebutuhan tenaga listrik untuk beberapa waktu ke depan dengan memproyeksikan kebutuhan tenaga listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya kebutuhan energi listrik di Kota dan Kabupaten Magelang hingga tahun 2030. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data historis konsumsi listrik, data penduduk Kota dan Kabupaten Magelang dan data rasio elektrifikasi . Pengolahan data untuk memprediksi tingkat konsumsi listrik menggunakan software LEAP (*Long-range Energy Alternatives Planning System*). Permintaan dihitung berdasarkan jumlah aktivitas konsumsi energi listrik dan jumlah konsumsi energi listrik per aktivitas (intensitas energi). Tahun 2012 merupakan tahun dasar perhitungan. Hasil yang diperoleh dari prediksi kebutuhan energi listrik di Kota Magelang tahun 2015-2030 menunjukkan tren positif yaitu meningkat dari 7.595.544kWh menjadi 87.716.689.6kWh. Pertumbuhan untuk periode tersebut adalah 15,36%. Untuk Kabupaten Magelang meningkat dari 468.170.138kWh menjadi 1.098.322.616,4kWh pada tahun 2030. Pertumbuhan pada periode tersebut sebesar 4,7%[37].

2.Sedangkan menurut J.S. Setyono (2019), Semarang adalah kota metropolitan terbesar di Jawa Tengah, Indonesia dengan penggunaan kekuatan metropolitan yang intens untuk membantu latihan daerah. Tenaga listrik utama untuk kota Semarang disediakan oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN), dan diperoleh dari turunan minyak bumi yang tidak wajar dan memiliki bahaya kerusakan ekologi yang tinggi. Pemerintah pusat berupaya mengurangi ketergantungan pada produk minyak bumi dengan membangun Kebijakan Energi Nasional (KEN) untuk memperluas pemanfaatan listrik ramah lingkungan (EBT) sekitar 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050. Untuk membantu tujuan ini, negara bagian terdekat perlu mengambil bagian dalam memahami penggunaan energi berkelanjutan. EBT di wilayahnya masing-masing. Motivasi di balik tinjauan ini adalah untuk memutuskan mata air EBT di Kota Semarang yang memiliki potensi terbaik untuk diciptakan sebagai energi perdagangan untuk persediaan listrik. Kajian ini menggunakan teknik penjelasan kuantitatif dan investigasi Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk mengetahui kemampuan EBT di setiap daerah. Konsekuensi dari tinjauan ini menunjukkan bahwa pengisi daya bertenaga matahari adalah sumber energi EBT yang paling besar kemungkinannya dengan penggantian yang diharapkan pada tahun 2025 sekitar 19% dari minat listrik habis di Semarang dan 12% pada tahun 2050[38].

3.Selanjutnya menurut B. Waluyo (2013), Provinsi Lampung merupakan wilayah dengan wilayah yang esensial sebagai pintu keluar masuknya perekonomian dari Pulau Jawa ke Andalas atau sebaliknya. Selain itu, potensi aset reguler sangat cukup besar untuk dimanfaatkan sebagai modal dasar dan pengembangan, termasuk potensi aset energi. Bunga energi dari satu tahun ke tahun lainnya pada dasarnya meningkat.

Dengan asumsi jalur transportasi yang tepat antara Jawa dan Sumatera diakui, diyakini kebutuhan energi akan meningkat secara signifikan. Hingga saat ini, sebagian besar pasokan energi di Lampung dipasok dari berbagai daerah seperti Jawa dan berbagai wilayah di Sumatera. Sejalan dengan ini, penting untuk memperkirakan pasokan energi untuk beberapa waktu untuk mendapatkan pasokan energi yang tepat yang dimaksudkan untuk mengatasi masalah energi di kemudian hari. Dalam tinjauan ini, tinjauan proyeksi penyediaan energi di wilayah Lampung menggunakan adaptasi program LEAP (*Long-range Energy Alternative Planning framework*). Kajian tersebut bergantung pada proyeksi kebutuhan energi yang ada dan dengan mempertimbangkan informasi potensi energi yang ada di Provinsi Lampung. Lampung, seperti batu bara, panas bumi, biogas dari kompos sapi dan banteng, biodiesel sawit dan bioetanol dari batang gula, ubi dan singkong. Hasil penelitian menunjukkan bahwa stok listrik dari tahun 2014 hingga 2030 melampaui minat energi listrik di wilayah Lampung karena aktivitas pembangkit listrik tenaga panas bumi. Untuk area biogas, diproyeksikan menjelang awal tahun akan menggantikan gas LPG sebesar 12% dan menjelang akhir proyeksi menjadi 8% karena kecilnya pengembangan peternakan sapi perah dan bison. Untuk wilayah biodiesel, stoknya adalah 64% menjelang awal proyeksi, namun berkurang menjelang akhir proyeksi menjadi 30% karena pengembangan wilayah kelapa sawit yang sangat rendah. Di bidang bioetanol, sedari awal proyeksi hanya siap membantu penurunan utilisasi bahan bakar hingga 4%, dengan alasan bioetanol hanya kombinasi jadi tidak kritis. Sangat mungkin diduga bahwa pembangkit listrik ramah lingkungan yang dominan di Provinsi Lampung adalah energi panas bumi, kompos biogas dan gasifikasi tongkol jagung[39].

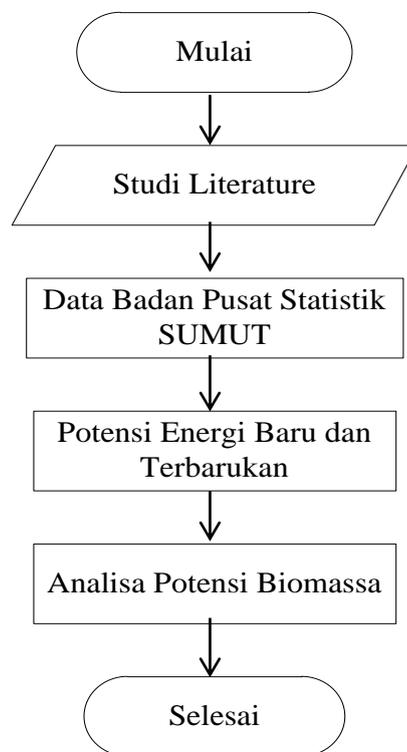
4. Menurut Y. Badruzzaman (2013), Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta merupakan salah satu daerah di Indonesia yang tidak memiliki kemampuan daya yang tidak ramah lingkungan.

Permintaan energi seperti minyak, batu bara, dan gas disediakan dari berbagai daerah. Energi listrik juga disediakan dari organisasi interkoneksi Jawa-Madura-Bali(JAMALI). Tinjauan ini berencana untuk menilai status penggunaan energi saat ini, memproyeksikan pemanfaatan dan pasokan energi dengan mempertimbangkan fokus perpaduan energi untuk mencapai harga proporsi fleksibilitas di bawah Ujian ini adalah ulasan penataan kepentingan dan penyediaan energi di Daerah Istimewa Yogyakarta dengan memanfaatkan model LEAP (Sistem Perencanaan Alternatif Energi Jangka Panjang) varian: 2011.0.0.40. Studi permintaan Selanjutnya penyediaan energi dilakukan selama tujuh belas tahun berikutnya mulai tahun 2008 sampai dengan 2025. Hasil pemeriksaan permintaan energi menunjukkan bahwa area klien energi yang paling penting adalah transportasi dan area keluarga. Untuk memiliki opsi untuk memenuhi tujuan proporsi fleksibilitas energi, itu selesai Dimulai dengan mengurangi penggunaan energi di bidang transportasi dan pembangkit listrik keluarga. Daerah transportasi menggunakan energi sebesar 53,49%, namun menawarkan manfaat tambahan bagi PDRB umumnya sedikit yaitu setara dengan 10,69%. Area utilitas (listrik, air dan gas) dengan tingkat pemanfaatan energi sebesar 36,41% dengan peningkatan PDRB sebesar 0,91%. Uang muka selanjutnya adalah memajukan pembangunan keuangan di bidang bisnis dan agraria. Area bisnis adalah daerah penyumbang PDRB tertinggi pertama sebesar 23,90% dengan pemanfaatan energi hanya 4,25%. Areal agraris memberikan manfaat tambahan terhadap PDRB sebesar 18,59% dan penggunaan energinya seperti apa adanya 0,50%. Dengan Potensi saat ini, umur listrik ramah lingkungan tahun 2011 bisa mewakili 0,88% dari beban lengkap. Pada tahun 2025, itu diandalkan untuk memiliki opsi untuk menambah memadukan energi sebesar 5% [40].

5. Menurut G. Dwiyoiko dkk (2020), Motivasi di balik tinjauan ini adalah untuk memproyeksikan kebutuhan energi listrik setiap area klien dan beban puncak di Kabupaten Purbalingga hingga tahun 2030 dengan menggunakan program LEAP. Hasil proyeksi tersebut dijadikan acuan dalam inventarisasi energi listrik di Kabupaten Purbalingga untuk menjamin aksesibilitas tenaga listrik di Kabupaten Purbalingga. Strategi proyeksi permintaan energi listrik ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan *Econometric, Trend*, dan *End Use*. Tahap pergantian event dan assembling terdiri dari: (1) pemeriksaan prasyarat, (2) rencana reproduksi, (3) tahap reenactment, dan (4) proses pengujian dengan dua situasi. Proyeksi kepentingan energi listrik dalam tinjauan ini dicoba dengan dua situasi, yaitu situasi Business As Usual dan situasi Kebijakan. Konsekuensi dari proyeksi kepentingan listrik di Kabupaten Purbalingga pada tahun 2030 dengan situasi *Business As Usual, family client* area 296.015,6 MWh, *business* area 78.311,3 MWh, *public* area 62.219,4 MWh dan *modern* area 209.346,3 MWh dengan tumpukan puncak 94,6 MW. Dalam situasi pendekatan, kepentingan listrik untuk area rumah tangga adalah 297.541 MWh, area bisnis 43.129,3 MWh, area publik 36.756,2 MWh, dan area modern 99.216,6 MWh dengan timbunan puncak 69,8 MWh. Dalam situasi Business As Usual, penting untuk membangun batas trafo sebesar 90 MW atau 300% dari batas yang lalu, namun situasi strategi yang dilakukan adalah dengan meningkatkan batas trafo sebesar 60 MW atau 200% dari batas yang lalu. Batas ekstra trafo diharapkan dapat menjamin aksesibilitas listrik di Kabupaten Purbalingga hingga 2030 [41].

### 2.3 Kerangka Konseptual

Untuk membantu pengaturan penelitian ini, penting untuk memiliki struktur tahapan penalaran yang jelas. Sistem ini merupakan sarana yang akan ditempuh dalam menanggulangi permasalahan yang akan dibahas. Adapun langkah-langkah dari kerangka berpikir dalam penelitian ini akan dijelaskan dalam bentuk alur diagram alir, dapat dilihat pada Gambar 2.7.



**Gambar 2.7** Kerangka Konseptual

## BAB 3

### METODE PENELITIAN

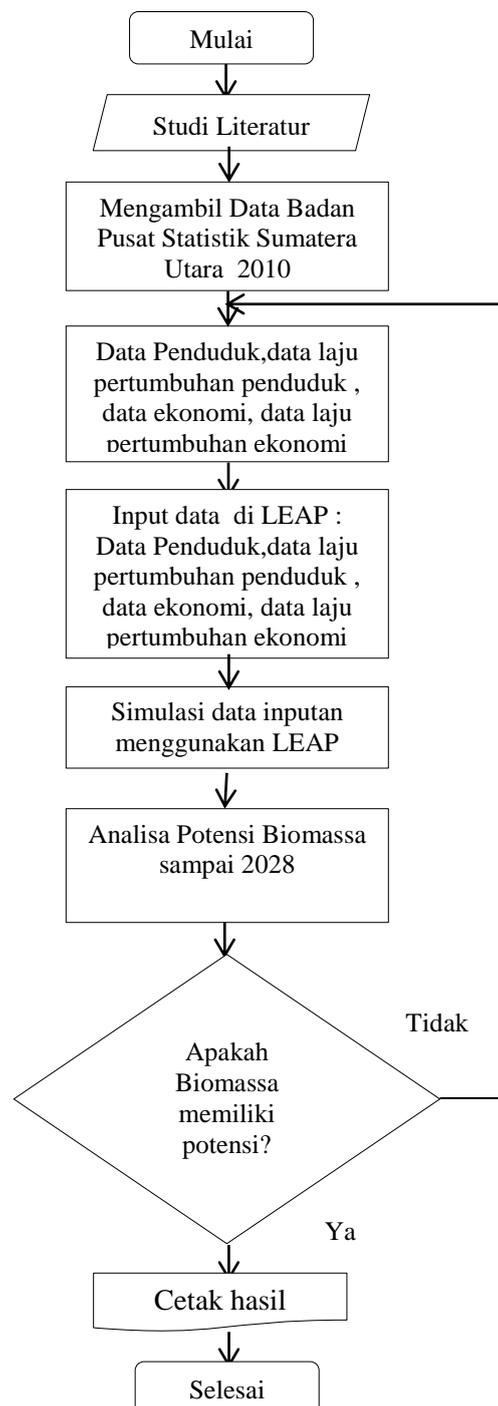
Penelitian ini menggunakan metode dan langkah-langkah digunakan dalam LEAP mengenai potensi energi baru dan terbarukan di Sumatera Utara pada tahun 2028. Dalam LEAP terdapat scenario , dimana scenario merupakan metode untuk menentukan potensi energi biomassa sebagai energi baru dan terbarukan .Scenario mitigasi adalah scenario yan dipakai dalam LEAP dan mitigasi merupakan bentuk intervensi manusia yang bertujuan untuk menurunkan emisi GRK (gas rumah kaca). Untuk melihat potensi energi skenario dasar mitigasi emisi GRK untuk dihitung berdasarkan proyeksi kebutuhan dan penyediaan energi dengan penambahan teknologi mitigasi, sehingga total emisi GRK akan berkurang. . Pengurangan emisi GRK untuk sektor energi dapat dilakukan dengan memanfaatkan energi baru terbarukan serta meningkatkan efisiensi penggunaan energi. Pemanfaatan teknologi mitigasi akan mengakibatkan penurunan emisi GRK sebanyak 380 juta ton CO<sub>2</sub>e pada tahun 2035. Penurunan emisi ini 50% berasal dari pembangkit listrik. Sebagian besar mitigasi GRK untuk pembangkit listrik berasal dari penambahan kapasitas PLTP sebesar 11,5 GW, PLTA (10 GW), PLTN (2 GW), dan PLTU biomasa (1.556 MW). LTU biomasa (1.556 MW). Kontribusi mitigasi terbesar kedua dan ketiga adalah sektor transportasi (26%) dan sektor industri (21%). Di kedua sektor tersebut mitigasi dilakukan melalui pemanfaatan BBN dan penggunaan teknologi yang hemat energi. Sisa mitigasi GRK lainnya terutama di sisi permintaan dengan pemanfaatan teknologi yang efisien. (*J. Wahyudi, "Mitigasi Emisi Gas Rumah Kaca," J. Litbang Media Inf. Penelitian, Pengemb. dan IPTEK, )*

### 3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan selama 10 bulan dan bertempat di Kampus Pascasarjana Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara .

### 3.2. Desain Penelitian

Desain penelitian ini akan dijelaskan dalam bentuk flowchart berikut ini :



**Gambar 3.1** Desain penelitian

### **3.3 Sumber Data Penelitian**

Sumber data penelitian yang digunakan untuk tesis ini adalah populasi jumlah penduduk Provinsi Sumatera Utara tahun 2010, laju pertumbuhan penduduk Provinsi Sumatera Utara 2010, pendapatan ekonomi Provinsi Sumatera Utara 2010, dan laju pertumbuhan ekonomi Provinsi Sumatera Utara 2010.

Arikunto mencirikan bahwa: “Masyarakat adalah seluruh subyek pemeriksaan”. Sedangkan menurut Sugiyono “Populasi adalah suatu wilayah spekulasi yang terdiri dari barang-barang atau subyek-subyek yang menjadi jumlah-jumlah tertentu yang tidak seluruhnya ditetapkan oleh para ahli untuk dipusatkan dan kemudian dicapai kesimpulan-kesimpulan”.

### **3.4 Definisi Operasional Variabel**

Pengertian dari definisi operasional variabel adalah suatu sifat atau sifat atau nilai dari suatu benda atau gerakan yang mempunyai ragam tertentu yang masih diudarkan oleh para ilmuwan untuk dikonsentrasikan dan kemudian dibuat penentuannya. Dalam penelitian ini, definisi operasional variabelnya adalah sebagai berikut :

#### **1. Potensi Energi Baru Dan Terbarukan**

Potensi energi baru dan terbarukan adalah melihat potensi energi baru dan terbarukan yang ada di Sumatera Utara. Energi baru dan terbarukan merupakan energi alternatif untuk membangkitkan atau menghasilkan sebuah energi listrik untuk mendukung program pemerintah dalam pembangunan energi nasional. Indikator untuk mencapai potensi energi baru dan terbarukan adalah pembangkit tenaga air, pembangkit tenaga angin, pembangkit tenaga biomass dan pembangkit tenaga surya yang ada pada saat ini.

### 3.5 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini, adalah sebagai berikut :

#### 1. Studi Literature

Studi literature ini digunakan untuk mencari pengertian energi baru dan terbarukan, potensi energi baru dan terbarukan serta mengambil data penelitian mengenai potensi energi baru dan terbarukan di Provinsi Sumatera Utara.

#### 2. Pengumpulan Data

Melakukan pengambilan data mengenai data jumlah penduduk Provinsi Sumatera Utara 2010 sebanyak 12.985.075 jiwa , data laju pertumbuhan penduduk Provinsi Sumatera Utara 2010 sebesar 1,28 % , data pendapatan ekonomi Provinsi Sumatera Utara 2010 sebesar Rp. 9.138.730 dan data laju pertumbuhan ekonomi Provinsi Sumatera Utara 2010 sebesar 6,35 %.

#### 3. Pengolahan Data dan Analisa

Melakukan simulasi pada LEAP dengan memasukkan data jumlah penduduk Provinsi Sumatera Utara 2010 sebanyak 12.985.075 jiwa , data laju pertumbuhan penduduk Provinsi Sumatera Utara 2010 sebesar 1,28 % , data pendapatan ekonomi Provinsi Sumatera Utara 2010 sebesar Rp. 9.138.730 dan data laju pertumbuhan ekonomi Provinsi Sumatera Utara 2010 sebesar 6,35 % . dan menganalisis hasil dari simulasi data tersebut dengan melihat parameter –parameter yang dihasilkan .

### **3.6 Teknik Analisis Data**

Teknik Analisis Data merupakan kemajuan yang paling definitif dalam suatu tinjauan, karena penyelidikan informasi berfungsi untuk menutup hasil eksplorasi. Teknik analisis data dalam penelitian ini dilakukan sebagai berikut :

#### **1. Tahap Penelitian**

Pada tahap ini peneliti melakukan proses penelitian yang berupa merencanakan pengambilan data mengenai jumlah penduduk Provinsi Sumatera Utara 2010 dan laju pertumbuhan penduduk Provinsi Sumatera Utara 2010 serta pendapatan ekonomi Provinsi Sumatera Utara dan laju pertumbuhan ekonomi Provinsi Sumatera Utara tahun 2010 dari Badan Pusat Statistik Provinsi Sumatera Utara.

#### **2. Instrumen Penelitian**

Instrumen penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah LEAP ( Long-range Energy Alternatif Planning system ) versi 2020.1.0.56 untuk mengetahui potensi biomasa kayu sebagai energi baru dan terbarukan sampai 2028.

## BAB 4

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Deskripsi Hasil Penelitian

Hasil penelitian ini didapat dengan menggunakan LEAP , dimana parameter yang digunakan adalah menginput data BPS Sumatera Utara dan tahun dasar yang digunakan adalah 2010 dan tahun akhir 2028 sebagai berikut :

1. *Income*
2. *Population*
3. *Household Size*
4. *Households*
5. *GDP*
6. *Income Growth\_Rate*
7. *Pop Growth\_Rate*
8. *End Year Urbanization*

Parameter –parameter tersebut merupakan inputan LEAP untuk melihat seberapa besar potensi *biomassa wood* yang diperoleh dan berpengaruh atau tidak parameter tersebut dalam menentukan potensi *biomassa wood* tahun 2028.

#### 4.2 Temuan Penelitian

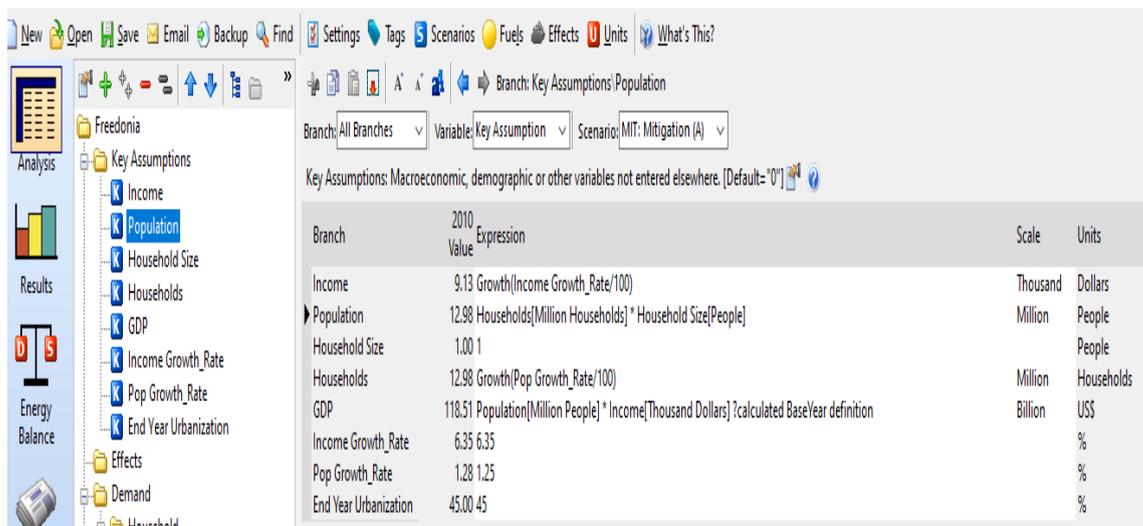
Dalam penelitian menggunakan LEAP ditemukan potensi *biomassa wood* untuk energi baru dan terbarukan sebesar 27 juta megawatt-hours dan mengetahui potensi energi baru dan terbarukan dengan memasukkan data tahun dasar 2010 .

Tahun dasar 2010 ini merupakan data yang dibutuhkan sebagai syarat untuk menemukan potensi energi baru terbarukan di Sumatera Utara sampai tahun 2028 yang disimulasikan dalam LEAP dan parameter tersebut mempengaruhi potensi energi baru terbarukan. Setelah melakukan analisis dalam LEAP dengan memasukkan parameter yang diminta dalam LEAP, ditemukan hasil pada penelitian ini yaitu faktor yang mempengaruhi potensi energi baru terbarukan adalah faktor ekonomi dan penduduk, dan potensi energi baru dan terbarukan yang ada di Sumatera Utara pada tahun 2028 yaitu energi biomassa.

### **4.3 Pembahasan**

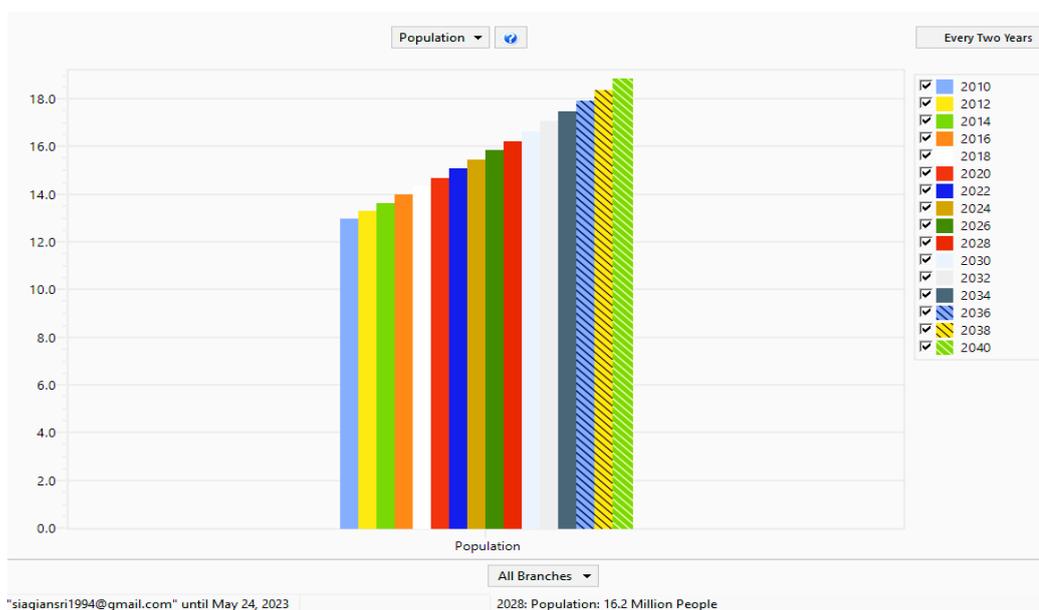
Penelitian ini membahas tentang hasil potensi energi baru dan terbarukan di Sumatera Utara pada tahun 2028. Adapun hasil potensi energi baru dan terbarukan di Sumatera Utara pada tahun 2028 yaitu :

1. Memasukkan data penduduk Sumatera Utara Tahun 2010 yaitu sebesar 12.985.075 jiwa, laju pertumbuhan penduduk sebesar 1,28 % setiap tahunnya dan data pendapatan perkapita Provinsi Sumatera Utara Tahun 2010 yaitu sebesar Rp. 9.138.730,-, serta laju pertumbuhan ekonomi Provinsi Sumatera Utara yaitu sebesar 6,35 % setiap tahunnya. Dapat dilihat pada Gambar 4.1.



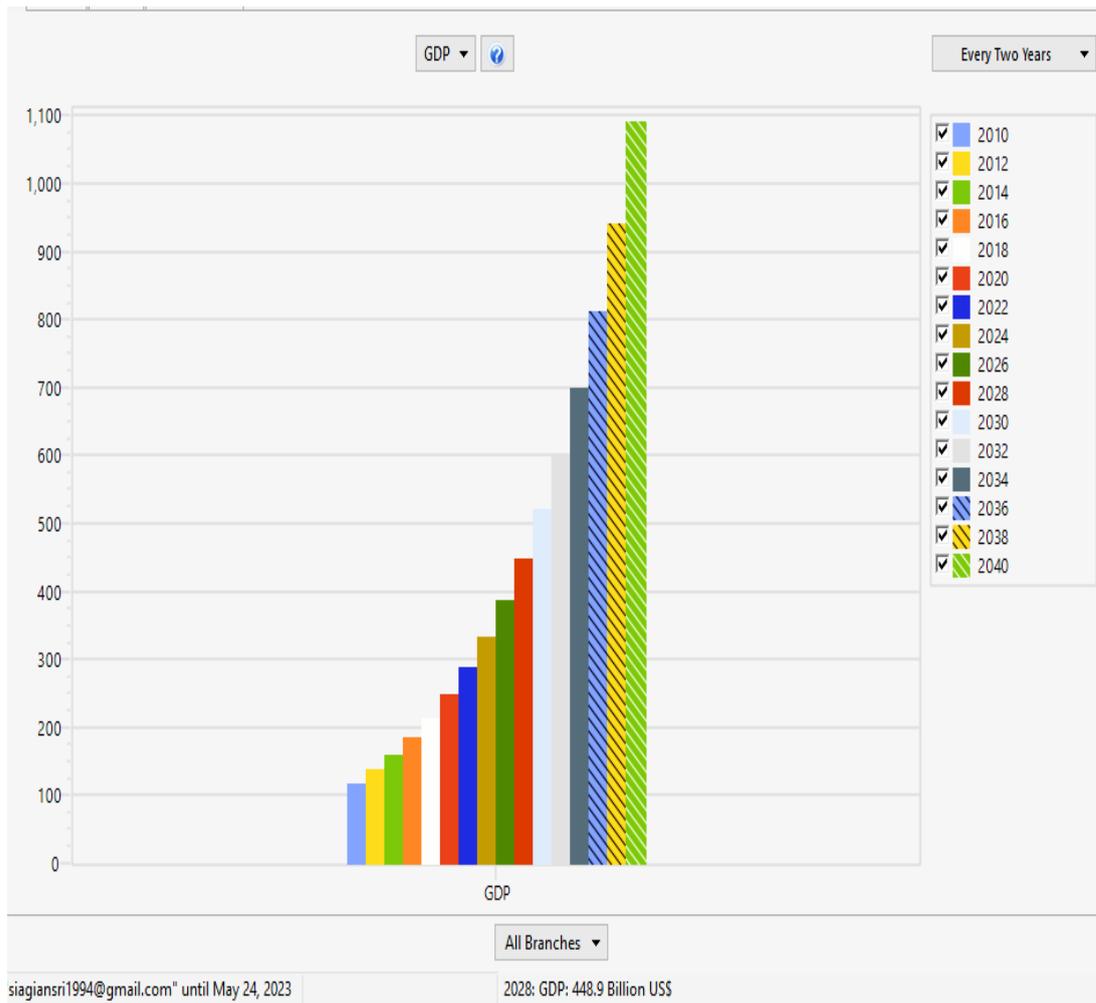
**Gambar 4.1** Memasukkan data penduduk, pendapatan perkapita dan laju pertumbuhan ekonomi SUMUT tahun 2010 ke *software* LEAP

2. Penduduk Provinsi Sumatera Utara memiliki pertumbuhan 1,28 % setiap tahunnya. Pada tahun 2028 jumlah penduduk Provinsi Sumatera Utara yaitu sebesar 16,2 juta jiwa. Dapat dilihat pada Gambar 4.2.



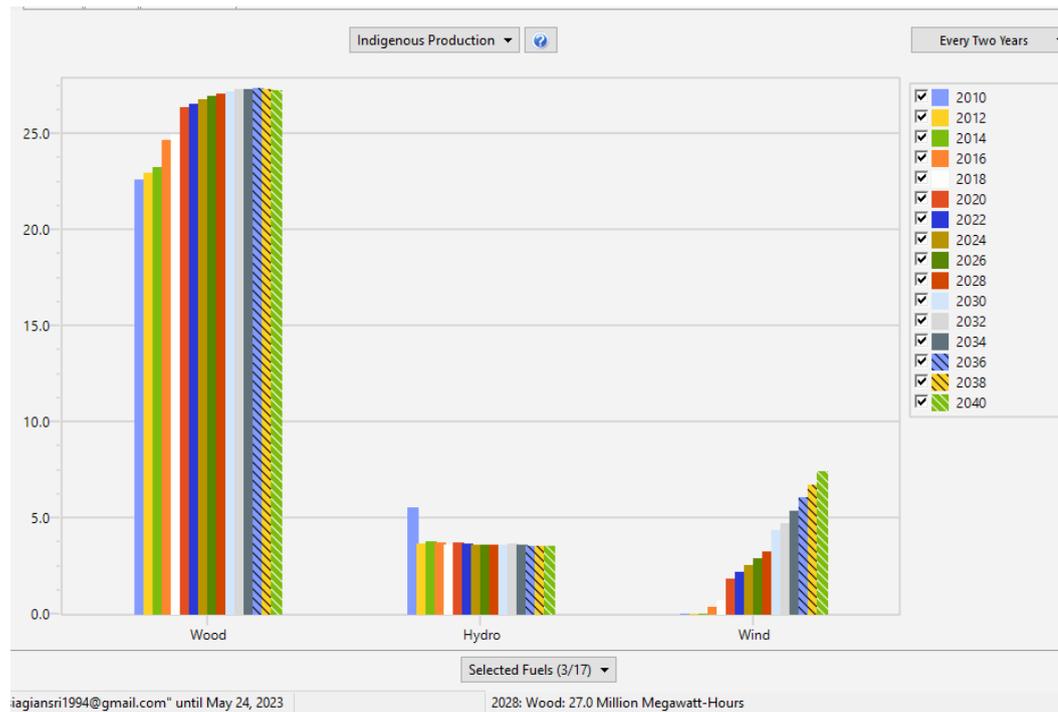
**Gambar 4.2** Pertumbuhan Penduduk Provinsi Sumatera Utara 2010-2028

3. Pertumbuhan ekonomi PDB HK 2000 Provinsi Sumatera Utara memiliki pertumbuhan 6,35 % setiap tahunnya. Pada tahun 2028 jumlah pertumbuhan ekonomi PDB Provinsi Sumatera Utara yaitu sebesar Rp. 448,9 Miliar pada Gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Pertumbuhan Ekonomi PDB Provinsi Sumatera Utara 2010- 2028

4. Kemudian data-data tersebut diproses untuk melihat potensi energi baru dan terbarukan yang terdapat di Sumatera Utara, dapat dilihat pada Gambar 4.4.



**Gambar 4.4** Hasil Potensi Energi Baru dan Terbarukan di Sumatera Utara Tahun 2028

Dari Gambar 4.4 diatas bahwa potensi energi baru terbarukan yang ada di Provinsi Sumatera Utara dapat dilihat perbedaan potensi *biomassa wood* dengan *hydro* dan *wind* Sedangkan energi yang masih berkembang pesat adalah energi uap yang dimana energi uap tersebut membutuhkan batubara sebagai bahan bakar utama. Adapun data hasil pertumbuhan energi yang ada di Sumatera Utara sampai tahun 2028 pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1.** Hasil Energi dan Potensi Energi Baru Terbarukan di Sumatera Utara Sampai Tahun 2028 Menggunakan LEAP

Indigenous Production																
Scenario: Mitigation, All Fuels																
Branch: Resources\Primary																
Units: Million Megawatt-Hours																
Branch	2010	2012	2014	2016	2018	2020	2022	2024	2026	2028	2030	2032	2034	2036	2038	2040
Wind	-	-	-	0.4	0.7	1.8	2.2	2.5	2.9	3.3	4.3	4.7	5.4	6.0	6.7	7.4
Wood	22,6	22.9	23.2	24.6	24.9	26.3	26.5	26.7	26.9	27.0	27.2	27.2	27.3	27.3	27.3	27.2
Hydro	5.5	3.6	3.8	3.7	3.6	3.7	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.5	3.5	3.5
Total	28.1	26.6	27.0	28.7	29.3	31.8	32.4	32.9	33.4	33.9	35.1	35.6	36.2	36.9	37.5	38.2

Dari Tabel 4.1 bahwa energi baru dan terbarukan yang paling berpotensi di Sumatera adalah *biomassa wood* .

Pada tahun 2028 potensi *hydro* mencapai 3,6 juta megawatt-hours. Sedangkan, potensi *wind* di Provinsi Sumatera Utara mulai memiliki potensi dari tahun 2016, potensi *wind* pada tahun 2028 mencapai 3,3 juta megawatt-hours. Menu *balance energy* yang terdapat pada *software LEAP biomass wood* mempunyai potensi yang lebih sebagai energi baru terbarukan pada Provinsi Sumatera Utara pada Gambar 4.5.

Energy Balance for Area "freedonia sumut"  
Scenario: Mitigation, Year: 2028, Units: Million Megawatt-Hour

	Solid Fuels	Natural Gas	Crude Oil	Hydropower	Renewables	Biomass	Electricity	Oil Products	Total
Production	19.7	-	-	3.6	3.3	27.0	-	-	53.7
Imports	-	36.2	69.8	-	-	0.4	-	35.9	142.3
Exports	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Primary Supply	19.7	36.2	69.8	3.6	3.3	27.5	-	35.9	196.0
Coal Mining	-3.9	-	-	-	-	-	-	-	-3.9
Oil Refining	-	-	-69.8	-	-	-	-	66.3	-3.5
Charcoal Production	-	-	-	-	-	-11.0	-	-	-11.0
Electricity Generation	-12.0	-30.0	-	-3.6	-3.3	-0.4	32.5	-19.7	-36.6
Transmission and Distribution	-	-0.1	-	-	-	-	-4.3	-	-4.4
Total Transformation	-16.0	-30.1	-69.8	-3.6	-3.3	-11.4	28.2	46.6	-59.5
Total Demand	3.8	6.1	-	-	-	16.0	28.2	82.5	136.5
Unmet Requirements	-	-	-	-	-	0.0	-	0.0	0.0

**Gambar 4.5** Balance Energy Provinsi Sumatera Utara

Pada gambar 4.5 diatas bahwa energi biomass juga sangat berpotensi di Sumatera Utara. Potensi energi *biomass wood* pada tahun 2028 menghasilkan sebesar 27,0 juta megawatt-hour. Sehingga, potensi energi baru dan terbarukan di Provinsi Sumatera Utara pada tahun 2028 yaitu *biomassa wood* . Potensi energi baru dan terbarukan di Provinsi Sumatera Utara pada tahun 2028 pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Hasil Akhir Potensi Energi Baru dan Terbarukan di Provinsi Sumatera Utara Pada Tahun 2028 (Juta Megawatt-hours)

<b>Year</b>	<b>Wood</b>
2040	27.2
2038	27.3
2036	27.3
2034	27.3
2032	27.2
2030	27.2
2028	27.0
2026	26.9
2024	26.7
2022	26.5
2020	26.3
2018	24.9
2016	24.6
2014	23.2
2012	22.9
2010	22.6

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang dilakukan pada penelitian Tesis ini, maka penulis mengambil beberapa simpulan bahwa:

1. Parameter yang mempengaruhi potensi energi baru terbarukan di Sumatera Utara adalah jumlah penduduk dan jumlah pertumbuhan ekonomi. Jumlah pertumbuhan penduduk provinsi Sumatera Utara pada tahun 2028 yaitu sebesar 16,2 juta jiwa dan jumlah pertumbuhan ekonomi provinsi Sumatera Utara pada tahun 2028 yaitu sebesar 448,9 miliar rupiah menggunakan LEAP.
2. Potensi energi baru dan terbarukan di Sumatera Utara pada tahun 2028 yang sangat mempunyai potensi yaitu *biomass wood*; *hydro* hanya memiliki potensi sebesar 3,6 juta megawatt-hours pada tahun 2028, *wind* memiliki potensi sebesar 3,3 juta megawatt-hours dan *biomass wood* memiliki potensi sebesar 27,0 juta megawatt-hours pada tahun 2028 dengan menggunakan LEAP.

#### 5.2 SARAN

Untuk pengembangan tesis ini dapat dikaji lebih rinci lagi tentang satu spesifikasi potensi energi baru dan terbarukan untuk per kabupaten/ kota .



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. A. B. Ii and T. Pustaka, "BAB II Tinjauan Pustaka BAB II TINJAUAN PP Nomor 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional. Internet: <https://www.bphn.go.id/data/documents/14pp079.pdf>. [1 Juli 2020]
- [2] A. C. A. Praditya Tampubolon, "Laporan Status Energi Bersih Indonesia," Iesr, pp. 1–23, 2019.
- [3] B. A. B. Ii and T. Pustaka, "BAB II Tinjauan Pustaka BAB II TINJAUAN PUSTAKA 2.1," pp. 1–64.
- [4] Suminto, 2013, Pemanfaatan Limbah Industri Penggergajian Kayu Sebagai bahan Substitusi Pembuatan Paving Block, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang.
- [5] Diji, "Electricity Production from Biomass in Nigeria : Options , Prospects and Challenges ELECTRICITY PRODUCTION FROM BIOMASS IN NIGERIA : OPTIONS , PROSPECTS AND CHALLENGES," no. September 2013, 2021.
- [6] B. A. B. Ii and L. Teori, "Ageng Tri Anggito, 2014 STUDI PEMBANGKITAN ENERGI LISTRIK BERBASIS BIOGAS Universitas Pendidikan Indonesia | repository.upi.edu | perpustakaan.upi.edu 5," pp. 5–38, 2014.
- [7] B. A. B. Ii and T. Pustaka, "BAB II Tinjauan Pustaka BAB II TINJAUAN PUSTAKA 2.1," pp. 1–64.
- [8] E. Insusanty, E. Sadjati, and A. T. Ratnaningsih, "Analisis Kebutuhan Kayu Bakar Untuk Pembakaran Batu Bata Di Kecamatan Rumbai, Kota Pekanbaru," Wahana For. J. Kehutan., vol. 13, no. 2, pp. 20–29, 2018.
- [9] A. Arhamsyah, "Pemanfaatan Biomassa Kayu Sebagai Sumber Energi Terbarukan," J. Ris. Ind. Has. Hutan, vol. 2, no. 1, p. 42, 2019.
- [10] Prayitno, T. A. 2017. Pertumbuhan Pohon dan Kualitas Kayu KTT 667. Program Studi Ilmu Kehutanan. Fakultas Kehutanan UGM. Yogyakarta
- [11] Galam-Volume-V-Nomor-2-Tahun-2011-Kayu-Sebagai-Sumber-Energi.pdf
- [12] Erni Misran, Industri Tebu Menuju Zero Waste Industry, Jurnal Teknologi Proses, ISSN 1412-7814 (Medan: Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara, Juli 2015), hlm. 6.

- [13] Menurut Witono, Dalam Justin Rexanindita Nugraha, Skripsi: "Karakteristik Termal Briket Arang Ampas Tebu dengan Variasi Bahan Perekat Lumpur Lapindo" (Jember: Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember, 2013), hlm. 9 - 10
- [14] Amin, M. C., Taufiq, A. J., & Kurniawan, I. H. (2019). Pemanfaatan Ampas Tebu Sebagai Pembangkit Listrik Biomassa Di PG. Sragi Pekalongan. *Jurnal Riset Rekayasa Elektro*. <https://doi.org/10.30595/jrre.v1i1.4922>
- [15] Leko, B. B., Noor, N. A., & Usman. (2021). Analisis Potensi Ampas Tebu Sebagai Pembangkit Listrik Biomassa Di Pabrik Gula Takalar. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI) 2021*, 12–16.
- [16] S. Haluti, emetaan potensi limbah tongkol jagung sebagai energi alternatif di wilayah Provinsi Gorontalo. 2014.
- [17] Alkuino E.L. Gasifying farm wastes as source of cheap heat for drying paddy and corns. International Rich Research Organization, Philipines
- [18] Prastowo, B.; R. Hanif; T.M. Lando. *Rekayasa Teknologi Pengeringan dan Penyimpanan Jagung di Daerah Tadah Hujan*. [http://bbpmektan.litbang.deptan.go.id/abstrak/th\\_1998/tek.\\_pengeringan\\_penyimpanan\\_jagung.htm](http://bbpmektan.litbang.deptan.go.id/abstrak/th_1998/tek._pengeringan_penyimpanan_jagung.htm).
- [19] Manurung, R. 2014. *Teknologi Konversi Limbah Pertanian Sebagai Sumber Energi Terbarukan di Indonesia*. Makalah dipresentasikan pada Seminar Nasional Mekanisasi Pertanian, di Balai Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian Serpong, 12 Agustus 2014.
- [20] B. Bakar, A. Dan, M. Pemanasan, and G. Studi, "No Title," vol. 3, pp. 96–107, 2013.
- [21] Akhaiuddin, M., *Proses Produksi dan Subsidi Biodiesel dalam Mensubstitusi Solar untuk Mengurangi Ketergantungan Terhadap Solar*, Seminar Energy, Natural Resource & Environment. Universitas Indonesia, 2009.
- [22] Fauzi, Y., Y.E. Widyastuti, I. Setyawibawa., dan R.H. Paeru. *Kelapa Sawit: Budidaya, Pemanfaatan Hasil dan Limbah, Analisis Usaha dan Pemasaran*. Penebar Swadaya, Jakarta. 234 hal.
- [23] B. Sudia *et al.*, "Potensi Limbah Padi Sebagai Sumber Energi Alternatif Di Provinsi Sulawesi Tenggara," *Din. J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 12, no. 1, p. 44, 2020.
- [24] R. E. Izzaty, B. Astuti, and N. Cholimah, *Limbah Sekam Padi* <http://eprints.umm.ac.id/40676/3>," *Angew. Chemie Int. Ed.* 6(11), 951–952., pp. 5–24.

- [25] Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, “Indonesia Energy Outlook 2019,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2019.
- [26] Ariyanti *et al.*, “Analisis Pemanfaatan Bioenergi Limbah Bonggol Jagung Untuk Peningkatan Perekonomian Masyarakat” *J. Apl. Teknol. Pangan*, vol. 4, no. 1, pp. 1–2, 2021.
- [27] L. Parinduri and T. Parinduri, “Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan,” *JET (Journal Electr. Technol.)*, vol. 5, no. 2, pp. 88–92, 2020.
- [28] Sears and Zemansky, *Fisika Universitas*, 10th ed. Jakarta: Erlangga.
- [29] U. F. Al-afifi, Erdin Syam, and Elvin Piter, “Perhitungan Potensi Energi Listrik Pada Sekam Padi Melalui Metode Gasifikasi,” *SainETIn*, vol. 4, no. 2, pp. 48–56, 2021.
- [30] Stockholm Environment Institute (SEI). “LEAP, Long- Range Energy Alternative Planning system,” <http://forum.seib.org/leap>
- [31] L. Parinduri and T. Parinduri, “Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan,” *JET (Journal Electr. Technol.)*, vol. 5, no. 2, pp. 88–92, 2020.
- [32] Stockholm Environment Institute, “User Guide for LEAP 2005 May 2005,” no. May, 2005.
- [33] S. Institute of Environment, “Long-range Energy Alternatives Planning System TRAINING EXERCISES,” no. April, 2016
- [34] N. Febrianti, F. Filiana, and P. Hasanah, “Potential of Renewable Energy Resources from Biomass Derived by Natural Resources In Balikpapan,” *J. Presipitasi Media Komun. dan Pengemb. Tek. Lingkung.*, vol. 17, no. 3, pp. 316–323, 2020.
- [35] M. Ery Wijaya and M. K. Ridwan, “Modul Pelatihan Perencanaan Energi,” p. 56, 2019.
- [36] O. T. Winarno, “Leap Panduan Perencanaan Energi,” *Pandu. Perenc. Energi*, p. 84, 2006.
- [37] S. Z. Ihsan, S. Nisworo, and I. Nawawi, “Proyeksi Kebutuhan Tenaga Listrik Kota dan Kabupaten Magelang Tahun 2030 Menggunakan Perangkat Lunak Long-range Energy Alternatives Planning system,” pp. 1–9, 2015.
- [38] J. S. Setyono, F. H. Mardiansjah, and M. febrina K. Astuti, “Potensi pengembangan energi baru dan energi terbarukan di kota semarang,” *Riptek*, vol. 13, no. 2, pp. 177–186, 2019.

- [39] B. Waluyo, H. Burhanuddin, and M. Martinus, "Perencanaan Penyediaan Energi Di Wilayah Lampung Menggunakan Perangkat Lunak Long-Range Energy Alternatives Planing System (Leap)," *J. Ilm. Tek. Mesin FEMA*, vol. 1, no. 2, p. 98366, 2013.
- [40] Y. Badruzzaman, "Roadmap Energy di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta," *Jtet*, vol. 2, no. 1, pp. 18–30, 2013.
- [41] G. Dwiyoiko, T. Sukisno, and E. S. Damarwan, "Proyeksi Kebutuhan Energi Listrik Kabupaten Purbalingga Tahun 2030 Menggunakan Software Leap," *J. Edukasi Elektro*, vol. 4, no. 1, pp. 29–40, 2020

**Tabel/Table 2.4.**  
**PDRB Per Kapita Sumatera Utara Atas Dasar Harga Berlaku dan Atas Dasar Harga Konstan 2000 Tahun 2006-2010 (Rupiah)**  
*Per Capita GRDP of Sumatera Utara at Current Market Prices and Constant 2000 In 2006-2010 (Percent)*

Tahun/ Year	ADH Berlaku/Current		ADH Konstan 2000/Constant 2000	
	Nilai/Value (000 Rp.)	Pertumbuhan/Growth (%)	Nilai/Value (000 Rp.)	Pertumbuhan/Growth (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
2006	12 875,79	13,64	7 494,36	5,06
2007	14 441,99	12,16	7 926,53	5,77
2008	16 813,29	16,42	8 344,28	5,27
2009 <sup>*)</sup>	18 381,01	9,32	8 675,86	3,97
2010 <sup>**)</sup>	21 236,78	15,54	9 138,73	5,34

<sup>\*\*)</sup> :Angka Sangat Sementara/First Preliminary Figures

<sup>\*)</sup> :Angka Sementara/Second Preliminary Figures

Pada tabel di atas menyajikan PDRB per kapita atas dasar harga berlaku dan atas dasar harga konstan 2000 dari Tahun 2006-2010.

PDRB per kapita Sumatera Utara pada tahun 2006 sebesar 12,87 juta rupiah. Apabila dilihat menurut harga berlaku, angka tersebut dari tahun ke tahun terus mengalami peningkatan. Pertumbuhan tertinggi terjadi di tahun 2008, yaitu sebesar 16,42 persen. Sampai dengan tahun 2010 PDRB per kapita Sumatera Utara atas dasar harga berlaku sebesar 21,23 juta rupiah tumbuh 15,54 persen dibanding tahun 2009 sebesar 18,38 juta rupiah.

*The table presents GRDP per Capita at current market prices and constant 2000 market prices in 2006-2010.*

*The GRDP per Capita of Sumatera Utara in 2006 at 12,87 millions rupiah. If we look in currenrt price, this value always increased continuously. The highest growth was in 2008 by 16,42 percent. Until 2010 the GRDP per Capita at current price reached 21,23 millions rupiah, increased by 15,54 percent compared to the previous year 2009 by 18,38 millions rupiah.*

## Jumlah Penduduk, Kepadatan, dan Distribusi Penduduk Sumatera Utara menurut Kabupaten/Kota 2010

Kabupaten/Kota	Jumlah Penduduk (Orang)	Kepadatan (Orang/k m <sup>2</sup> )	Distribusi (Persen)
(1)	(2)	(3)	(4)
[01] NIAS	132 329	135	1,02
[02] MANDAILING NATAL	403 894	61	3,11
[03] TAPANULI SELATAN	264 108	61	2,03
[04] TAPANULI TENGAH	310 962	144	2,39
[05] TAPANULI UTARA	278 897	74	2,15
[06] TOBA SAMOSIR	172 933	74	1,33
[07] LABUHAN BATU	414 417	162	3,19
[08] ASAHAN	667 563	182	5,14
[09] SIMALUNGUN	818 104	187	6,30
[10] DAIRI	269 848	140	2,08
[11] KARO	350 479	165	2,70
[12] DELI SERDANG	1 789 243	720	13,78
[13] LANGKAT	966 133	154	7,44
[14] NIAS SELATAN	289 876	178	2,23
[15] HUMBANG HASUNDUTAN	171 687	75	1,32
[16] PAKPAK BHARAT	40 481	33	0,31
[17] SAMOSIR	119 650	49	0,92
[18] SERDANG BEDAGAI	592 922	310	4,57
[19] BATU BARA	374 535	414	2,88
[20] PADANG LAWAS UTARA	223 049	57	1,72
[21] PADANG LAWAS	223 480	57	1,72
[22] LABUHAN BATU SELATAN	277 549	89	2,14
[23] LABUHAN BATU UTARA	331 660	94	2,55
[24] NIAS UTARA	127 530	85	0,98
[25] NIAS BARAT	81 461	150	0,63
[71] SIBOLGA	84 444	7 841	0,65
[72] TANJUNG BALAI	154 426	2 510	1,19
[73] PEMATANG SIANTAR	234 885	2 937	1,81
[74] TEBING TINGGI	145 180	3 777	1,12
[75] MEDAN	2 109 339	7 957	16,24
[76] BINJAI	246 010	2 726	1,89
[77] PADANGSIDIMPUAN	191 554	1 671	1,48
[78] GUNUNGSITOLI	125 566	268	0,97
LAINNYA	881	-	0,01
<b>SUMATERA UTARA</b>	<b>12 985 075</b>	<b>181</b>	<b>100,00</b>

Tabel/Table 2.2.

PDRB Sumatera Utara dan PDB Indonesia serta Pertumbuhan Ekonomi Tahun 2006-2010 (Milyar Rupiah)/ *GRDP of Sumatera Utara, GDP of Indonesia and Economic Growth in 2006-2010 (Billion Rupiahs)*

Tahun	Sumatera Utara			Indonesia		
	PDRB		Pertumbuhan Ekonomi	PDB		Pertumbuhan Ekonomi
	ADHB <sup>1)</sup>	ADHK <sup>2)</sup>		ADHB <sup>1)</sup>	ADHK <sup>2)</sup>	
1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)
2006	160 376,8	93 347,4	6,20	3 339 216,8	1 847 126,9	5,50
2007	181 819,7	99 792,3	6,90	3 950 893,2	1 964 327,3	6,35
2008	213 931,7	106 172,4	6,39	4 948 688,4	2 082 456,1	6,01
2009 <sup>*)</sup>	236 353,6	111 559,2	5,07	5 603 871,2	2 177 741,7	4,58
2010 <sup>**)</sup>	275 700,2	118 640,9	6,35	6 422 918,2	2 310 689,8	6,10

\*\*): Angka Sangat Sementara/First Preliminary Figures

\*) : Angka Sementara/Second Preliminary Figures

1) : Atas Dasar Harga Berlaku/At Current Market Prices

2) : Atas Dasar Harga Konstan 2000/At Constant Market Prices 2000

Gambar/ Figure 2.2.

Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) Sumatera Utara Atas Dasar Harga Berlaku dan Atas Dasar Harga Konstan Tahun 2006-2010 (Milyar Rupiah)/ *Gross Regional Domestic Product (GRDP) of Sumatera Utara at Current Market Prices and Constant 2000, 2006-2010 (Billion Rupiahs)*



Lanjutan Tabel/Continued Table 3.1.1

Kabupaten/Kota Regency/Municipality	Laju Pertumbuhan Penduduk per Tahun Annual Population Growth Rate (%)	
	2018-2019	2010-2019 <sup>2)</sup>
(1)	(5)	(6)
01 Nias	0,34	0,97
02 Mandailing Natal	0,86	1,11
03 Tapanuli Selatan	0,59	0,74
04 Tapanuli Tengah	1,75	2,14
05 Tapanuli Utara	0,64	0,87
06 Toba	0,57	0,66
07 Labuhanbatu	1,58	1,96
08 Asahan	0,75	0,98
09 Simalungun	0,49	0,66
10 Dairi	0,39	0,57
11 Karo	1,51	1,90
12 Deli Serdang	1,86	2,29
13 Langkat	0,61	0,82
14 Nias Selatan	0,85	1,11
15 Humbang Hasundutan	0,91	1,15
16 Pakpak Bharat	1,70	2,12
17 Samosir	0,30	0,59
18 Serdang Bedagai	0,29	0,40
19 Batu Bara	0,85	1,15
20 Padang Lawas Utara	1,85	2,23
21 Padang Lawas	2,08	2,50
22 Labuhanbatu Selatan	1,82	2,24
23 Labuhanbatu Utara	0,80	1,07
24 Nias Utara	0,70	0,90
25 Nias Barat	0,60	0,05
71 Sibolga	0,35	0,41
72 Tanjungbalai	1,11	1,41
73 Pematangsiantar	0,72	0,94
74 Tebing Tinggi	1,12	1,39
75 Medan	0,70	0,93
76 Binjai	0,99	1,30
77 Padangsidimpuan	1,34	1,65
78 Gunungsitoli	1,06	1,35
<b>Sumatera Utara</b>	<b>1,02</b>	<b>1,28</b>

---

### 11.1. PDRB Menurut Lapangan Usaha

PDRB Provinsi Sumatera Utara Atas Dasar Harga Berlaku (ADHB) pada tahun 2010 sebesar Rp 275,70 triliun. Sektor industri masih sebagai kontributor utama dengan peranan mencapai 22,96 persen. Selanjutnya diikuti oleh sektor pertanian (22,92 persen) dan sektor perdagangan, hotel, dan restoran (19,00 persen). Sementara itu, sektor-sektor lainnya memberikan total kontribusi sebesar 35,15 persen terhadap perekonomian di Sumatera Utara.

Untuk melihat produktivitas ekonomi (dengan mengabaikan inflasi), maka digunakan PDRB Atas Dasar Harga Konstan (ADHK). Berdasarkan harga konstan tahun 2000, PDRB Sumatera Utara pada tahun 2010 sebesar Rp. 118,64 triliun. Sektor keuangan, persewaan, dan jasa perusahaan mengalami pertumbuhan tertinggi yaitu sebesar 10,78 persen, diikuti oleh sektor pengangkutan dan komunikasi sebesar 9,44 persen dan sektor listrik, gas, dan air bersih sebesar 7,06 persen

Secara keseluruhan perekonomian Sumatera Utara pada tahun 2010

tumbuh sebesar 6,35 persen, meningkat jika dibandingkan tahun sebelumnya.

PDRB perkapita Sumatera Utara tahun 2010 sebesar Rp. 21.236.780 meningkat dari Rp 18.381.013 pada tahun 2009. Sementara itu, berdasarkan harga Konstan 2000, PDRB perkapita tahun 2010 juga mengalami peningkatan dibandingkan tahun 2009, yaitu sebesar Rp 9.138.733 pada tahun 2009 menjadi Rp 8.675.863 pada tahun 2010.

### 11.2. PDRB Menurut Penggunaan

Untuk menggambarkan bagaimana penggunaan barang dan jasa oleh berbagai golongan konsumen, maka digunakan PDRB menurut penggunaan. Dari Rp 275,70 triliun, nilai barang dan jasa di Sumatera Utara sebagian besar dikonsumsi oleh rumah tangga, yaitu mencapai Rp 166,56 triliun (60,41 persen). Selanjutnya untuk ekspor barang dan jasa sebesar Rp 108,40 triliun (39,32 persen), pembentukan modal tetap bruto sebesar Rp 57,01 triliun (20,68 persen), konsumsi pemerintah sebesar Rp 29,29 triliun (10,62 persen), dan untuk konsumsi lembaga nirlaba sebesar Rp 1,10 triliun (0,40 persen).

---