

**ANALISIS PROYEKSI PERTUMBUHAN ENERGI  
BARU TERBARUKAN DI INDONESIA SAMPAI  
TAHUN 2035 MENGGUNAKAN METODE ANFIS**

*Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Magister Teknik Elektro*

Oleh:

**DEWI SHOLEHA**

**NPM : 1920080010**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO  
PROGRAM PASCASARJANA  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA  
UTARAMEDAN  
2022**

**PENGESAHAN**

**ANALISIS PROYEKSI PERTUMBUHAN ENERGI BARU DAN  
TERBARUKAN DI INDONESIA SAMPAI TAHUN 2035  
MENGUNAKAN METODE ANFIS**

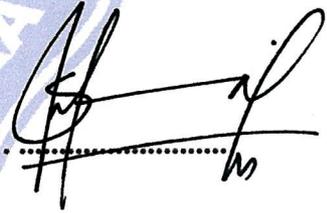
**DEWI SHOLEHA**  
**NPM : 1920080010**

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 menyanggah Gelar Magister Teknik Elektro (M.T) Pada Hari Senin, Tanggal 21 Maret 2022”

***Komisi Penguji***

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

1. ....  


2. Assoc. Prof. Dr. Ir. SURYA HARDI, M.Sc  
Sekretaris

2. ....  


3. Assoc. Prof. Dr. ADE FAISAL, M.Sc  
Anggota

3. ....  


**PENGESAHAN TESIS**

Nama : DEWI SHOLEHA  
NPM : 1920080010  
Program Studi : Magister Teknik Elektro  
Konsentrasi : Manajemen Energi Listrik  
Judul Tesis : ANALISIS PROYEKSI PERTUMBUHAN ENERGI BARU  
DAN TERBARUKAN DI INDONESIA SAMPAI TAHUN  
2035 MENGGUNAKAN METODE ANFIS



*Pengesahan Tesis*

Medan, 21 Maret 2022

**Komisi Pembimbing**

Pembimbing I

Pembimbing II

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

**Assoc. Prof. Dr. M.FITRA ZAMBAK, M.Sc**

**UMSU**

**Diketahui**

Direktur

Ketua Program Studi

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

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

## PERNYATAAN

### ANALISIS PROYEKSI PERTUMBUHAN ENERGI BARU DAN TERBARUKAN DI INDONESIA SAMPAI TAHUN 2035 MENGUNAKAN METODE ANFIS

Dengan ini peneliti menyatakan bahwa :

1. Tesis ini disusun sebagai syarat untuk memperoleh Gelar Magister Pada Program Magister Teknik Elektro Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara merupakan hasil karya peneliti sendiri.
2. Tesis ini adalah asli belum pernah diajukan untuk mendapatkan Gelar Akademik (Sarjana, Magister, dan/atau Doktor), baik di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara maupun di perguruan lain.
3. Tesis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Komite 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 buat dengan sesungguhnya. Apabila di kemudian hari ternyata ditemukan seluruh atau sebagian tesis ini bukan hasil karya peneliti sendiri atau adanya plagiat dalam bagian-bagian tertentu, peneliti bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang peneliti sandang dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku.

Medan, 21 Maret 2022

Peneliti



**DEWI SHOLEHA**

NPM : 1920080010

**ANALISIS PROYEKSI PERTUMBUHAN ENERGI BARU  
DAN TERBARUKAN DI INDONESIA SAMPAI TAHUN 2035  
MENGUNAKAN METODE ANFIS**

**DEWI SHOLEHA**

**1920080010**

**ABSTRAK**

Bahan bakar dasar energi suatu pembangkit tenaga listrik yaitu menggunakan bahan bakar fosil seperti minyak dan batu bara. Penggunaan bahan bakar utama tersebut mengalami peningkatan setiap tahunnya dan cadangan bahan bakar utama tersebut semakin menipis/berkurang. Dalam menggerakkan suatu pembangkit tenaga listrik diperlukan energi alternatif yang sumbernya tidak akan habis serta dapat mengurangi pemakaian bahan bakar fosil tersebut. Sumber tersebut adalah energi baru terbarukan. Energi baru terbarukan menjadi salah satu sumber alternatif penyediaan energi, karena memiliki dampak yang rendah terhadap kerusakan lingkungan. Energi baru terbarukan yang digunakan yaitu energi panas bumi. Untuk menjamin keberlanjutan energi baru terbarukan panas bumi tersebut, maka perlu memproyeksikan pertumbuhan energi baru terbarukan panas bumi di Indonesia pada tahun 2035. Metode tersebut yaitu metode ANFIS. Hasil yang diperoleh dalam memproyeksikan pertumbuhan energi baru terbarukan panas bumi di Indonesia mengalami peningkatan yang fluktuatif setiap tahunnya. Peningkatan pertumbuhan energi baru terbarukan panas bumi di Indonesia yang paling besar terjadi pada tahun 2025 yaitu sebesar 517,05 % atau dalam bentuk energi sebesar 869,99 MW. Sedangkan, pertumbuhan energi baru terbarukan panas bumi di Indonesia pada tahun 2035 hanya sebesar 1,67 %.

**Kata kunci** : *Proyeksi, Energi Baru Terbarukan, Panas Bumi, Adaptive Neuro Fuzzy Inference System.*

**PROJECTION ANALYSIS GROWTH RENEWABLE ENERGY  
IN INDONESIA UNTIL 2035  
THE METHODE IS THE ANFIS METHOD**

**DEWI SHOLEHA**

**1920080010**

***ABSTRACT***

*The basic fuel of energy for a power plant is using fossil fuels such as oil and coal. The use of the main fuel is increasing every year and the reserves of the main fuel are getting depleted/decreasing. In moving a power plant, alternative energy is needed whose sources will not run out and can reduce the use of fossil fuels. This source is renewable energy. Renewable energy is one of the alternative sources of energy supply, because it has a low impact on environmental damage. The new renewable energy used is geothermal energy. To ensure the sustainability of the new geothermal renewable energy, it is necessary to project the growth of new geothermal renewable energy in Indonesia in 2035. The method is the ANFIS method. The results obtained in projecting the growth of new geothermal renewable energy in Indonesia have increased fluctuating every year. The greatest increase in the growth of new and renewable geothermal energy in Indonesia will occur in 2025, which is 517.05% or in the form of energy of 869.99 MW. Meanwhile, the growth of new geothermal renewable energy in Indonesia in 2035 is only 1.67%.*

**Keywords:** *Projection, Renewable Energy, Geothermal, Adaptive Neuro Fuzzy Inference System.*

## KATA PENGANTAR



*Assalamu'alaikum wr.wb*

Puji syukur kehadirat ALLAH SWT atas rahmat dan karunianya yang telah menjadikan kita sebagai manusia yang beriman dan insya ALLAH berguna bagi semesta alam. Shalawat berangkaikan salam kita panjatkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad SAW yang mana beliau adalah suri tauladan bagi kita semua dan telah membawa kita dari zaman kebodohan menuju zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan.

Tulisan ini dibuat sebagai tesis untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar kemaagisteran pada Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul tesis ini adalah “*Analisis Proyeksi Pertumbuhan Energi Baru Terbarukan Di Indonesia Sampai Tahun 2035 Menggunakan Metode ANFIS*”.

Selesaiannya penulisan tesis ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ayahanda dan Ibunda serta Abangda dan Kakanda tersayang, yang dengan cinta kasih dan sayang setulus jiwa mengasuh, mendidik dan membimbing dengan segenap ketulusan hati tanpa mengenal kata lelah sehingga penulis bisa seperti saat ini.
2. **Bapak Prof. Dr. Triono Edy**, M.Hum. Selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. **Bapak Assoc. Prof. Dr. M. Fitra Zambak, ST, M.Sc.** Selaku Wakil Direktur Program Pascasarjana sekaligus Dosen Pembimbing II dalam penyusunan tesis ini.
4. **Bapak Drs. Junaisa Alsa, Apt MM.** Selaku Sekretaris Program Pascasarjana

Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

5. **Bapak Assoc. Prof. Ir. Suwarno, M.Sc., Ph.D.** Selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro sekaligus Dosen Pembimbing I dalam penyusunan tesis ini.
6. **Ibu Rohana, S.T, M.T.** Selaku Sekretaris Program Studi Magister Teknik Elektro.
7. **Bapak Assoc. Prof. Ir. Syafruddin Hasan, M.Sc., Ph.D.** Selaku Dosen Penguji I.
8. **Bapak Assoc. Prof. Ir. Surya Hadi, M.Sc., Ph.D.** Selaku Dosen Penguji II.
9. **Bapak Ade Faisal, S.T., M.Sc., Ph.D.** Selaku Dosen Penguji III.
10. Bapak dan Ibu Dosen di Program Pascasarjana Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
11. Karyawan Biro Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
12. Teman-teman sejawat dan seperjuangan Program Pasacsarjana, khususnya Program Studi Magister Teknik Elektro angkatan 2019 yang selalu memberi dukungan dan motivasi kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini disebabkan keterbatasan kemampuan penulis, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik & saran yang membangun dari segenap pihak.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga tulisan ini dapat menambah dan memperkaya lembar khazanah pengetahuan bagi para pembaca sekalian dan khususnya bagi penulis sendiri. Sebelum dan sesudahnya penulis mengucapkan terima kasih.

*Wassalamu'alakum wr.wb*

Medan, 21 Maret 2022

Penulis,

**DEWI SHOLEHA**  
**NPM : 1920080010**

## DAFTAR ISI

<b>PENGESAHAN PENGUJI</b>	
<b>PENGESAHAN PEMBIMBING</b>	
<b>PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN</b>	
<b>HASIL PENGECEKAN TURNITIN</b>	
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>i</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>viii</b>
<b>BAB I 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 II KAJIAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Kajian Pustaka .....	5
2.1.1 Pembangkit Energi Listrik .....	5
2.1.2 Sumber Daya Energi Di Indonesia .....	6
2.1.3 Konsep Dasar Prakiraan ( <i>Forecasting</i> ).....	19
2.1.4 Sistem Inferensi Fuzzy.....	22
2.1.5 Fuzzifikasi.....	23
2.1.6 Fungsi Keanggotaan .....	23
2.1.7 Kluster Fuzzy ( <i>Fuzzy Clustering</i> ).....	24
2.1.8 Inferensi .....	25
2.1.9 Operasi Himpunan Fuzzy .....	25

2.1.10	Defuzzifikasi .....	26
2.1.11	<i>Artificial Neural Network</i> (ANN) .....	26
2.1.12	ANFIS .....	27
2.1.13	Faktor Yang Mempengaruhi Pertumbuhan Energi Baru Dan Terbarukan .....	31
2.1.13.1	Pertumbuhan Jumlah Penduduk .....	31
2.1.13.2	Pertumbuhan Ekonomi .....	31
2.1.13.3	Pemakaian Bahan Bakar Fosil .....	33
2.2	Kajian Penelitian Yang Relevan.....	34
2.3	Kerangka Berpikir .....	37
<b>BAB III</b>	<b>METODE PENELITIAN .....</b>	<b>39</b>
3.1	Tempat Dan Waktu Penelitian.....	39
3.2	Rancangan / Desain Penelitian .....	40
3.3	Sumber Data Penelitian .....	41
3.4	Teknik Pengumpulan Data Penelitian .....	41
3.5	Teknik Analisis Data .....	42
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>43</b>
4.1	Deskripsi Data .....	43
4.2	Temuan Penelitian .....	43
4.3	Pembahasan .....	44
4.3.1	Faktor Yang Mempengaruhi Pertumbuhan Energi Baru dan Terbarukan Panas Bumi di Indonesia .....	44
4.3.2	Proyeksi Pertumbuhan Energi Baru dan Terbarukan Panas Bumi di Indonesia .....	48
<b>BAB V</b>	<b>PENUTUP .....</b>	<b>59</b>
5.1	Kesimpulan.....	59
5.2	Saran .....	61
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>.....</b>	<b>62</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Data Real Jumlah Penduduk Indonesia.....	44
Tabel 4.2	Hasil Proyeksi Pertumbuhan Jumlah Penduduk .....	44
Table 4.3	Data Real PNB Berdasarkan harga konstan 2010.....	45
Tabel 4.4	Hasil Proyeksi Pertumbuhan Ekonomi (PNB) Berdasarkan Harga Konstan 2010.....	46
Tabel.4.5	Data Real Pemakaian Bahan Bakar Fosil .....	47
Tabel 4.6	Hasil Proyeksi Bahan Bakar Fossil .....	47
Tabel 4.7	Data Jumlah Penduduk dan Pertumbuhan EBT .....	48
Tabel 4.8.	Hasil Proyeksi Pertumbuhan Energi Baru Terbarukan Panas Bumi Indonesia Tahun 2020-2035.....	51
Tabel 4.9	Data Jumlah PNB Dan Pertumbuhan EBT di Indonesia .....	51
Tabel 4.10	Hasil Proyeksi Pertumbuhan Energi Baru Terbarukan Panas Bumi di Indonesia Tahun 2020-2035 .....	54
Tabel 4.11.	Data Jumlah Pemakaian Bahan Bakar Fossil Dan Pertumbuhan Energi Baru Terbarukan .....	54
Tabel 4.12	Hasil Proyeksi Pertumbuhan Energi Baru Terbarukan Panas Bumi di Indonesia Tahun 2020-2035 .....	57
Tabel 4.13	Rata Rata Pertumbuhan Energi Baru dan Terbarukan di Indonesia Tahun 2020-2035 .....	58

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses Sistem Inferensi Fuzzy .....	22
Gambar 2.2	Kurva Generalized Bell.....	24
Gambar 2.3	Blok diagram ANFIS .....	28
Gambar 2.4	Kerangka Berpikir.....	38
Gambar 3.1	Diagram alir rancangan/desain penelitian.....	40
Gambar 4.1	Struktur ANFIS .....	49
Gambar 4.2	Aturan Fuzzy .....	49
Gambar 4.3	Error Data yang Dihasilkan oleh ANFIS .....	50
Gambar 4.4	Struktur ANFIS .....	52
Gambar 4.5	Aturan Fuzzy.....	52
Gambar 4.6	Error Data yang Dihasilkan oleh ANFIS .....	53
Gambar 4.7	Struktur ANFIS .....	55
Gambar 4.8	Aturan Fuzzy.....	55
Gambar 4.9	Error Data yang Dihasilkan oleh ANFIS .....	56
Gambar 4.10	Grafik Perbandingan Proyeksi Pertumbuhan (%) Energi Baru Terbarukan Panas Bumi Terhadap Tiga Pengaruh Faktor di Indonesia Tahun 2020-2035 .....	57

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Peningkatan permintaan energi dunia terus menerus mengalami peningkatan. Menurut proyeksi Badan Energi Dunia (*International Energy Agency –IEA*) hingga tahun 2030 permintaan energi dunia meningkat sebesar 45% atau rata-rata mengalami peningkatan sebesar 1,6% pertahun. Dan sebagian besar atau sekitar 80% kebutuhan energi dunia dipasok dari bahan bakar fosil (<https://www.esdm.go.id>).

Cadangan energi fosil seperti minyak dan batu bara semakin berkurang. Selain itu, pemanfaatan produk minyak bumi sebagai energi menambah melimpahnya karbon di lingkungan yang menyebabkan kerusakan atmosfer yang berbahaya. Dengan ini, diperlukan energi alternatif yang sumbernya tidak akan habis jika dikelola dengan baik dan dapat mengurangi pemakaian bahan bakar fosil. Sumber tersebut adalah Energi Baru Terbarukan. Energi baru Terbarukan menjadi salah satu sumber alternatif penyediaan energi, karena selain memiliki dampak yang rendah terhadap kerusakan lingkungan juga menjamin keberlanjutan energi tersebut.

Saat ini kebutuhan energi listrik telah menjadi kebutuhan pokok bagi kehidupan dalam melakukan aktivitas sosial dan finansial untuk mencapai gaya hidup yang unggul. Sejalan dengan itu, tingkat minat terhadap energi listrik dipandang sebagai proporsi tingkat gaji, ekonomi, dan keberhasilan suatu negara atau daerah [1].

Pertumbuhan kependudukan memiliki hubungan positif dengan perkembangan penciptaan energi. Pengaruh masyarakat terhadap penciptaan energi listrik memang

sangat besar. Untuk situasi ini, mengartikan bahwa, dengan populasi yang berkembang, dapat membangun pengembangan penciptaan energi listrik[2]. Pertumbuhan kependudukan di Indonesia secara konsisten telah berkembang. Pertumbuhan jumlah penduduk ini sangat mempengaruhi perkembangan energi listrik atau energi pilihan lainnya di Indonesia[3].

Pertumbuhan ekonomi memiliki hubungan positif dengan perkembangan energi listrik yang sebenarnya sangat kritis. Hal ini menunjukkan bahwa dengan berkembangnya pembangunan moneter, maka akan membangun pengembangan energi listrik [2]. Pertumbuhan moneter di Indonesia dari tahun ke tahun semakin berkembang. Dengan pertumbuhan finansial ini dapat mempengaruhi perkembangan penciptaan energi listrik di Indonesia. Pertumbuhan keuangan ini dapat dilihat dari PNB Harga Konstan 2010.

Pertumbuhan pemanfaatan produk minyak bumi memiliki hubungan positif dengan perkembangan energi listrik atau energi elektif. Pertumbuhan pemanfaatan sumber energi tak terbarukan setiap tahunnya mengalami perkembangan yang semakin meluas. Oleh karena itu, pengembangan pemanfaatan turunan minyak bumi dapat menjadi titik sentral dalam pengembangan penciptaan energi listrik atau energi pilihan lainnya.

Untuk memenuhi pertumbuhan energi baru dan berkelanjutan yang lebih luas, kita harus mengetahui pemanfaatan energi fosil sejak beberapa waktu lalu. Selanjutnya, pengembangan pembangkit listrik energi baru dan berkelanjutan yang lebih luas memiliki tugas vital dan esensial sebagai energi pengganti produk minyak bumi, misalnya, batubara dan minyak serta mendukung keamanan pasokan listrik di Indonesia.

Berdasarkan uraian di atas, pada tesis ini akan dilakukan penelitian tentang ***“Analisis Proyeksi Pertumbuhan Energi Baru Terbarukan Di Indonesia Pada Tahun 2035 Menggunakan Metode ANFIS”***.

## **1.2 Pembatasan Masalah**

Penelitian ini terdapat pembatasan masalah yaitu :

1. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* atau biasa disebut *Adaptive Network based Fuzzy Inference System*)
2. Dalam penelitian ini membahas mengenai spesifikasi proyeksi pertumbuhan energi baru dan terbarukan panas bumi.
3. Penelitian ini merujuk kepada RUPTL PT. PLN yang dikeluarkan oleh Kementrian ESDM.

## **1.3 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah yang terdapat pada penelitian tesis ini yaitu :

1. Faktor apa saja yang dapat mempengaruhi pertumbuhan energi baru dan terbarukan atau berkelanjutan di Indonesia ?
2. Bagaimana proyeksi pertumbuhan energi baru dan terbarukan atau berkelanjutan di Indonesia pada tahun 2035 ?

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian tesis ini adalah :

1. Menganalisis faktor pertumbuhan penduduk, ekonomi dan pemakaian bahan bakar fosil, yang mempengaruhi pertumbuhan energi baru dan terbarukan atau berkelanjutan di Indonesia.
2. Menganalisis proyeksi pertumbuhan energi baru dan terbarukan atau berkelanjutan di Indonesia sampai tahun 2035.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat yang dapat diambil dari penelitian tesis ini adalah :

1. Bagi Mahasiswa, dapat menemukan bagaimana merancang proyeksi energi baru dan ramah lingkungan dengan memanfaatkan teknik ANFIS juga sebagai elemen yang dapat mempengaruhi proyeksi pengembangan daya baru dan ramah lingkungan sehingga pemanfaatannya dapat diterapkan ke area lokal sebagai jenis penerapan informasi yang diperoleh selama waktu perkuliahan.
2. Bagi Universitas, dapat dimanfaatkan sebagai sumber perspektif untuk bahan bacaan di perpustakaan dengan memperhatikan unsur-unsur yang dapat mempengaruhi perluasan pembangunan energi baru dan berkelanjutan di pada tahun 2035

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA, KAJIAN PENELITIAN YANG RELEVAN DAN KERANGKA BERPIKIR**

#### **2.1 Kajian Pustaka**

Energi dibutuhkan untuk kegiatan manusia terutama untuk kegiatan ekonomi, rumah tangga, industri, bisnis dan transportasi. Sebagian besar pasokan energi dunia berasal dari bahan bakar fosil yang merupakan sumber daya yang tidak terbarukan. Kebutuhan energi diperkirakan akan terus meningkat, sementara sumber cadangan minyak dan batu bara semakin menipis. Selain itu, penggunaan bahan bakar fosil sebagai energi berkontribusi terhadap kelebihan karbon di atmosfer yang menyebabkan pemanasan global. Oleh karena itu, perlu adanya penyediaan energi alternatif selain minyak bumi dan batubara. Energi baru dan terbarukan (EBT) merupakan salah satu sumber pasokan energi alternatif, karena selain berdampak rendah terhadap kerusakan lingkungan, juga menjamin keberlanjutan energi untuk masa depan.

##### **2.1.1 Pembangkit Energi Listrik**

Pembangkit energi listrik di Indonesia pada umumnya yaitu, Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP), Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU), dan Pembangkit Listrik Pembangkit energi listrik di Indonesia secara keseluruhan adalah Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP), Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan

Uap (PLTGU), dan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD). Sebagian besar pembangkit listrik ini masih menggunakan sumber energi tidak terbarukan seperti batubara, minyak bumi (solar) dan lain-lain untuk menjalankan pembangkit listrik [4].

Pembangkit listrik yang sebenarnya memanfaatkan sumber energi tidak terbarukan untuk menghasilkan pembangkit adalah PLTU dan PLTD. Untuk menjalankan ketahanan energi listrik, penting untuk memiliki generator yang memanfaatkan bahan bakar/energi yang mendukung dan tidak terbatas, seperti air, matahari, angin, panas bumi dan lain-lain.

### **2.1.2 Sumber Daya Energi Di Indonesia**

Indonesia memiliki aset energi yang berbeda-beda, baik energi fosil maupun energi berkelanjutan. Potensi energi fosil terdiri dari batubara, minyak bumi, gas yang mudah terbakar, dan gas metana batubara (CBM), sedangkan potensi energi ramah lingkungan terdiri dari panas bumi, air lingkup besar, hidro mini, biomassa, angin, berorientasi matahari, kelautan dan termal. kekuasaan. Sesuai informasi Kementerian ESDM pada 2010, aset batu bara bertambah 105,2 miliar ton dengan simpanan 21,1 miliar ton, terutama tersebar di Kalimantan dan Sumatera. Penghematan minyak dinilai sebesar 7,76 miliar barel, sedangkan penyimpanan bahan bakar gas dinilai sebesar 157,14 TSCF yang tersebar di sebagian besar Kepulauan Natuna, Sumatera Selatan, Kalimantan Timur, dan Tangguh (Papua Barat). Penghematan gas dari CBM dinilai lebih penting dibandingkan penyimpanan gas biasa, yakni mencapai 453,3 TSCF, khususnya di Cekungan Sumatera Selatan dan Cekungan Kutai. Geothermal store dinilai sebesar 15.867MW yang tersebar di berbagai distrik dengan total aset yang

diharapkan sebesar 29.038 MW. Cakupan potensi hidro yang sangat besar menurut tinjauan 1983 adalah 75.000 MW, dan angka ini diulangi dalam tinjauan 1993. Namun demikian, dalam laporan Nippon Koei berkonsentrasi pada tahun 2011, cakupan potensi hidro yang sangat besar setelah melalui penyaringan tambahan adalah 26.321 MW, yang terdiri dari kegiatan yang sebelumnya dikerjakan sebesar 4.338 MW, proyek yang telah disusun dan dalam pengembangan sebesar 5.956 MW. dan kemampuan baru sebesar 16.027 MW. Sumber daya berkelanjutan lainnya yang dapat diakses adalah hidro mini, biomassa, berorientasi matahari, angin dan energi laut.

#### **2.1.2.1 Energi Panas Bumi**

Panas bumi adalah sumber energi panas yang terkandung di dalam air panas, uap air, serta batuan dan gas lainnya yang secara genetik tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem panas bumi. Sementara energi panas bumi merupakan energi yang bersumber dari panas yang terkandung dalam perut bumi dan pada umumnya berasosiasi dengan keberadaan gunung api. Secara teknis, air yang bersumber diantaranya dari hujan akan meresap ke dalam batuan di bawah tanah hingga mencapai batuan reservoir. Air ini kemudian terpanaskan oleh magma yang menjadi sumber panas utama sehingga berubah menjadi air panas atau uap panas (fluida thermal) dengan kisaran temperatur 240-310°C. Fluida thermal tersebut dapat digunakan untuk membangkitkan energi listrik dengan cara melakukan pengeboran (drilling) dan mengalirkan fluida thermal untuk menggerakkan turbin dan memutar generator sehingga dihasilkan energi listrik. Fluida thermal selanjutnya diinjeksikan kembali ke dalam reservoir melalui sumur reinjeksi untuk menjaga keseimbangan fluida dan panas

sehingga sistem panas bumi berkelanjutan. Oleh sebab itu kebutuhan air bersih untuk rumah tangga tidak akan terganggu oleh kegiatan panas bumi mengingat fluida panas bumi yang digunakan untuk pembangkitan energi listrik bukan berasal dari air permukaan melainkan berasal dari reservoir panas bumi dengan kedalaman 1.500 s.d. 2500 meter. Kegiatan panas bumi juga harus tetap memperhatikan perlindungan lingkungan mengingat keberlangsungan panas bumi sangat bergantung pada lingkungan di sekitarnya termasuk satwa dan tumbuh-tumbuhan. Panas bumi merupakan energi yang sangat ramah lingkungan, dimana CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari PLTP hanya 1,5% dari PLTU dan 2.7% dari PLTG ([www.ebtke.esdm.go.id](http://www.ebtke.esdm.go.id)).

Adapun karakteristik umum energi panas bumi antara lain:

- (1) Sumber energi bersih, ramah lingkungan, dan sustainable;
- (2) Tidak dapat diekspor, hanya dapat digunakan untuk konsumsi dalam negeri (indigenous);
- (3) Bebas dari risiko kenaikan (fluktuasi) bahan bakar fosil;
- (4) Tidak tergantung cuaca, supplier, dan ketersediaan fasilitas pengangkutan dan bongkar muat dalam pasokan bahan bakar;
- (5) Tidak memerlukan lahan yang luas.

Ramah terhadap lingkungan menjadi salah satu karakteristik energi panas bumi yang harus digaris bawahi. Energi panas bumi bersifat ramah terhadap lingkungan, tidak hanya dalam aspek produksi tetapi juga aspek penggunaan, sehingga dampaknya berperan positif pada setiap sumber daya. Pada saat menjalankan proses pengembangan dan pembuatan, tenaga panas bumi sepenuhnya bebas dari emisi. Tidak ada karbon yang digunakan untuk produksi, kemudian seluruh prosedur juga telah bebas dari sulfur yang

umumnya telah dibuang dari proses lainnya yang dilakukan. Penggunaan energi panas bumi memang tidak akan menimbulkan pencemaran terhadap lingkungan. Oleh karenanya efek dari pemanasan global yang disebabkan oleh emisi dari bahan-bahan minyak akan berkurang. Dalam penggunaannya sebagai pembangkit listrik tenaga panas bumi tidak akan dibutuhkan bahan bakar minyak yang bisa menyebabkan polusi udara ([www.ebtke.esdm.go.id](http://www.ebtke.esdm.go.id)).

Sebagaimana ditetapkan dalam Undang-Undang RI Nomor 21 Tahun 2017 tentang panas bumi merupakan energi ramah lingkungan yang potensinya besar dan pemanfaatannya belum optimal sehingga perlu didorong dan ditingkatkan secara terencana dan terintegrasi guna mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil.

Sumber daya energi panas bumi di Indonesia diperkirakan mencapai sekitar 28,5 Giga Watt electrical (GWe) yang terdiri dari resources 11.073 MW dan reserves 17.453 MW, hal ini menjadikan Indonesia menjadi salah satu negara dengan sumber daya panas bumi terbesar di dunia. Keberadaan sumber energi ini erat kaitannya dengan posisi Indonesia yang berada pada kerangka tektonik dunia. Sebagai salah satu sumber energi terbarukan yang sangat potensial, Pemerintah terus berupaya mendorong peningkatan pemanfaatan panas bumi di Indonesia ([www.esdm.go.id](http://www.esdm.go.id)).

Energi panas bumi juga dikenal dengan nama energi *geothermal* yang berasal dari bahasa Yunani. Dalam bahasa Yunani kata “*geo*” memiliki arti bumi dan kata “*thermal*” memiliki arti panas jadi ketika digabungkan kata *geothermal* memiliki arti panas bumi. Energi panas bumi sendiri dihasilkan dan disimpan di dalam inti bumi. Jika dibandingkan dengan bahan bakar fosil, panas bumi merupakan sumber energi bersih dan hanya melepaskan sedikit gas rumah kaca. Menurut UU No. 27 Tahun 2003

Tentang Panas Bumi, sumber daya panas bumi adalah sumber energi panas yang terkandung di dalam air panas, uap air, dan batuan bersama mineral ikutan dan gas lainnya yang secara genetis semuanya tidak dapat dipisahkan dalam suatu sistem panas bumi dan untuk pemanfaatannya diperlukan proses penambangan yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkitan tenaga listrik atau pemanfaatan langsung lainnya. Salah satu pemanfaatan energi panas bumi adalah untuk menghasilkan energi listrik. Pemanfaatan energi panas bumi untuk pembangkit listrik secara garis besar dilakukan dengan cara melihat *resource* dari panas bumi tersebut. Apabila suatu daerah memiliki panas bumi yang mengeluarkan uap air (*steam*), maka steam tersebut langsung dapat digunakan. Steam tersebut secara langsung diarahkan menuju turbin pembangkit listrik untuk menghasilkan energi listrik. Setelah selesai *steam* tersebut diarahkan menuju *condenser* sehingga *steam* tersebut terkondensasi menjadi air. Air ini selanjutnya di *recycle* untuk menjadi uap lagi secara alami. Namun, bila panas bumi itu penghasil air panas (*hot water*), maka air panas tersebut harus di ubah terlebih dahulu menjadi uap air (*steam*). Proses perubahan ini membutuhkan peralatan yang disebut dengan *heat exchanger*, dimana air panas ini dialirkan menuju *heat exchanger* sehingga terbentuk uap air (<https://www.geodipa.co.id/bisnis-kami/energi-panas-bumi/>).

Sekitar 40% cadangan energi geothermal dunia terletak di Indonesia. Diperkirakan memiliki cadangan-cadangan energi panas bumi terbesar di dunia. Cadangan energi panas bumi yang terbesar terletak di wilayah barat Indonesia dimana ada permintaan energi yang paling tinggi: Sumatra, Jawa dan Bali. Sulawesi Utara adalah provinsi yang paling maju dalam penggunaan geothermal untuk energi listrik: sekitar 40% dari pasokan listriknya didapat dari energi geothermal. Faktor utama yang menghalangi investasi

pengembangan geothermal di Indonesia adalah hukum di Indonesia sendiri. Dulu aktivitas geothermal didefinisikan sebagai aktivitas pertambangan (Undang-Undang No. 27/2003) yang mengimplikasikan bahwa hal ini dilarang untuk dilaksanakan di wilayah hutan lindung dan area konservasi (Undang-Undang No. 41/1999), walaupun faktanya aktivitas-aktivitas tambang geothermal hanya memberikan dampak kecil pada lingkungan (dibandingkan aktivitas-aktivitas pertambangan yang lain). Namun, sekitar 80% dari cadangan geothermal Indonesia terletak di hutan lindung dan area konservasi, oleh karena itu mustahil untuk memanfaatkan potensi ini. Pada Agustus 2014, waktu periode kedua administrasi Presiden Susilo Bambang Yudhoyono hampir selesai, Dewan Perwakilan Rakyat (DPR) Indonesia mengesahkan Undang-Undang Geothermal No. 21/2014 (menggantikan Undang-Undang No. 27/2003) yang memisahkan geothermal dari aktivitas-aktivitas pertambangan yang lain dan karena itu membuka jalan untuk eksplorasi geothermal di wilayah hutan lindung dan area konservasi. Pengesahan Undang-Undang ini adalah gebrakan yang penting. Namun, pada saat tulisan ini dibuat (Desember 2014), Undang-Undang baru ini masih perlu diatur pelaksanaannya dengan peraturan-peraturan kementerian yang lain. Pemerintah Indonesia juga telah melaksanakan berbagai upaya lain untuk membuat investasi energi panas bumi lebih menarik. *Geothermal Fund Facility (GFF)* menyediakan dukungan untuk memitigasi resiko-resiko dan menyediakan informasi mengenai biaya pengembangan awal geothermal yang relatif tinggi. Halangan lain di Indonesia adalah tarif listrik yang tidak kompetitif. Melalui subsidi pemerintah, tarif listrik menjadi murah. Selain itu, Perusahaan Listrik Negara (PLN) memiliki monopoli distribusi listrik di Indonesia dan karena itu energi listrik dari produsen-produsen independen harus dijual kepada

PLN. Namun, di Juni 2014, Pemerintah Indonesia mengumumkan akan membuat harga pembelian (dibayar oleh PLN) menjadi lebih menarik melalui kebijakan tarif *feed-in* yang baru.

Terakhir, eksplorasi geothermal di Indonesia dihalangi oleh keadaan infrastruktur yang buruk di wilayah-wilayah terpencil, perlawanan masyarakat lokal pada proyek-proyek ini, dan juga birokrasi yang buruk (prosedur perizinan yang panjang dan mahal yang melibatkan pemerintah pusat provinsi, dan kabupaten). Cadangan energi panas bumi yang terbesar terletak di wilayah barat Indonesia dimana ada permintaan energi yang paling tinggi: Sumatra, Jawa dan Bali. Sulawesi Utara adalah provinsi yang paling maju dalam penggunaan geotermal untuk energi listrik: sekitar 40% dari pasokan listriknya didapat dari energi geothermal ([indonesia-investments.com](http://indonesia-investments.com)).

Secara sederhana, Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) adalah tenaga listrik yang dihasilkan dari gerak turbin yang digerakkan oleh panas bumi. Cara pemanfaatannya adalah dengan membuat sumur yang kedalamannya mencapai titik panas bumi, lalu panas tersebut dialirkan ke lokasi turbin untuk menggerakkan turbin. Potensi tenaga panas bumi yang besar di Indonesia menjadikan pembangunan PLTP sebagai salah satu prioritas nasional bidang energi. Salah satu wilayah yang dijadikan lokasi PLTP adalah Sarulla yang berada di kawasan Gunung Toba. Wilayah ini memiliki potensi panas bumi yang cukup besar. Menurut catatan sejarah, Gunung Toba dahulu merupakan gunung berapi aktif yang meletus sekitar 7000 tahun lalu. Gunung Toba diprediksi masih merupakan gunung berapi tetapi panasnya tidak terakumulasi di dalam perut bumi tetapi mengalir keluar dalam bentuk air panas. Air panas inilah yang digunakan sebagai penggerak turbin untuk menghasilkan listrik. PLTP Sarulla

merupakan salah satu pembangkit listrik terbesar di dunia. PLTP ini dibagi menjadi tiga unit yang dikembangkan di dua lokasi, yaitu di Silangkitang dengan kapasitas 1X110 Mega Watt (MW); dan 2 unit di Namora -I-Langit (NIL) dengan kapasitas 2X110 MW. Jadi, kapasitas PLTP ini mencapai 2X110 MW yang menjadikannya salah satu PLTP terbesar di dunia. Aktivitas PLTP tidak menggunakan bahan fosil fuel atau batu bara dan sehingga tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu dapat dijadikan sumber tenaga alternatif untuk mengurangi emisi gas rumah kaca nasional. Sehingga Pemerintah gencar mengeksplorasi wilayah-wilayah dengan potensi panas bumi yang besar dan membangun PLTP di wilayah tersebut. Tetapi, sekalipun demikian, sampai saat ini Pemerintah masih mengembangkan penelitian untuk memastikan keamanan produksi energi dari PLTP dan terus mengkaji potensi kerugian bagi lingkungan khususnya pemanasan global untuk menghindari kemungkinan-kemungkinan buruk di depan pada saat Indonesia beralih ke PLTP untuk menghasilkan energi (<http://ditjenppi.menlhk.go.id/kcpi/index.php/inovasi/358-pembangkit-listrik-tenaga-panas-bumi>).

Potensi dari energi panas bumi di Indonesia sangatlah besar, dikarenakan Indonesia merupakan sebuah negara kepulauan yang banyak memiliki gunung berapi yang aktif dan cadangan energi panas bumi yang sangat melimpah. Saat ini, energi panas bumi di Indonesia sedang dieksplorasi untuk menggantikan energi fosil yang dimana sebagai penggerak utama dari pembangkit listrik. Pembangkit listrik tenaga panas bumi saat ini sudah dalam peninjauan untuk pembangunannya serta pengganti dari pembangkit listrik dari energi yang penggeraknya yaitu energi fosil seperti pembangkit listrik tenaga diesel dan pembangkit listrik tenaga uap. Pemerintah

Indonesia saat ini berupaya terus untuk meningkatkan investasi yang sangat besar untuk pembangunan pembangkit listrik tenaga panas bumi serta untuk eksplorasi energi panas bumi. Pembangkit listrik tenaga panas bumi sudah banyak dibangun di masing-masing provinsi atau daerah yang memiliki cadangan panas bumi yang sangat besar dan tersebar di 13 daerah di Indonesia salah satunya seperti PLTPb Sarulla yang berada di Tapanuli Utara, Provinsi Sumatera Utara, PLTPb Salak yang berada di Cibeureum, Provinsi Jawa Barat dan lain sebagainya. Prinsip kerja dari energi panas bumi pada pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTPb) ini sama dengan prinsip kerja dari pembangkit listrik tenaga gas atau uap, dimana menggunakan turbin gas/uap.

Sumber daya energi panas bumi di Indonesia diperkirakan mencapai sekitar 28,5 Giga Watt electrical (GWe) yang terdiri dari resources 11.073 MW dan reserves 17.453 MW, hal ini menjadikan Indonesia menjadi salah satu negara dengan sumber daya panas bumi terbesar di dunia. Keberadaan sumber energi ini erat kaitannya dengan posisi Indonesia yang berada pada kerangka tektonik dunia. Sebagai salah satu sumber energi terbarukan yang sangat potensial, Pemerintah terus berupaya mendorong peningkatan pemanfaatan panas bumi di Indonesia (<https://www.esdm.go.id>).

Energi panas bumi merupakan salah satu energi alternatif atau energi baru dan terbarukan pengganti dari energi fosil. Potensi dari energi panas bumi di Indonesia sangatlah besar, dikarenakan Indonesia merupakan sebuah negara kepulauan yang banyak memiliki gunung berapi yang aktif dan cadangan energi panas bumi yang sangat melimpah. Saat ini, energi panas bumi di Indonesia sedang di eksplorasi untuk menggantikan energi fosil yang dimana sebagai penggerak utama dari pembangkit listrik. Pembangkit listrik tenaga panas bumi saat ini sudah dalam peninjauan untuk

pembangunannya serta pengganti dari pembangkit listrik dari energi yang penggerakannya yaitu energi fosil seperti pembangkit listrik tenaga diesel dan pembangkit listrik tenaga uap. Pemerintah Indonesia saat ini berupaya terus untuk meningkatkan investasi yang sangat besar untuk pembangunan pembangkit listrik tenaga panas bumi serta untuk eksplorasi energi panas bumi. Pembangkit listrik tenaga panas bumi sudah banyak dibangun di masing-masing provinsi atau daerah yang memiliki cadangan panas bumi yang sangat besar dan tersebar di 13 daerah di Indonesia salah satunya seperti PLTPb Sarulla yang berada di Tapanuli Utara, Provinsi Sumatera Utara, PLTPb Salak yang berada di Cibereum, Provinsi Jawa Barat dan lain sebagainya. Prinsip kerja dari energi panas bumi pada pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTPb) ini sama dengan prinsip kerja dari pembangkit listrik tenaga gas atau uap, dimana menggunakan turbin gas/uap.

#### **2.1.2.1.1 Perkembangan Energi Panas Bumi di Indonesia**

Energi panas bumi di Indonesia mulai dikembangkan sejak tahun 1970-an. Namun, program pengembangan energi panas bumi tidak optimal karena tergeser oleh pengembangan energi fosil. Hal ini cukup disayangkan karena Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki potensi energi panas bumi terbesar di dunia. Dewasa ini, ada tiga macam cara untuk mendapatkan energi dari panas bumi, yaitu dengan dry steam, flash, dan binary. Dry steam plants dilakukan dengan mengambil uap panas bumi dan langsung digunakan untuk menggerakkan turbin yang memutar generator penghasil listrik. Flash plants dilakukan dengan mengambil air panas, biasanya bersuhu lebih dari 2000 C dari tanah yang mendidih pada saat naik ke permukaan, kemudian dipisahkan antara air panas dan uap panas yang dialirkan ke turbin. Sementara dengan binary

plants, air panas mengalir melalui heat exchangers, untuk mendidihkan cairan organik yang memutarakan turbin. Uap panas yang dimampatkan dan sisa dari cairan panas bumi dari ketiga cara di atas disuntikkan lagi ke batuan panas agar kembali menghasilkan panas. Cara kerja inilah yang membuat energi panas bumi dikategorikan sebagai energi terbarukan. Ditinjau dari potensi energi panas bumi yang sangat besar serta sifatnya yang ramah lingkungan dan berkelanjutan maka program pengembangan energi panas bumi (apabila dapat dioptimalkan produksi dan pemanfaatannya) akan dapat mengatasi krisis listrik di Indonesia. Al Gore, pada acara pembukaan The Climate Project Asia Pacific Summit di Jakarta, memprediksi Indonesia bisa menjadi negara super power dalam penggunaan energi panas bumi sebagai sumber tenaga listrik. Apakah prediksi ini akan menjadi kenyataan bergantung pada respons kebijakan dan strategi pemerintah dalam mengembangkan energi panas bumi ke depan.

#### **2.1.2.1.2 Sejarah Pengembangan Energi Panas Bumi di Indonesia**

Energi panas bumi mulai dikembangkan di Indonesia pada tahun 1918 atas usulan J.B. van Dijk pada masa pemerintahan kolonial Belanda. Proyek panas bumi pertama ini memanfaatkan sumber energi panas bumi di Kawah Kamojang, Jawa Barat. Dari lima pengeboran sumur yang dilakukan sampai 1928, Kawah Kamojang baru menghasilkan uap pada 1926 yang berasal dari Sumur Kamojang ke-3 (KMJ-3) dengan kedalaman 66 meter, dan sampai sekarang KMJ-3 masih menghasilkan uap kering dengan suhu 140 C dan tekanan 2,5 atmosfer. Dari tahun 1928 sampai dengan 1963, kegiatan pengembangan panas bumi terhenti, dan baru dimulai kembali pada tahun 1964. Pada 1972 pemerintah mulai serius menangani Kawah Kamojang dengan

melakukan penyelidikan secara geokimia, geofisika, dan geologi (Kementerian ESDM, 2009). Dari tahun 1964 sampai dengan 1981, pengembangan energi panas bumi di Indonesia dilakukan oleh Direktorat Vulkanologi (Bandung) bersama dengan Lembaga Masalah Ketenagaan (LMK) PLN dan ITB. Kegiatan ini dijalankan dengan bantuan luar negeri. Pada 1974, Pertamina bersama dengan PLN mulai aktif dalam pengembangan pembangkitan listrik sebesar 30 MW di daerah Kamojang dengan biaya sebesar US\$ 34 juta. Pengembangan ini didanai dengan bantuan pemerintah Selandia Baru sebesar NZ\$24 juta dan sisanya dari pendanaan pemerintah Indonesia. Selanjutnya pada 1978, Pertamina mendirikan monoblok di Kamojang. PLTP Kamojang dengan kapasitas 30 MW diresmikan awal Februari 1983. Selain di Kawah Kamojang, pada 1972, pengeboran panas bumi dilakukan di Pegunungan Dieng. Pertamina juga membangun monoblok di Dieng dan meresmikannya pertengahan Mei 1981 dengan kapasitas total 2 MW di lapangan Kamojang dan Dieng. Dari sisi regulasi, pemerintah mengeluarkan Keppres No. 22 Tahun 1981, yang memberi kewenangan kepada Pertamina untuk melakukan survei eksplorasi dan eksploitasi panas bumi untuk pembangkit tenaga listrik di seluruh Indonesia. Pertamina juga diwajibkan menjual energi listrik yang dihasilkan dari perusahaan panas bumi kepada PLN. Selain itu, ketika Pertamina belum atau tidak bisa melaksanakan perusahaan tersebut, Pertamina diperbolehkan bekerja sama dengan pihak lain dalam bentuk Kontrak Operasi Bersama (joint operation contract atau JOC). Keppres No. 22 tahun 1981 tersebut menggantikan Keppres No. 22 Tahun 1974. Berdasarkan Keppres No. 22 Tahun 1981, Pertamina mulai melakukan survei di Lahendong, Sulawesi Utara. Pertamina kemudian menandatangani kontrak dengan Unocal Geothermal of Indonesia (UGI) untuk pengembangan panas bumi di Gunung

Salak pada tahun 1982 untuk PLTP I dan pada tahun 1994 untuk PLTP II. Pada 1983, Pertamina mengembangkan sumur panas bumi di Kamojang dan mulai mengoperasikan PLTP unit I dengan kapasitas 30 MW. Pada tahun 1987, Pertamina mengoperasikan PLTP Kamojang unit II. Selain Lahendong dan Kamojang, Keppres No. 22 Tahun 1981 telah mendorong Pertamina melakukan kerja sama perusahaan panas bumi di Gunung Darajat dengan Amoseas of Indonesia Inc dan PLN (JOC-ESC). Hasilnya, pada 1994 PLTP unit II beroperasi di Gunung Darajat. Melihat situasi perkembangan panas bumi yang lambat, pemerintah menyempurnakan Keppres No. 22 Tahun 1981 dengan mengeluarkan Keppres No. 45 Tahun 1991. Dalam Keppres baru ini, Pertamina diberi keleluasaan dengan kontraktor untuk melakukan eksplorasi dan eksploitasi panas bumi serta menjualnya (produksi uap atau listrik yang dihasilkan energi panas bumi) kepada PLN atau badan hukum lain pemegang izin kelistrikan.

Di dalam Keppres No. 45 Tahun 1991 tersebut, pemerintah mengizinkan instansi lain (selain Pertamina), yaitu BUMN, swasta nasional, termasuk koperasi untuk mengembangkan usaha dalam bidang ketenagalistrikan skala kecil (10 MW) dan keperluan lain yang terkait. Selain itu, dalam rangka mendorong perusahaan energi panas bumi, pemerintah juga mengeluarkan Keppres No. 49 Tahun 1991, menggantikan Keppres No. 23 tahun 1981, yang mengatur tentang pajak perusahaan panas bumi dari 46% menjadi 34%. Dengan payung hukum Keppres No. 45 Tahun 1991, Pertamina melakukan kontrak perusahaan energi panas bumi dengan empat perusahaan panas bumi, di antaranya dengan PT Mandala Nusantara untuk WKP Wayang Windu Jawa Barat, PT Karaha Bodas Company untuk WKP Karaha Jawa Barat, PT Himpurna California Energy untuk WKP Gunung Dieng Jawa Tengah, dan PT Patuha Power

Limited untuk WKP Patuha Jawa Barat. Kemudian pada 1995, Pertamina juga melakukan kerja sama kontrak (JOC dan ESC) antara Pertamina Bali Energy Limited dan PT PLN untuk daerah perusahaan Batukuha Bali. Penandatanganan kontrak (SSC dan ESC) juga dilakukan untuk Kamojang Unit IV dan V dengan PT Latoka Trimas Bina Energi serta ESC antara PT Latoka Trimas Bina Energi dan PT PLN (Persero). Selanjutnya, masih pada tahun 1995, Pertamina menandatangani MoU dengan PT PLN untuk membangun PLTP (1x20 MW) di Lahendong Sulawesi Utara dan monoblok (2 MW) di Sibayak Sumatra Utara. Kemudian pada tahun 2000, pemerintah mengeluarkan Keppres No. 76 Tahun 2000 yang mencabut monopoli perusahaan panas bumi oleh Pertamina dan memberi perlakuan yang sama terhadap semua pelaku bisnis panas bumi di Indonesia. Keppres ini dimaksudkan untuk merevisi Keppres No. 22 Tahun 1981 dan Keppres No. 45 Tahun 1991.

Pada tahun 2003, pemerintah mengeluarkan kebijakan energi nasional (KEN) yang didasari oleh kebijakan umum bidang energi (KUBE) 1998 yang mengatur diversifikasi energi dan intensifikasi pencarian sumber energi. Berlandaskan KEN 2003 ini, kemudian pemerintah menetapkan UU No. 27 Tahun 2003 yang memberikan kepastian hukum dalam pengembangan energi panas bumi di Indonesia.

### **2.1.3 Konsep Dasar Prakiraan (*Forecasting*)**

Dalam penelitian-penelitian tentang prakiraan / proyeksi, beberapa kasus itu sangat baik dapat diuraikan sebagai proyeksi atau dugaan atau ukuran, namun sebenarnya memiliki kepentingan yang sama, khususnya mengantisipasi nilai di kemudian hari. Pada dasarnya mengantisipasi apa yang akan datang benar-benar

menantang. Membuat dugaan minat untuk keamanan energi listrik adalah tahap awal dari serangkaian latihan dalam mengatur pengembangan kerangka daya yang mencakup bahan bakar energi, usia, penyebaran dan sirkulasi. Persyaratan keserbagunaan energi listrik dapat sangat dipengaruhi oleh beberapa elemen, termasuk populasi, ekonomi, penggantian energi, dan kapasitas untuk memasok bahan bakar utama, dan lebih jauh lagi di negara-negara tertentu dipengaruhi oleh biaya penawaran listrik kepada klien, variabel sesekali, perubahan dalam konstruksi moneter, dan lain-lain sebagainya [3].

### **2.1.3.1 Metode Prakiraan**

Metode Prakiraan adalah prosedur untuk meramalkan atau memperkirakan suatu nilai di masa depan dengan berfokus pada informasi atau data masa lalu dan saat ini, baik secara numerik maupun terukur. Ketepatan pengukur yang dibuat sangat dipengaruhi oleh teknik yang digunakan dan sifat informasi/data yang dapat diakses. Namun selama informasi yang digunakan tidak diterima atau tidak meyakinkan, alat ukur yang disampaikan juga akan sulit untuk dipercaya kebenarannya [5]. Sebagai aturan, strategi memperkirakan dapat dicirikan menjadi dua kumpulan prinsip, khususnya:

- a. Metode kuantitatif atau teknik objektif adalah angka yang bergantung pada informasi kuantitatif sebelumnya dan diikuti oleh serangkaian pedoman numerik untuk meramalkan atau memperluas nilai di kemudian hari. Teknik kuantitatif ini terdiri dari beberapa macam, yaitu: strategi organisasi saraf palsu, teknik kerangka deduksi halus dan campuran teknik organisasi saraf palsu dengan kerangka induksi halus, khususnya strategi kerangka derivasi neuro halus serbaguna, strategi kekambuhan,

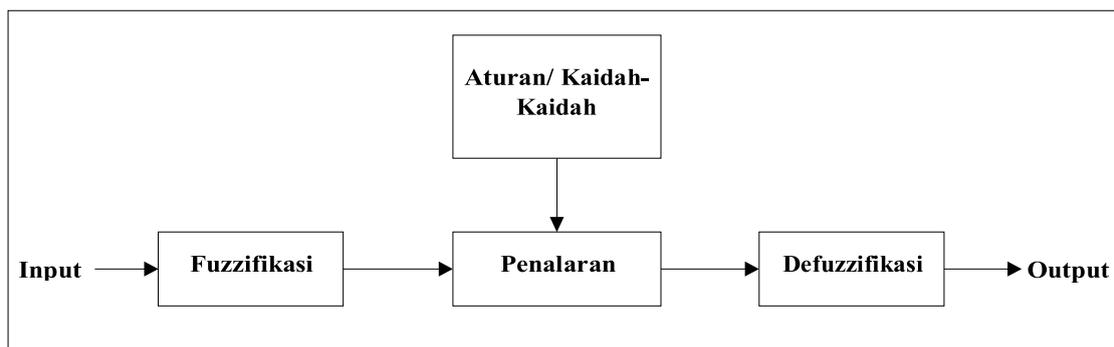
pola, dan ekonometrika adalah juga diingat untuk pertemuan ini.

- b. Metode subjektif atau teknik Abstrak (kritis) adalah dugaan tergantung pada informasi subjektif sebelumnya. Efek samping dari pengukur yang dibuat sangat tergantung pada individu yang mengumpulkannya karena bergantung pada perenungan alami, kesimpulan dan informasi serta pengalaman penyusun. Teknik ini biasanya digunakan karena tidak ada informasi delegasi yang tersedia sehingga model numerik yang pas tidak dapat dibuat. Seperti diketahui, ada banyak strategi dan teknik yang dapat digunakan untuk memperkirakan kepentingan kekuasaan. Namun akan dijelaskan beberapa teknik, khususnya strategi yang diingat untuk kumpulan strategi kuantitatif yang diandalkan untuk digunakan secara teratur, khususnya teknik kerangka deduksi neuro lembut. Karena strategi kerangka induksi neuro lembut yang serbaguna memiliki tingkat ketepatan yang lebih tinggi dalam bergerak menuju hasil pertama. Kerangka Kerja Derivasi Neuro Fuzzy Serbaguna atau kerangka kerja duga halus berbasis organisasi serbaguna (ANFIS) adalah semacam organisasi saraf palsu yang bergantung pada kerangka deduksi halus Takagi-Sugeno. Strategi ini diciptakan pada pertengahan 1990-an. Karena mengoordinasikan organisasi saraf dan standar rasional yang halus, kerangka kerja ini mungkin dapat menangkap keuntungan dari keduanya di dalam sistem soliter. Kerangka Induksi Neuro Fluffy Serbaguna ini telah digunakan dalam energi kerangka eksekutif. Oleh karena itu, dalam proposal ini untuk memperkirakan penggunaan energi listrik yang dinilai dengan menggunakan strategi kerangka kerja duga saraf yang fleksibel. Terlebih lagi, teknik subjektif tidak dibahas dalam tulisan ini.

### 2.1.4 Sistem Inferensi Fuzzy

Inferensi Sistem Fuzzy (FIS) adalah kerangka kerja kendali rasional yang halus yang dapat menghalangi standar komparatif seperti yang dilakukan orang berdasarkan impuls dan informasi mereka. Dasar pemikiran fuzzy adalah alasan yang mengandung komponen kerentanan. Dalam pemikiran adat atau pemikiran segar, hanya ada 2 individu dari susunan kualitas, khususnya palsu atau valid, 0 atau 1. Sedangkan pemikiran mengembang mempersepsikan nilai-nilai antara valid dan palsu. Kebenaran dalam pemikiran yang halus dapat dikomunikasikan dalam tingkat kebenaran atau kapasitas pendaftaran dalam rentang 0 hingga 1 [6].

Dalam Inferensi Sistem Fuzzy ada beberapa siklus mulai dari bagian informasi hingga mencapai kesimpulan[7]. Interaksi tersebut terdiri dari rangkaian fuzzifikasi, derivasi (berpikir) menggunakan prinsip-prinsip mengembang, dan defuzzifikasi. Gambaran umum alur Inferensi Sistem Fuzzy dapat dilihat pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Proses Sistem Inferensi Fuzzy [7]

### 2.1.5 Fuzzifikasi

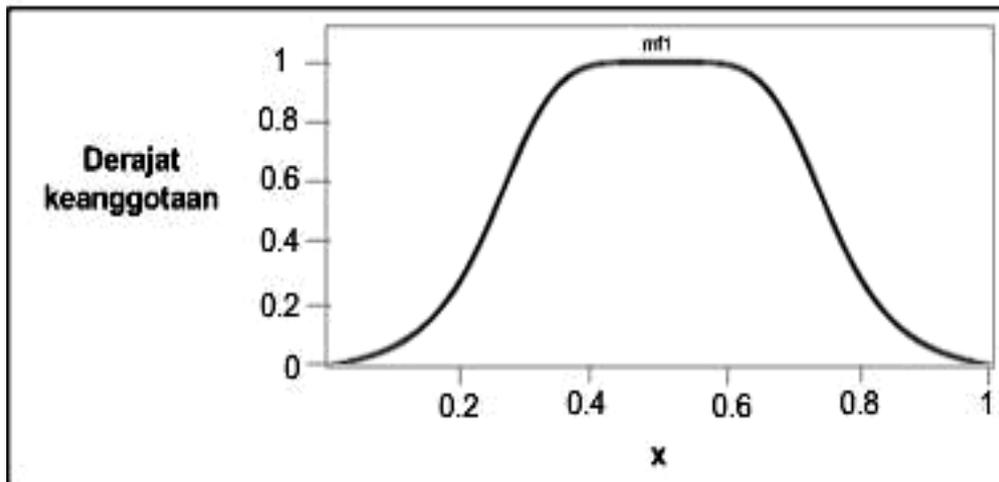
Fuzzifikasi adalah perencanaan nilai-nilai informasi yang bersifat tegas ke dalam kapasitas pendaftaran set yang halus, untuk ditangani dalam mesin pemikiran. Kapasitas pendaftaran dari himpunan berbulu dapat diperkenalkan dalam dua cara, menjadi matematis spesifik dan berguna. Secara matematis, himpunan mengembang diperkenalkan sebagai tingkat gabungan dari pendaftaran setiap komponen di alam semesta. Secara praktis, himpunan fuzzy diperkenalkan sebagai kondisi numerik sehingga untuk menentukan tingkat partisipasi setiap komponen yang diketahui orang yang dibicarakan memerlukan perkiraan. Pengembangan derajat partisipasi harus dimungkinkan dengan perencanaan informasi langsung ke pekerjaan pendaftaran atau dengan memanfaatkan informasi kelompok yang kemudian direncanakan untuk pekerjaan pendaftaran [6].

### 2.1.6 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan digunakan untuk mendapatkan derajat keanggotaan dari suatu data terhadap himpunan semestaya [8]. Adapun fungsi keanggotaan yang biasa digunakan dalam logika fuzzy adalah sebagai berikut:

#### 1. Fungsi Keanggotaan *Generalized Bell* (GBell)

Bentuk dari fungsi keanggotaan *generalized bell* ditentukan oleh tiga parameter {a,b,c} seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Kurva Generalized Bell

Fungsi keanggotaan *Generalized Bell* (GBell) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$bell(x;a,b,c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}}$$

Keterangan :

b : nilai bias yang biasanya bernilai positif agar kurva menghadap ke bawah. Jika negatif, maka fungsi keanggotaan akan menjadi *upside-down bell*.

c : nilai mean kurva.

a : standar deviasi yang terbentuk.

### 2.1.7 Kluster Fuzzy (*Fuzzy Clustering*)

Kluster Fuzzy adalah kumpulan informasi atau kelompok informasi yang secara praktis memiliki kualitas yang hampir sama secara numerik dalam suatu kumpulan atau kelas tertentu. Pekerjaan pendaftaran yang akan digunakan dalam pengelompokan halus ditampilkan dari informasi yang ada. Metode yang digunakan untuk meringkaskan karya partisipasi ini disebut *displaying*. Teknik pengelompokan mengembang yang biasa

digunakan untuk menampilkan informasi adalah *Fuzzy C-Means* (FCM) dan *Fuzzy Subclustering* [9].

Fuzzy Subclustering adalah teknik tunggal untuk mengumpulkan informasi di mana jumlah tandan tidak boleh dicirikan terlebih dahulu. Berbeda dengan Fuzzy Subclustering, FCM adalah teknik pengumpulan informasi terarah di mana jumlah tandan tidak benar-benar ditetapkan terlebih dahulu sebelum mengumpulkan informasi. Ide penting dari FCM pertama adalah untuk menentukan titik fokus kelompok pada keadaan dasar tempat kelompok masih belum tepat. Setiap informasi memiliki tingkat keikutsertaan untuk setiap tandan dengan menetapkan titik fokus kelompok dan nilai partisipasi setiap informasi berulang kali, akan terlihat bahwa titik fokus kelompok akan berpindah ke area yang tepat.

### **2.1.8 Inferensi**

Pada tahap ini kerangka memilah nilai informasi (kontribusi) untuk memutuskan nilai (hasil) sebagai tipe pemimpin. Kerangka kerja terdiri dari beberapa standar di mana tujuan diperoleh dari bermacam-macam dan hubungan antara aturan. Strategi derivasi yang sering digunakan adalah teknik Mamdani, Sugeno dan Sukamoto. Untuk memainkan siklus derivasi, ada 3 aktivitas dasar yang biasanya digunakan, yaitu max, min, dan not tertentu [8].

### **2.1.9 Operasi Himpunan Fuzzy**

Prosedur pada himpunan fuzzy pada dasarnya seperti prosedur pada himpunan tradisional di mana aktivitas AND yang sah digantikan dengan min, aktivitas OR yang

koheren digantikan dengan maks, sedangkan administrator NOT digantikan dengan prosedur suplemen pada himpunan [9].

#### **2.1.10 Defuzzifikasi**

Kontribusi interaksi defuzzifikasi adalah himpunan mengembang yang diperoleh dari organisasi prinsip-prinsip berbulu, sedangkan hasil selanjutnya adalah bilangan dalam ruang himpunan berbulu. Jadi, setiap kali diberikan set lembut dalam jangkauan tertentu, ia harus memiliki opsi untuk menerima nilai segar tertentu sebagai hasil. Teknik defuzzifikasi yang digunakan dalam ulasan ini adalah berat badan normal. Dalam teknik normal bobot ini, nilai normal diambil dengan menggunakan pembobotan sebagai derajat partisipasi, di mana  $z$  adalah nilai baru dan  $(z)$  adalah tingkat pendaftaran nilai  $z$  baru [6].

#### **2.1.11 Artificial Neural Network (ANN)**

*Artificial Neural Network* (ANN) adalah desain organisasi di mana perilaku hasil informasi umum ditentukan oleh sekelompok batasan yang disesuaikan. Salah satu struktur organisasi saraf adalah multi-facet perceptrons (MLP) dimana organisasi semacam ini secara eksplisit merupakan tipe jalur maju. MLP telah diterapkan secara efektif untuk mengatasi masalah yang sulit dan berbeda dengan mempersiapkannya menggunakan perhitungan *Error Back Propagation* (EBP) [10].

Untuk lebih mengembangkan kapasitas pembelajaran, jaringan saraf tiruan dapat bekerja dengan sistem fuzzy. Kerangka kerja fuzzy menggambarkan kerangka kerja dengan informasi etimologis yang lugas[11]. Kerangka kerja derivasi yang halus dapat

diterapkan pada perhitungan yang menghasilkan kembali tergantung pada set informasi hasil input yang menggunakan rekayasa organisasi saraf[12]. Cara ini memungkinkan kerangka kerja yang halus untuk belajar. Perpaduan kerangka kerja yang halus dengan organisasi saraf umumnya disebut Neuro Fuzzy.

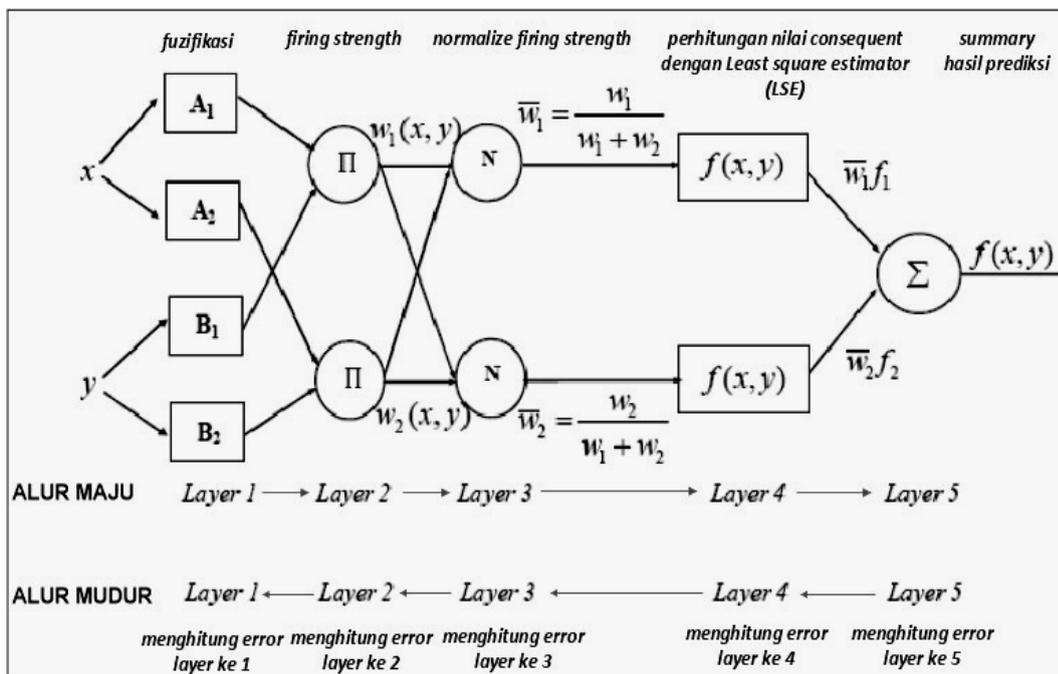
#### **2.1.12 ANFIS**

*Neuro Fuzzy System* dengan struktur ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* atau biasa disebut *Adaptive Network based Fuzzy Inference System*) dikenang untuk jaringan saraf tiruan namun mengingat kapasitasnya dengan sistem inferensi fuzzy. Dalam kerangka Neuro Fuzzy, sistem pembelajaran berada pada organisasi saraf dengan berbagai kombinasi informasi yang berguna untuk menyegarkan batas-batas Sistem Inferensi Fuzzy [8].

Informasi yang digunakan untuk sistem pembelajaran (persiapan) terdiri dari informasi, batasan ANFIS, dan informasi uji yang berada dalam masa persiapan ANFIS yang kemudian dilakukan interaksi pembelajaran pada informasi tersebut sehingga nantinya didapatkan hasil sesuai dengan hasil yang diharapkan. Persiapan dengan ANFIS menggunakan perhitungan pembelajaran half-breed, yang menggabungkan strategi *Least-Squares Error* (LSE) untuk memastikan nilai yang dihasilkan di depan dan menggunakan Error Backpropagation (EBP) dan penurunan kemiringan secara retrogresif untuk menghitung kesalahan yang terjadi di setiap lapisan[9]. ANFIS terdiri dari lima lapisan. Lapisan utama terdiri dari interaksi fuzzifikasi di mana informasi dan informasi target direncanakan sejauh tingkat partisipasinya. Pada lapisan kedua dan ketiga, siklus derivasi selesai yang digunakan untuk memutuskan pedoman halus

menggunakan deduksi Sugeno di mana hasilnya akan ditangani dalam estimasi berikut. Pada lapisan 4, proses *worth inquiry* selanjutnya diselesaikan dengan menggunakan LSE. Pada lapisan 5, siklus rundown dari dua hasil pada lapisan 4. Di ANFIS, inferensi sistem fuzzy (FIS) terletak di lapisan 1, 2, 3 dan 4 di mana FIS adalah penentu hub yang disimpan dalam jaringan saraf[13].

Setelah menghitung arus maju, perhitungan arus retrogresif dilakukan untuk memastikan nilai kesalahan dari setiap lapisan dan mengubah nilai batas informasi menggunakan kemiringan lereng. Interaksi komputasi di atas akan diulang terus-menerus sampai nilai kesalahan memenuhi nilai kesalahan paling ekstrim yang tidak ditentukan[14]. Aliran interaksi dalam kerangka ANFIS terdiri dari lima lapisan dan digambarkan pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Blok diagram ANFIS

## Layer 1

- a.  $O_{1,i}$  : Output node ke i pada layer I
- b. Setiap node i di layer 1 adalah node adaptif dengan fungsi node :

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(x) \text{ untuk } i = 1 \text{ dan } 2$$

$$O_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(x) \text{ untuk } i = 3 \text{ dan } 4$$

- c. x dan y : input node i
- d.  $A_i$  dan  $B_{i-2}$  variabel linguistic = node
- e.  $O_{1,i}$  : membership dari fuzzy set (  $A_1, A_2, B_1, B_2$ )
- f. Membership function :

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + \frac{|x-c_i|}{|a_i|} 2b_i}$$

- g.  $a_i, b_i, c_i$  disebut parameter set dari premis

## Layer 2 :

- a. Setiap node di layer 2 adalah node tetap yang diberi label Prod
- b. Outputnya adalah semua sinyal yang masuk

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x) \cdot \mu_{B_i}(x) \text{ untuk } i = 1 \text{ dan } 2$$

- c. Setiap node mempresentasikan rule
- d. Operator logic yang digunakan T-norm atau AND

## Layer 3:

- a. Setiap node di layer 3 adalah node tetap yang diberi label Norm
- b. Node ke-i menghitung rasio dari aturan ke -I dengan jumlah seluruh rule

- i.  $O_{3,i} = w_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \text{ untuk } i = 1 \text{ dan } 2$

- c. Outputnya adalah Normalized Firing Strengths

Layer 4:

- a. Setiap node di layer 4 adalah node adaptive dengan fungsi

$$o_{4,i} = \bar{w}_{if_i} = \bar{w}_I (p_i + q_i + r_i)$$

- b.  $\bar{w}_I$  adalah normalized firing strength pada layer 3
- c.  $p_i + q_i + r_i$  disebut parameter set pada node atau disebut juga konsekuen parameter

Layer 5:

- a. Single node di layer 5 adalah fixed node dengan label sum
- b. Sum yaitu jumlah dari semua sinyal yang masuk

$$\text{Overall output } o_{5,i} = \sum \bar{w}_{if_i} = \sum \frac{\bar{w}_{if_i}}{w_i}$$

Setelah selesai melakukan perhitungan pada ANFIS, maka kemudian melakukan perhitungan kesalahan hasil proyeksi dengan menggunakan *Mean Absolute Percentage Error*, sebagai berikut :

$$\text{MAPE} = \frac{\sum \frac{a-b}{a}}{n} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

- a = data aktual;
- b = data proyeksi atau prakiraan;
- n = jumlah tahun perkiraan.

**2.1.13 Faktor Yang Mempengaruhi Pertumbuhan Energi Baru Dan Terbarukan**

Pertumbuhan energi ketenagalistrikan baru dan berkelanjutan sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor yang dapat menjadikan pengembangan ketenagalistrikan baru dan

berkelanjutan sebagai energi keselamatan publik dalam menggantikan energi yang memanfaatkan produk minyak bumi seperti batubara dan minyak bumi. Terdapat faktor yang mempengaruhi suatu pertumbuhan energi baru dan terbarukan, yaitu:

1. Faktor jumlah penduduk.
2. Faktor ekonomi.
3. Faktor pemakaian bahan bakar fosil.

#### **2.1.13.1 Pertumbuhan Jumlah Penduduk.**

Penduduk tentu membutuhkan energi listrik yang dapat menopang rutinitas keseharian mereka. Seiring bertambahnya jumlah penduduk di suatu negara atau kabupaten, kebutuhan energi listrik juga akan meningkat [15]. Perkembangan penduduk merupakan elemen yang sangat dominan dalam mempengaruhi tingkat kepentingan energi listrik terlepas dari perkembangan keuangan dan industri[16]. Dengan demikian, dalam menyusun perhitungan kebutuhan akan ketahanan energi listrik, dibutuhkan informasi yang benar tentang jumlah penduduk dalam beberapa tahun ke depan dan memperluas jumlah penduduk ke dalam beberapa tahun ke depan [3].

#### **2.1.13.2 Pertumbuhan Ekonomi**

Klarifikasi siklus keuangan adalah sebagai berikut: Perekonomian dapat tercipta jika ada peningkatan hasil sebagai tenaga kerja dan produk. Peningkatan imbal hasil mungkin terjadi jika ada usaha yang dilakukan secara terus-menerus, baik melalui peningkatan spekulasi yang ada maupun yang baru[17]. Spekulasi tersebut membutuhkan modal agar dapat berubah menjadi dana cadangan di bidang moneter

(bank) yang harus disumbangkan sebagai aparatur ventura[18]. Spekulasi yang terus-menerus dapat memperluas hasil dan dapat membuka posisi baru untuk area lokal[19]. Pengeluaran pemerintah pada umumnya berasal dari pembayaran pungutan dan non pungutan, yang dapat dikumpulkan jika dunia usaha secara umum dapat eksis dan angkatan kerja memiliki upah yang memadai. Pertukaran akan terjadi jika ada tenaga kerja dan produk yang dibuat, dan penyebaran ini semua adalah hulu dari sebuah usaha [4].

Kemajuan keuangan suatu negara dalam waktu tertentu dalam setahun dikomunikasikan dengan istilah Total output nasional (Produk Domestik Bruto) atau dalam bahasa Indonesia disebut GDP (Gross domestic product)[20]. Jika luasan ruang ditentukan secara tegas di tingkat Umum atau Rezim dan Kota, maka pada saat itu dikenal sebagai Produk Domestik Regional Bruto (PDRB)[21]. Dan selanjutnya ada beberapa istilah yang berbeda, seperti *Gross National Product* (GNP), *Gross National Income* (GNI), dan lain-lain[22].

Perekonomian suatu negara atau daerah dapat dikatakan berkembang jika kuantitas tenaga kerja dan produknya terus berkembang atau berkreasi. Laju perkembangan moneter adalah angka sebagai laju yang dapat menunjukkan tinggi rendahnya atau lambatnya perkembangan keuangan suatu negara atau daerah dalam satu tahun dibandingkan dengan tahun-tahun sebelumnya[23].

### **2.1.13.3 Pemakaian Bahan Bakar Fosil**

Bahan bakar fosil atau bahan bakar mineral adalah sumber daya alam yang mengandung hidrokarbon seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Bahan bakar

fosil terbentuk karena adanya proses alamiah berupa pembusukan dari organisme yang mati ratusan juta tahun lalu. Bahan bakar fosil seperti minyak bumi dan gas alam berasal dari organisme laut yaitu jasad renik (mikroba, seperti ganggang, alga, diatom, zooplankton, fitoplankton, dll) yang mati dan mengendap di lapisan sedimen dasar laut. Endapan ini lantas terbawa ke dasar kerak Bumi melalui gerakan lempeng yang disebut penunjaman (subduksi). Setelah melalui tekanan dan suhu ekstrem selama berjuta-juta tahun, fosil mereka akhirnya berubah menjadi substansi berminyak yang bisa dimanfaatkan. Tidak semua makhluk hidup atau tumbuhan akan menjadi bahan bakar fosil. Sedangkan bahan bakar fosil seperti Batubara, berasal dari vegetasi tanaman rawa, dari hutan Periode Devonian dan Karboniferus yang menjadi gambut, kemudian tertimbun jutaan tahun hingga menjadi batubara.

Bahan bakar fosil termasuk jenis sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui (dalam waktu singkat). sebab, bahan bakar fosil terbentuk dari proses endapan dan penguraian makhluk hidup yang membutuhkan waktu jutaan tahun lamanya. Itulah sebabnya, pemanfaatan dari bahan bakar ini harus dilakukan secara bijak dan bertanggung jawab. Selain itu juga sumber bahan bakar fosil yang ada lebih cepat habis dibandingkan dengan terbentuknya yang baru.

Penggunaan bahan bakar fosil yang telah berlangsung lama, dari dulu hingga sekarang ini menyebabkan timbulnya masalah-masalah lingkungan. Oleh karena itu diperlukan gerakan global menuju pembangkitan energi terbarukan agar bahan bakar fosil tidak cepat habis. Walaupun penggunaan bahan bakar fosil pada era sekarang telah menggerakkan pengembangan industri dan menggantikan kincir angin, tenaga air, dan juga pembakaran kayu atau pelat untuk panas.

## 2.2 Kajian Penelitian Yang Relevan

Beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya mengenai Proyeksi Pertumbuhan Energi Baru Dan Terbarukan antara lain:

1. A. Sugiono (2016), Energi memainkan peran penting dalam memperluas aksi moneter di Indonesia, oleh karena itu energi harus diawasi tergantung pada standar turn of events yang dapat dipertahankan. Ada dua hal penting yang perlu diperhatikan dalam pembangunan moneter di Indonesia, yakni bagaimana cara agar bisa lepas dari jerat negara-negara pembayaran pusat dan mengurangi penggunaan bahan bakar minyak. Tesis ini akan mengkaji minat dan pasokan energi di Indonesia dalam jangka panjang dengan mempertimbangkan berbagai upaya untuk mengatasi berbagai isu energi yang mungkin muncul. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk situasi esensial (*BAU-Business As Usual*), interest interest (penghitungan biomassa) akan meningkat dari 1.079 juta SBM (Setara Barel Minyak) pada tahun 2012 menjadi 1.916 juta SBM pada tahun 2025 dan mencapai 2.980 juta SBM pada tahun 2035. atau kemudian berkembang lagi dengan normal sebesar 4,5% setiap tahun. Dalam situasi yang tinggi, permintaan energi akan meningkat dengan perkembangan normal 5,6% setiap tahun. Bahan bakar minyak masih merupakan sumber energi utama dengan porsi 37% pada tahun 2012, dan diperkirakan akan meningkat menjadi 42,9% pada tahun 2035 (situasi dasar) dan 43,3% (situasi tinggi). Aset energi yang terbatas mempengaruhi penciptaan energi dalam negeri hingga saat ini tidak dapat memenuhi kebutuhan energi dalam negeri pada tahun 2033, dengan tujuan agar Indonesia menjadi negara pengirim energi bersih. Jawaban untuk

mengurangi impor energi adalah dengan membangun kemajuan sumber daya baru yang ramah lingkungan yang lebih kuat dari sekarang ke masa mendatang.

2. N. Aryanto dkk (2020), Dengan tujuan untuk meningkatkan nilai Rasio Elektrifikasi menjadi 99,9% dan penggunaan Energi Baru Terbarukan (EBT) menjadi 25% pada tahun 2025, Rancangan Umum Energi Nasional (RUEN) perlu diturunkan menjadi Rancangan Umum Energi Daerah. (RUED). Sumbawa sebagai ruang di Nusa Tenggara Barat yang memiliki potensi EBT seperti Potensi Energi Surya, Energi Air, Energi Panas Bumi dan Energi Laut memerlukan pengaturan kunci untuk mengawasi dan memenuhi ketahanan energi wilayah. Kajian ini direncanakan untuk mengantisipasi kebutuhan energi, dan merencanakan kemampuan EBT, untuk memperoleh perpaduan energi yang adil. Eksplorasi ini dipimpin menggunakan pemrograman Sistem Perencanaan Alternatif Energi Jangka Panjang (LEAP) dengan teknik pendekatan kerangka kerja yang kuat. Informasi didapat dari PT. PLN UP3 Sumbawa, Data RUPTL PLN Wilayah NTB, Bappeda Kab. Sumbawa dan BPS Kab. Sumbawa. Efek samping dari tinjauan ini menunjukkan bahwa kemampuan EBT dapat dikoordinasikan ke dalam RUED untuk mengatasi masalah energi di sekitar sini. Dengan demikian, eksplorasi ini dapat menciptakan suatu ukuran kebutuhan energi yang tepat bagi Kabupaten Sumbawa, khususnya pemanfaatan sumber energi listrik provinsi yang efisien untuk mengakui ketahanan energi bagi Kabupaten Sumbawa yang luar biasa dan mulia dalam memberdayakan pembangunan RUED Kabupaten Sumbawa sesuai dengan Strategi Indikator Program SDGs. diberangkatkan oleh Pemerintah, baik Pemerintah Pusat maupun Pemerintah Daerah, khususnya program energi bersih (*Green Energy*).

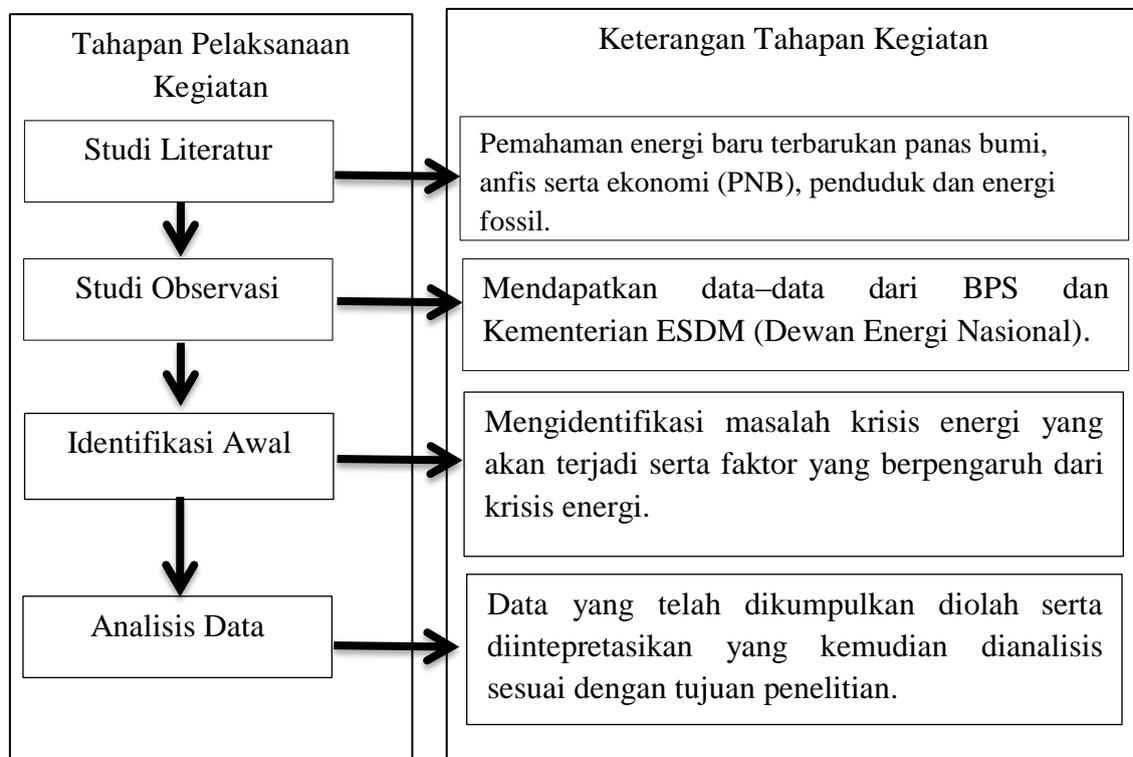
3. Pemanfaatan energi listrik di Aceh semakin meningkat dari tahun ke tahun. Variabel penyebab meningkatnya pemanfaatan energi listrik di Aceh adalah Pertumbuhan Penduduk, dan Perekonomian. Untuk memenuhi kebutuhan pemanfaatan energi listrik yang semakin meningkat dari tahun ke tahun, maka penting untuk mengukur pemanfaatan energi listrik yang terkuras dalam waktu yang sangat lama, khususnya pada tahun 2028 di Aceh. Untuk menilai pemanfaatan energi listrik diperlukan suatu teknik yang dapat bergerak menuju hasil pertama. Strategi yang digunakan adalah Metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System. Hasil yang didapat dalam menilai pemanfaatan energi listrik pada tahun 2028 di Aceh dengan menggunakan teknik ini adalah 5578,02 GWh atau dengan peningkatan 2,07% setiap tahun hingga tahun 2028 [24].
4. Penelitian ini menyajikan kerangka kerja derivasi halus berbasis organisasi (ANFIS) serbaguna untuk ekspektasi pemanfaatan daya jangka panjang. Enam model diusulkan untuk menilai bunga listrik tahunan. 104 ANFIS telah dibangun dan mencoba mencari ANFIS terbaik untuk pemanfaatan daya. Dua batasan telah dipertimbangkan dalam pengembangan dan penilaian model ANFIS yang mungkin. Jenis pekerjaan pendaftaran dan jumlah faktor fonetik adalah dua batasan yang dirujuk. Enam kapasitas pendaftaran unik dipertimbangkan dalam mengembangkan ANFIS, sebagai berikut: bekerja dalam pekerjaan partisipasi yang terdiri dari perbedaan antara dua kapasitas partisipasi sigmoidal (dsig), pekerjaan partisipasi konsolidasi Gaussian (gauss2), pekerjaan partisipasi Gaussian (gauss), bekerja di partisipasi bekerja berpadu dibentuk umum (gbell), bekerja dalam pekerjaan pendaftaran pi-dibentuk (pi), psig. Selain itu, berbagai faktor etimologis telah

dipertimbangkan di suatu tempat di kisaran 2 dan 20. Model yang diusulkan terdiri dari faktor informasi, misalnya, Produk Domestik Bruto (PDB) dan Populasi (POP). Enam model berbeda yang bergantung pada berbagai sumber informasi dicirikan. Semua ANFIS yang disiapkan kemudian dikontraskan dengan rasa hormat dengan mean outright blunder rate (MAPE). Untuk memenuhi pameran terbaik dari metodologi berbasis lihai, informasi tersebut telah ditangani sebelumnya (diskalakan) terakhir hasil kami adalah pasca-penanganan (skala ulang). Model ANFIS dapat menangani kerumitan dan kerentanan dalam indeks informasi. Untuk menunjukkan relevansi dan manfaat ANFIS, penggunaan listrik yang sebenarnya di negara-negara industri termasuk Belanda, Luksemburg, Irlandia, dan Italia dari tahun 1980 hingga 2007 telah dipikirkan. Dengan bantuan model autoregressive, PDB dan populasi pada tahun 2015 diantisipasi dan kemudian dengan nilai hasil terbaik dan model ANFIS, pemanfaatan daya dinilai pada tahun 2015

5. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk situasi esensial (*BAU-Business As Usual*), interest interest (penghitungan biomassa) akan meningkat dari 1.079 juta SBM (Setara Barel Minyak) pada tahun 2012 menjadi 1.916 juta SBM pada tahun 2025 dan mencapai 2.980 juta SBM pada tahun 2035. atau kemudian berkembang lagi dengan normal sebesar 4,5% setiap tahun. Dalam situasi yang tinggi, permintaan energi akan meningkat dengan perkembangan normal 5,6% setiap tahun. Bahan bakar minyak masih merupakan sumber energi utama dengan porsi 37% pada tahun 2012, dan diperkirakan akan meningkat menjadi 42,9% pada tahun 2035 (situasi dasar) dan 43,3% (situasi tinggi).[25]

### 2.3 Kerangka Berpikir

Untuk membantu penyusunan penelitian ini, diperlukan struktur yang masuk akal. Struktur ini merupakan sarana yang dapat ditempuh dalam menangani suatu masalah untuk dibicarakan atau diurai. Sarana dalam eksplorasi ini akan diklarifikasi sebagai diagram aliran, yang dapat ditemukan pada Gambar 2.4.



**Gambar 2.4.** Kerangka Berpikir

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

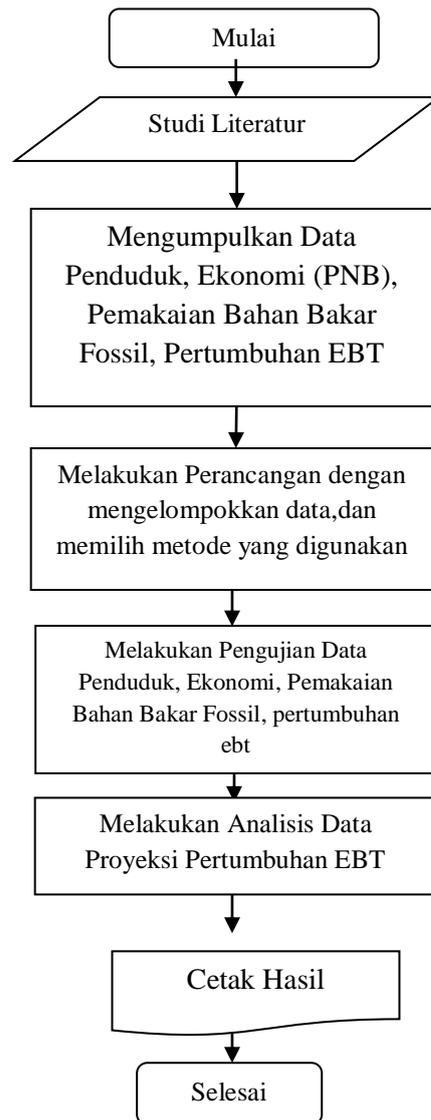
Dalam penelitian ini, telah disusun serangkaian metode penelitian untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian kualitatif dengan metode ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* atau biasa disebut *Adaptive Network based Fuzzy Inference System*) metodologi penelitian kualitatif yang menekankan penemuan teori dari data terjun langsung di lapangan dengan metoda induktif ( menemukan teori dari sejumlah data). Pembahasan metodologi penelitian dalam penulisan tesis ini meliputi sebagai berikut :

#### **3.1 Tempat Dan Waktu Penelitian**

Dalam penulisan tesis ini, telah dilakukan penelitian yang dilakukan di Perpustakaan Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara serta Mendapatkan data–data dari BPS dan Kementerian ESDM (Dewan Energi Nasional) selama lebih kurang enam bulan lamanya.

### 3.2 Rancangan / Desain Penelitian

Proses berlangsungnya rancangan / desain penelitian ini akan dijelaskan dalam bentuk diagram alir sebagai berikut:



**Gambar 3.1.** Diagram alir rancangan/desain penelitian

### **3.3 Sumber Data Penelitian**

Sumber data pada penelitian ini berasal dari Badan Pusat Statistik Indonesia serta Kementerian ESDM (DEN) dan terdiri dari data sekunder yang sudah dihasilkan dari data primer (pencatatan dilapangan) serta disahkan oleh Badan Pusat Statistik Indonesia serta Kementrian ESDM (Dewan Energi Nasional). Adapun data penelitiannya yaitu:

1. Data penduduk Indonesia tahun 2016-2020.
2. Data ekonomi (PNB) Indonesia tahun 2016-2020.
3. Data pemakaian bahan bakar fosil Indonesia tahun 2016-2020.
4. Data proyeksi pertumbuhan energi baru terbarukan Indonesia tahun 2016-2020.

### **3.4 Teknik Pengumpulan Data Penelitian**

Pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan teknik sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur ini digunakan untuk mencari data penelitian mengenai energi baru dan terbarukan yang meliputi studi definisi proyeksi pertumbuhan energi baru terbarukan Indonesia.

2. Pengumpulan Data

Melakukan pengumpulan data mengenai proyeksi pertumbuhan energi baru terbarukan, jumlah penduduk, ekonomi (PNB) dan pemakaian bahan bakar fosil.

3. Pengujian Data dan Analisa

Membuat perancangan data yang dikumpulkan kemudian menganalisis pengujian data tersebut.

### **3.5 Teknik Analisis Data**

Teknik analisis data merupakan tahapan atau metode yang dapat memutuskan dari suatu tinjauan, karena penyelidikan informasi ini berfungsi untuk membuat kesimpulan dari hasil penelitian. Teknik analisis data pada penelitian ini yaitu :

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

Pada tahapan ini peneliti membuat sebuah proses penelitian yaitu berupa pengambilan data mengenai proyeksi pertumbuhan energi baru terbarukan, jumlah penduduk, ekonomi (PNB) dan pemakaian bahan bakar fosil dari Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia dan Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral (ESDM).

#### **2. Alat Penelitian**

Alat penelitian yang digunakan pada penelitian ini yaitu data proyeksi pertumbuhan energi baru terbarukan, jumlah penduduk, ekonomi (PNB) dan pemakaian bahan bakar fosil tahun 2016-2020 di Indonesia.

## **BAB IV**

### **HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Deskripsi Data**

Informasi dalam tinjauan ini diambil dari Badan Pusat Statistik dan Kementerian Energi Sumber Daya dan Mineral. Informasi yang diambil dari Badan Pusat Statistik dan Kementerian Energi Sumber Daya dan Mineral mencakup informasi pertumbuhan penduduk, informasi pertumbuhan ekonomi produk nasional bruto, informasi pertumbuhan energi baru dan terbarukan, dan informasi tentang pemakaian bahan bakar fosil di Indonesia. Setelah informasi terkumpul, maka pada saat itulah informasi tersebut ditangani dan dirinci untuk mengetahui dampak lanjutan dari proyeksi pembangunan ketenagalistrikan baru Indonesia yang berkelanjutan pada tahun 2035.

#### **4.2 Temuan Penelitian**

Pada tahap ini, didapatkan factor apa saja yang mempengaruhi pertumbuhan proyeksi energy baru dan terbarukan, spesifiknya yaitu energy panas bumi di Indonesia dan hasil proyeksi pertumbuhan dari ketiga factor tersebut sehingga dapat menemukan bagaimana merancang proyeksi energi baru yang ramah lingkungan dengan memanfaatkan teknik ANFIS

### 4.3 Pembahasan

Penelitian ini membahas tentang faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan energi baru dan terbarukan Panas Bumi di Indonesia.

#### 4.3.1 Faktor Yang Mempengaruhi Pertumbuhan Energi Baru dan Terbarukan Panas Bumi di Indonesia

Berikut ini merupakan faktor yang dapat mempengaruhi pertumbuhan energy baru dan terbarukan adalah :

##### 1. Pertumbuhan Jumlah Penduduk

Dalam membuat sebuah proyeksi pertumbuhan penduduk di Indonesia, akan diperlukan data real jumlah penduduk dari tahun 2015 sampai 2020 dan dapat dilihat pada tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Data Real Jumlah Penduduk Indonesia

Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)
2015	255,587,900
2016	258,496,500
2017	261,355,500
2018	264,161,600
2019	266,911,900
2020	269,603,400

**Tabel 4.2** Hasil Proyeksi Pertumbuhan Jumlah Penduduk

Tahun	Hasil Proyeksi Pertumbuhan Jumlah Penduduk (Jiwa)
2021	273,135,200
2022	276,713,200
2023	280,338,200
2024	284,010,649
2025	287,731,189
2026	291,500,467
2027	295,319,123

2028	299,187,804
2029	303,107,160
2030	307,077,800
2031	311,100,500
2032	315,176,000
2033	319,304,800
2034	323,487,700
2035	327,725,390

Sumber: Proyeksi Penduduk Indonesia

Source URL : <https://www.bps.go.id/indicator/12/1886/1/jumlah-penduduk-hasil-proyeksi-menurut-provinsi-dan-jenis-kelamin.html>

Hasil dari perhitungan proyeksi jumlah penduduk sampai tahun 2035 sebesar 1,31 % Sehingga, pertumbuhan penduduk mempengaruhi dari penggunaan energi listrik / energi alternatif setiap tahunnya.

Kemudian, menghitung error(MAPE) dengan persamaan :

$$\text{MAPE} = \frac{\text{(Data Perkiraan- data sebenarnya)}}{\text{Jumlah tahun perkiraan}} \times 100\% = 0,00019\%$$

## 2. Pertumbuhan Ekonomi

Dalam membuat sebuah proyeksi pertumbuhan ekonomi di Indonesia, maka diperlukan data real ekonomi (PNB) dari tahun 2015 sampai 2020 dan dapat dilihat pada Tabel 4.3

**Table 4.3** Data Real PNB Berdasarkan harga konstan 2010

Tahun	Produk National Bruto berdasarkan Harga Konstan 2010 (Triliun Rupiah)
2015	8982,5
2016	9433,0
2017	9813,3
2018	10211,5
2019	10615,1
2020	11010,1

**Tabel 4.4** Hasil Proyeksi Pertumbuhan Ekonomi (PNB) Berdasarkan Harga Konstan 2010

Tahun	Hasil Proyeksi Pertumbuhan Ekonomi (PNB) Berdasarkan Harga Konstan 2010 (Triliun Rupiah)
2021	10472,0
2022	10846,9
2023	11235,2
2024	11637,4
2025	12054,1
2026	12485,6
2027	12932,6
2028	13395,6
2029	13875,1
2030	14371,9
2031	14886,4
2032	15419,3
2033	15971,3
2034	16543,1
2035	17135,3

Sumber : Badan Pusat Statistik Indonesia

Pertumbuhan ekonomi (PNB) di Indonesia mengalami pertumbuhan sebesar 3,58 % pada tahun 2035 atau sebesar 17135,3 Triliun Rupiah dikarenakan semakin bertambahnya ekonomi/pemasukan keuangan pada setiap industri, individu ataupun yang lainnya akan mengakibatkan permintaan akan energi listrik dan bahan bakar fosil akan terus meningkat serta cadangan bahan bakar fosil akan mengalami pengurangan setiap hari atau tahunnya, sehingga dapat mempengaruhi pertumbuhan energi baru terbarukan panas bumi di Indonesia

Kemudian, menghitung error (MAPE) dengan persamaan :

$$MAPE = \frac{\text{(Data Perkiraan- data sebenarnya)}}{\text{Data Sebenarnya}} \times 100\% = 0,0028\%$$

Jumlah tahun perkiraan

### 3. Pemakaian Bahan Bakar Fossil

Dalam menentukan proyeksi pemakaian bahan bakar fossil di Indonesia, maka diperlukan data realisasi pemakaian bahan bakar fossil dari tahun 2015 sampai 2020 dan dapat dilihat pada tabel 4.5.

**Tabel.4.5** Data Real Pemakaian Bahan Bakar Fossil

Tahun	Proyeksi Bahan Bakar Fossil (Juta TOE)
2015	63
2016	67,41
2017	72,13
2018	77,18
2019	82,58
2020	88,36

**Tabel 4.6** Hasil Proyeksi Bahan Bakar Fossil

Tahun	Proyeksi Bahan Bakar Fossil (Juta TOE)
2021	94,55
2022	101,16
2023	108,24
2024	115,82
2025	123,93
2026	132,61
2027	141,89
2028	151,82
2029	162,45
2030	173,82
2031	185,99
2032	199,00
2033	212,94
2034	227,84
2035	243,79

Sumber : Dewan Energi Nasional (DEN) ESDM Indonesia  
Dikutip dari Badan Statistik Indonesia

Hasil perhitungan pertumbuhan pemakaian bahan bakar fossil di Indonesia sampai tahun 2035 dengan pertumbuhan rata-rata sebesar 7,00 % pada tahun 2035 atau sebesar 243,79 juta TOE dikarenakan pemakaian bahan bakar fossil sebagai bahan bakar utama selama ini untuk pembangkit akan terus meningkat serta

cadangan pasokan bahan bakar fosil akan terus berkurang, sehingga dapat mempengaruhi pertumbuhan energi baru dan terbarukan di Indonesia.

Kemudian menghitung error (MAPE) dengan persamaan :

$$\text{MAPE} = \frac{\frac{(\text{Data Perkiraan} - \text{data sebenarnya})}{\text{Data Sebenarnya}}}{\text{Jumlah tahun perkiraan}} \times 100\% = 0,0043\%$$

#### 4.3.2 Proyeksi Pertumbuhan Energi Baru dan Terbarukan Panas Bumi di Indonesia

Pada penelitian ini faktor yang mempengaruhi yaitu pertumbuhan jumlah penduduk, pertumbuhan ekonomi (PNB) HK 2010 dan pertumbuhan pemakaian bahan bakar fosil sangat mempengaruhi pertumbuhan energi baru terbarukan di Indonesia. Berikut hasil proyeksi pertumbuhan energi baru terbarukan di Indonesia :

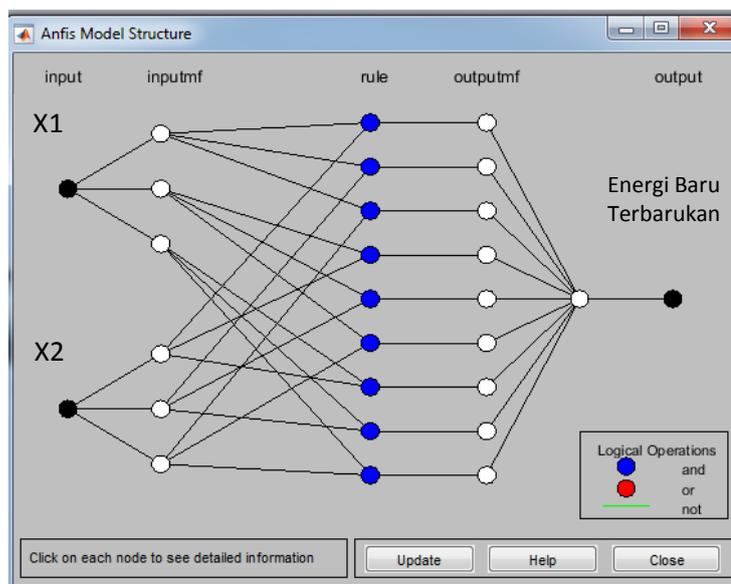
##### 1. Menurut Data Jumlah Penduduk

**Tabel 4.7.** Data Jumlah Penduduk dan Pertumbuhan EBT

Tahun	Pertumbuhan EBT (MW) (X <sub>1</sub> )	Penduduk Indonesia (Juta Jiwa) (X <sub>2</sub> )
2016	85	258,49
2017	305	261,33
2018	210	264,16
2019	190	266,91
2020	151	269,60

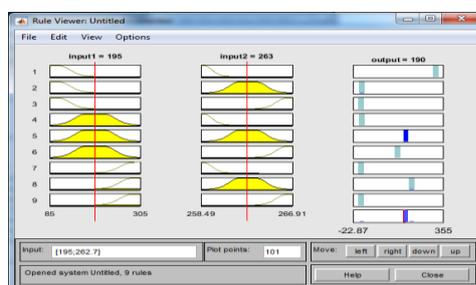
Dari tabel 4.4 dapat dilihat bahwa pertumbuhan energi baru terbarukan di Indonesia sejalan dengan meningkatnya jumlah penduduk Indonesia setiap tahunnya yang terus mengalami peningkatan. Kemudian, data tersebut di proses

supaya dapat mengetahui pertumbuhan energi baru terbarukan pada tahun 2035 dan memiliki struktur ANFIS yang dihasilkan oleh matlab, dapat dilihat pada gambar 4.1.



**Gambar. 4.1.** Struktur ANFIS

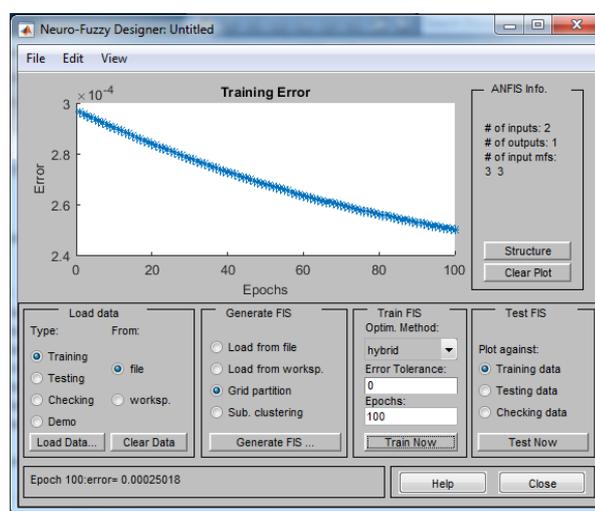
Pada struktur anfis yang ditunjukkan oleh gambar 4.1 menjelaskan bahwa Pelatihan/Pengujian ANFIS selesai pada iterasi ke 2, jumlah node: 35, jumlah parameter linier: 9 dengan jumlah parameter nonlinier: 18, jumlah total parameter: 27, jumlah pasangan data pelatihan: 4, jumlah pasangan data pengecekan: 0 dan menghasilkan jumlah aturan fuzzy: 9.



**Gambar 4.2** Aturan Fuzzy

Pada gambar 4.2 menjelaskan bahwa aturan fuzzy yang dihasilkan pada ANFIS berjumlah 9 aturan, dimana diantara 9 aturan tersebut pada aturan ke 5 yang sesuai, sehingga menghasilkan error yang sangat kecil antara hasil proyeksi dengan data yang sebenarnya.

Dan langkah selanjutnya untuk memproses error data pertumbuhan jumlah penduduk dan data pertumbuhan energi baru terbarukan di Indonesia yang akan ditunjukkan pada gambar 4.3.



**Gambar 4.3.** Error Data yang Dihasilkan oleh ANFIS

Gambar 4.3 diatas merupakan hasil dari error proyeksi pertumbuhan di anfis dengan error sebesar 0,00025018 % dari data sebenarnya yang dihasilkan atau tercantum pada RUPTL PT. PLN (Persero) yang dikeluarkan oleh ESDM. Sehingga, hasil proyeksi pertumbuhan energi baru dan terbarukan selama 15 tahun kedepan dapat dilihat pada Tabel 4.5.

**Tabel 4.8.** Hasil Proyeksi Pertumbuhan Energi Baru Terbarukan Panas Bumi Indonesia Tahun 2020-2035

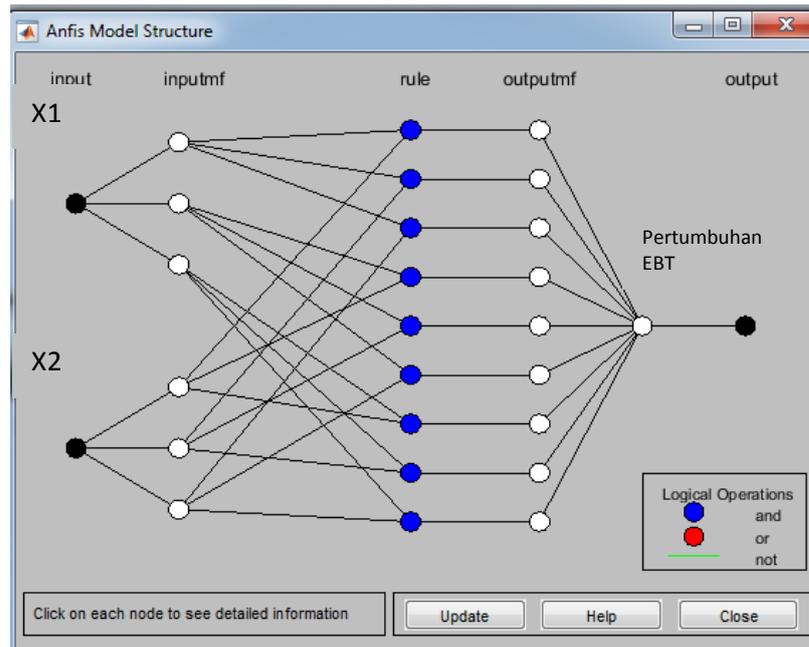
<b>Tahun</b>	<b>Hasil Proyeksi (MW)</b>	<b>Pertumbuhan (%)</b>
2020	150,99	20,53
2021	135,99	9,93
2022	107,99	20,58
2023	189,99	75,93
2024	140,99	25,79
2025	869,99	517,05
2026	289,99	66,66
2027	122,99	57,58
2028	449,99	265,87
2029	239,99	46,66
2030	807,99	236,67
2031	244,1	69,78
2032	219,86	9,93
2033	264,99	20,53
2034	256,5	3,20
2035	260,8	1,67

## 2. Menurut Pertumbuhan Ekonomi (PNB) HK 2010

**Tabel 4.9.** Data Jumlah PNB Dan Pertumbuhan EBT di Indonesia

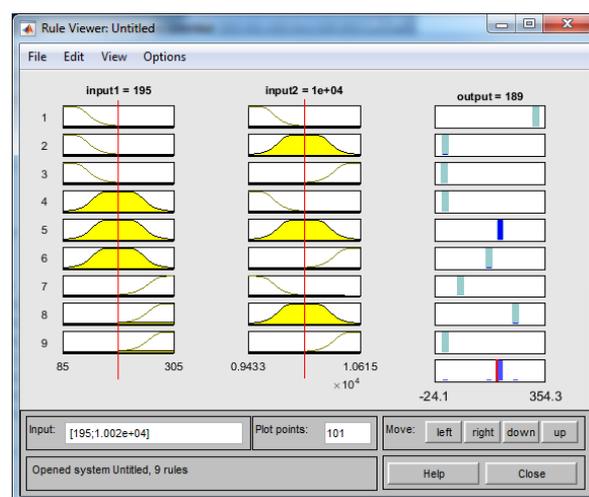
<b>Tahun</b>	<b>Pertumbuhan EBT (MW) (<math>X_1</math>)</b>	<b>PNB HK 2010 (Triliun Rupiah) (<math>X_2</math>)</b>
2016	85	9433,0
2017	305	9813,3
2018	210	10211,5
2019	190	10615,1
2020	151	11010,1

Dari Tabel 4.9 bahwa, pertumbuhan energi baru dan terbarukan di Indonesia meningkat sejalan dengan pertumbuhan ekonomi (PNB) HK 2010 Indonesia yang setiap tahunnya terus mengalami peningkatan. Kemudian, data akan di proses untuk dapat mengetahui proyeksi pertumbuhan energi baru dan terbarukan pada tahun 2035 serta mempunyai struktur anfis yang dapat dilihat pada gambar 4.4.



**Gambar. 4.4.** Struktur ANFIS

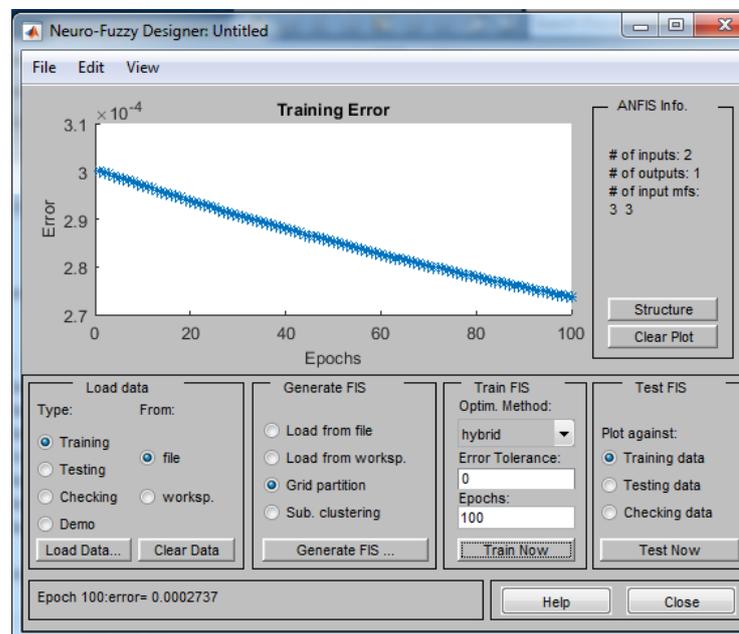
Pada struktur anfis yang ditunjukkan oleh gambar 4.4 menjelaskan bahwa Pelatihan/Pengujian ANFIS selesai pada iterasi ke 2, jumlah node: 35, jumlah parameter linier: 9 dengan jumlah parameter nonlinier: 18, jumlah total parameter: 27, jumlah pasangan data pelatihan: 4, jumlah pasangan data pengecekan: 0 dan menghasilkan jumlah aturan fuzzy: 9. Aturan fuzzy yang dihasilkan oleh ANFIS dapat dilihat pada gambar 4.5.



**Gambar 4.5** Aturan Fuzzy

Pada gambar 4.5 menjelaskan bahwa aturan fuzzy yang dihasilkan pada ANFIS berjumlah 9 aturan, dimana diantara 9 aturan tersebut pada aturan ke 5 yang sesuai, sehingga menghasilkan error yang sangat kecil antara hasil proyeksi dengan data yang sebenarnya.

Dan langkah selanjutnya untuk memproses error data pertumbuhan jumlah penduduk dan data pertumbuhan energi baru terbarukan di Indonesia yang akan ditunjukkan pada gambar 4.6.



**Gambar 4.6.** Error Data yang Dihasilkan oleh ANFIS

Gambar 4.6 diatas merupakan hasil dari error proyeksi pertumbuhan di anfis dengan error sebesar 0,0002737 % dari data sebenarnya yang dihasilkan atau tercantum pada RUPTL PT. PLN (Persero) yang dikeluarkan oleh ESDM. Sehingga, hasil proyeksi pertumbuhan energi baru dan terbarukan selama 15 tahun kedepan dapat terlihat pada Tabel 4.10.

**Tabel 4.10.** Hasil Proyeksi Pertumbuhan Energi Baru Terbarukan Panas Bumi di Indonesia Tahun 2020-2035

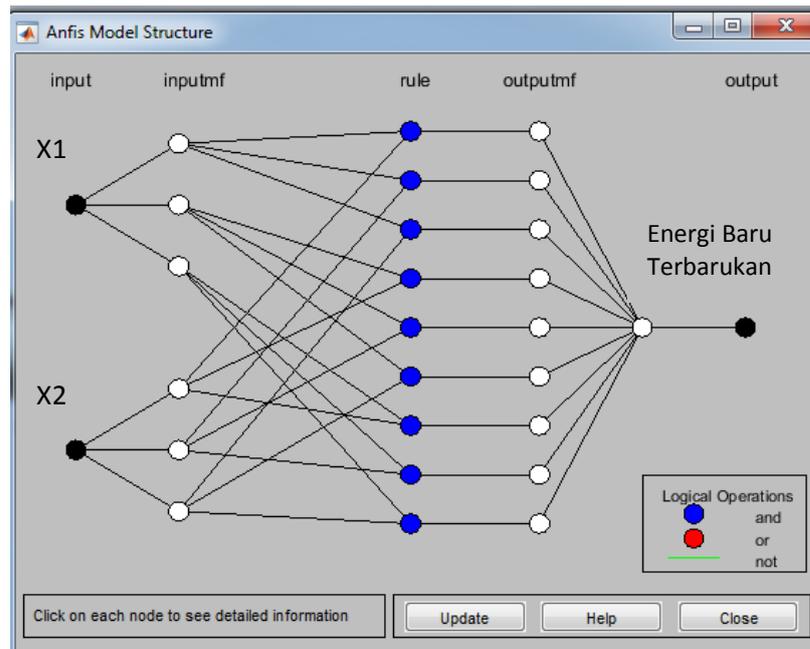
Tahun	Hasil Proyeksi (MW)	Pertumbuhan (%)
2020	150,99	20,53
2021	135,99	9,93
2022	107,99	20,58
2023	189,99	75,93
2024	140,99	25,79
2025	869,99	517,05
2026	289,99	66,66
2027	122,99	57,58
2028	449,99	265,87
2029	239,99	46,66
2030	807,99	236,67
2031	244,1	69,78
2032	219,86	9,93
2033	264,99	20,53
2034	256,5	3,20
2035	260,8	1,67

### 3. Menurut Pemakaian Bahan Bakar Fossil

**Tabel 4.11.** Data Jumlah Pemakaian Bahan Bakar Fossil Dan Pertumbuhan Energi Baru Terbarukan

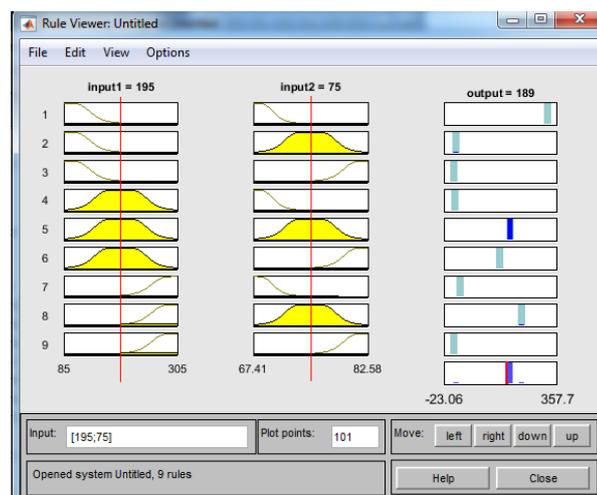
Tahun	Energi Baru Terbarukan (MW) ( $X_1$ )	Pemakaian Bahan Bakar Fossil (Juta TOE) ( $X_2$ )
2016	85	67,41
2017	305	72,13
2018	210	77,18
2019	190	82,58
2020	151	88,36

Dari Tabel 4.11 bahwa pertumbuhan energi baru terbarukan di Indonesia setiap tahunnya meningkat signifikan dengan pemakaian bahan bakar fossil. Setelah mengetahui data pertumbuhan energi baru dan terbarukan di Indonesia dan pemakaian bahan bakar fossil, maka di proses untuk mengetahui pertumbuhan energi baru terbarukan di Indonesia pada tahun 2035 dan mempunyai struktur anfis yang dapat dilihat pada Gambar 4.7.



**Gambar. 4.7.** Struktur ANFIS

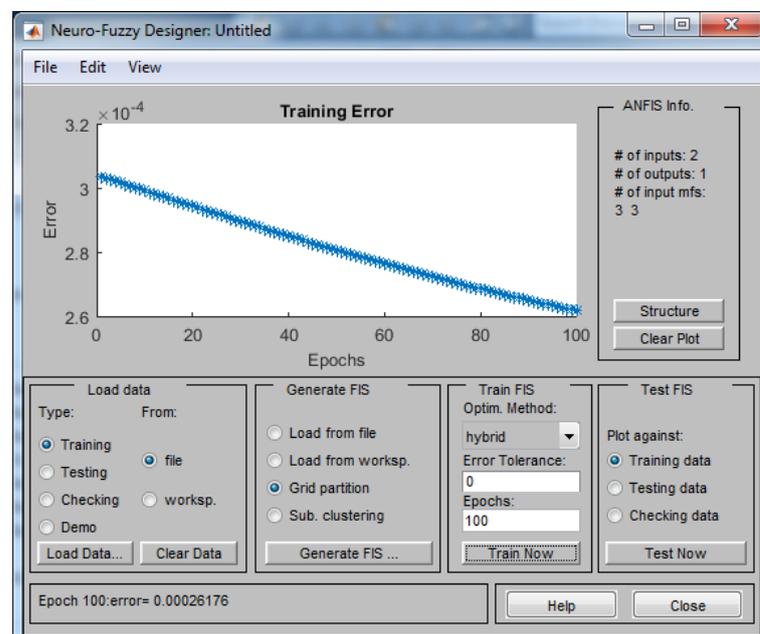
Pada struktur anfis yang ditunjukkan oleh gambar 4.7 menjelaskan bahwa Pelatihan/Pengujian ANFIS selesai pada iterasi ke 2, jumlah node: 35, jumlah parameter linier: 9 dengan jumlah parameter nonlinier: 18, jumlah total parameter: 27, jumlah pasangan data pelatihan: 4, jumlah pasangan data pengecekan: 0 dan menghasilkan jumlah aturan fuzzy: 9. Aturan fuzzy yang dihasilkan oleh ANFIS dapat dilihat pada gambar 4.8.



**Gambar 4.8** Aturan Fuzzy

Pada gambar 4.8 menjelaskan bahwa aturan fuzzy yang dihasilkan pada ANFIS berjumlah 9 aturan, dimana diantara 9 aturan tersebut pada aturan ke 5 yang sesuai, sehingga menghasilkan error yang sangat kecil antara hasil proyeksi dengan data yang sebenarnya.

Dan langkah selanjutnya untuk memproses error data pertumbuhan jumlah penduduk dan data pertumbuhan energi baru terbarukan di Indonesia yang akan ditunjukkan pada gambar 4.9.



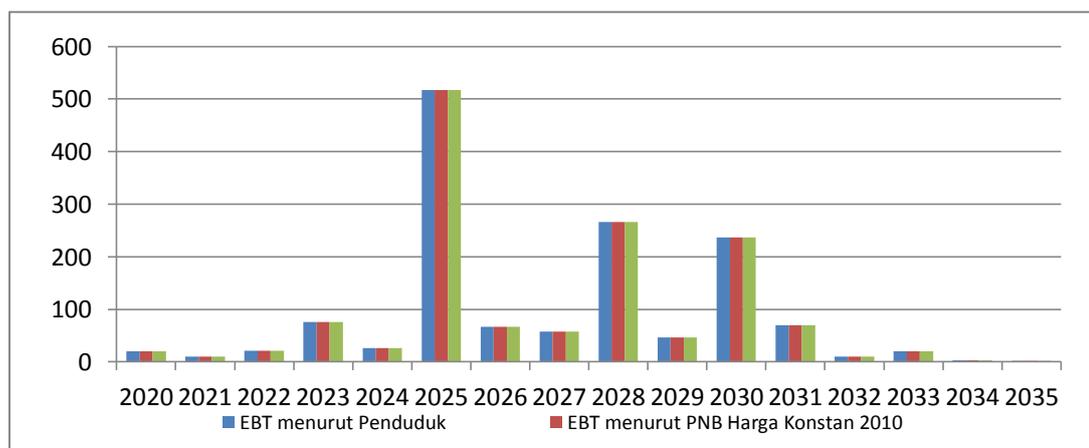
**Gambar 4.9.** Error Data yang Dihasilkan oleh ANFIS

Gambar 4.9 diatas merupakan hasil dari error proyeksi pertumbuhan di anfis dengan error sebesar 0,00026176 % dari data sebenarnya yang dihasilkan atau tercantum pada RUPTL PT. PLN (Persero) yang dikeluarkan oleh ESDM. Sehingga, hasil proyeksi pertumbuhan energi baru terbarukan panas bumi selama 15 tahun kedepan dapat terlihat pada Tabel 4.12.

**Tabel 4.12.** Hasil Proyeksi Pertumbuhan Energi Baru Terbarukan Panas Bumi di Indonesia Tahun 2020-2035

Tahun	Hasil Proyeksi (MW)	Pertumbuhan (%)
2020	150,99	20,53
2021	135,99	9,93
2022	107,99	20,58
2023	189,99	75,93
2024	140,99	25,79
2025	869,99	517,05
2026	289,99	66,66
2027	122,99	57,58
2028	449,99	265,87
2029	239,99	46,66
2030	807,99	236,67
2031	244,1	69,78
2032	219,86	9,93
2033	264,99	20,53
2034	256,5	3,20
2035	260,8	1,67

Setelah didapatkan hasil proyeksi pertumbuhan energi baru terbarukan di Indonesia dengan menggunakan tiga faktor yang mempengaruhi pertumbuhan energi baru dan terbarukan di Indonesia pada tahun 2035, maka sebagai perbandingannya akan disajikan dalam gambar 4.10:



**Gambar 4.10** Grafik Perbandingan Proyeksi Pertumbuhan (%) Energi Baru Terbarukan Panas Bumi Terhadap Tiga Pengaruh Faktor di Indonesia Tahun 2020-2035

Berdasarkan dari Gambar 4.10 diatas bahwa pertumbuhan energi baru terbarukan di Indonesia setiap tahunnya mengalami peningkatan yang cukup signifikan serta fluktuatif dan pertumbuhan rata-rata energi baru terbarukan panas bumi dapat dilihat pada Tabel 4.13.

**Tabel 4.13.** Rata Rata Pertumbuhan Energi Baru dan Terbarukan di Indonesia Tahun 2020-2035

Tahun	Proyeksi Pertumbuhan Energi Baru Terbarukan di Indonesia (%)			Rata-Rata Proyeksi Pertumbuhan Energi Baru Terbarukan di Indonesia (%)
2020	20,53	20,53	20,53	20,53
2021	9,93	9,93	9,93	9,93
2022	20,58	20,58	20,58	20,58
2023	75,93	75,93	75,93	75,93
2024	25,79	25,79	25,79	25,79
2025	517,05	517,05	517,05	517,05
2026	66,66	66,66	66,66	66,66
2027	57,58	57,58	57,58	57,58
2028	265,87	265,87	265,87	265,87
2029	46,66	46,66	46,66	46,66
2030	236,67	236,67	236,67	236,67
2031	69,78	69,78	69,78	69,78
2032	9,93	9,93	9,93	9,93
2033	20,53	20,53	20,53	20,53
2034	3,20	3,20	3,20	3,20
2035	1,67	1,67	1,67	1,67

Dari Tabel 4.13 diatas bahwa rata-rata proyeksi pertumbuhan energi baru dan terbarukan panas bumi di Indonesia menggunakan ANFIS memiliki hasil kesalahan (error) yang sangat kecil dari data sebenarnya yang tercantum pada RUPTL PT. PLN (Persero) yang dikeluarkan oleh ESDM.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

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

1. Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan energi baru terbarukan di Indonesia adalah :

##### 1.1. Jumlah Penduduk

Jumlah penduduk di Indonesia mengalami pertumbuhan sebesar 1,31 % pada tahun 2035 atau sebesar 327,725,390 jiwa dan memiliki tingkat error (MAPE) sebesar 0,00019 %.

##### 1.2. Pertumbuhan Ekonomi

Pertumbuhan ekonomi (PNB) di Indonesia mengalami pertumbuhan 3,58 % pada tahun 2035 atau sebesar 17135,3 Triliun dan memiliki tingkat error (MAPE) sebesar 0,0028 %.

##### 1.3. Pemakaian Bahan Bakar Fossil

Pemakaian bahan bakar fossil di Indonesia mengalami pertumbuhan sebesar 7,00 % pada tahun 2035 atau sebesar 243,79 juta TOE dan memiliki tingkat error (MAPE) sebesar 0,0043 %.

2. Faktor pertumbuhan jumlah penduduk, pertumbuhan ekonomi, dan pemakaian bahan bakar fossil sangat mempengaruhi dari pertumbuhan energi baru terbarukan Panas Bumi di Indonesia. Adapun proyeksi pertumbuhan energi baru terbarukan Panas Bumi di Indonesia yaitu :

- 2.1. Menurut data pertumbuhan jumlah penduduk bahwa proyeksi energi baru dan terbarukan panas bumi di Indonesia dengan menggunakan metode ANFIS mengalami peningkatan yang fluktuatif setiap tahunnya. Peningkatan pertumbuhan energi baru terbarukan panas bumi di Indonesia yang paling besar terjadi pada tahun 2025 yaitu sebesar 517,05 % atau dalam bentuk energi sebesar 869,99 MW. Sedangkan, pertumbuhan energi baru terbarukan panas bumi di Indonesia pada tahun 2035 hanya sebesar 1,67 %.
- 2.2. Menurut data pertumbuhan ekonomi PNB HK 2010 bahwa proyeksi pertumbuhan energi baru terbarukan panas bumi di Indonesia dengan menggunakan metode ANFIS mengalami peningkatan yang fluktuatif setiap tahunnya. Peningkatan pertumbuhan energi baru terbarukan panas bumi di Indonesia yang paling besar terjadi pada tahun 2025 yaitu sebesar 517,05 % atau dalam bentuk energi sebesar 869,99 MW. Sedangkan pertumbuhan energi baru terbarukan panas bumi di Indonesia pada tahun 2035 hanya sebesar 1,67 %.
- 2.3. Menurut data pemakaian bahan bakar fosil bahwa proyeksi pertumbuhan energi baru terbarukan panas bumi di Indonesia dengan menggunakan metode ANFIS mengalami peningkatan yang fluktuatif setiap tahunnya. Peningkatan pertumbuhan energi baru terbarukan panas bumi di Indonesia yang paling besar terjadi pada tahun 2025 yaitu sebesar 517,05 % atau dalam bentuk energi sebesar 869,99 MW. Sedangkan, pertumbuhan energi baru terbarukan panas bumi di Indonesia pada tahun 2035 hanya sebesar 1,67 %.

2.4. Rata-rata proyeksi pertumbuhan energi baru terbarukan panas bumi di Indonesia dengan menggunakan metode ANFIS mengalami peningkatan yang fluktuatif setiap tahunnya. Peningkatan pertumbuhan energi baru terbarukan panas bumi di Indonesia yang paling besar terjadi pada tahun 2025 yaitu sebesar 517,05 % atau dalam bentuk energi sebesar 869,99 MW. Sedangkan, pertumbuhan energi baru terbarukan panas bumi di Indonesia pada tahun 2035 hanya sebesar 1,67 %.

## **5.2 Saran**

1. Untuk perbaikan tesis ini, sangat baik dapat dikembangkan lebih banyak lagi wawasan mengenai perbandingan hasil dengan teknik yang berbeda.
2. Untuk perbaikan tesis ini, dalam memproyeksi energi baru terbarukan sebaiknya membahas spesifikasi yang lain seperti air, angin, surya ataupun yang lainnya yang ada di Indonesia.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Hasibuan and W. V. Siregar, “Prakiraan Kebutuhan Energi Listrik Kota Subulussalam Sampai Tahun 2020 Menggunakan Metode Analisis Regresi,” *R E L E (Rekayasa Elektr. dan Energi) J. Tek. Elektro*, vol. 1, pp. 0–4, 2019.
- [2] P. Agung, D. Hartono, and A. A. Awirya, “Pengaruh Urbanisasi Terhadap Konsumsi Energi Dan Emisi CO2: Analisis Provinsi di Indonesia,” *J. Ekon. Kuantitatif Terap.*, pp. 9–18, 2018, doi: 10.24843/jekt.2017.v10.i01.p02.
- [3] N. Aryanto, A. Jaya, and C. Hudaya, “Pemodelan Energi Baru Terbarukan (Ebt) Melalui Pendekatan Dinamis Untuk Ketahanan Energi Kabupaten Sumbawa 2017-2027,” *J. TAMBORA*, vol. 4, no. 2A, pp. 122–132, 2020, doi: 10.36761/jt.v4i2a.783.
- [4] R. Finata, “Prakiraan Konsumsi Energi Listrik Di Sumatera Utara Pada Tahun 2025 Menggunakan Metode Regresi Dalam Aplikasi Simple E,” *Tugas Akhir UMSU*, 2015.
- [5] Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, “Indonesia Energy Outlook 2019,” *Outlook Energi Indones.*, 2019.
- [6] P. P. Manoj and A. Pravinchandra Shah, “Fuzzy Logic Methodology for Short Term Load Forecasting,” *Int. J. Res. Eng. Technol.*, vol. 03, no. 04, pp. 322–328, 2015, doi: 10.15623/ijret.2014.0304058.
- [7] G. Zahedi, S. Azizi, A. Bahadori, A. Elkamel, and S. R. Wan Alwi, “Electricity demand estimation using an adaptive neuro-fuzzy network: A case study from the Ontario province - Canada,” *Energy Sci. Direct*, vol.

- 49, no. 1, pp. 323–328, 2013, doi: 10.1016/j.energy.2012.10.019.
- [8] I. Haimi, “Peramalan Beban Listrik Jangka Pendek Dengan Menggunakan Metode ANFIS,” *UINSUSKA*, 2010.
- [9] P. Ganguly, A. Kalam, and A. Zayegh, “Short Term Load Forecasting Using Fuzzy Logic,” *ICRES*, no. October, pp. 129–133, 2017.
- [10] N. Nurkholiq, T. Sukmadi, and A. Nugroho, “Analisis Perbandingan Metode Logika Fuzzy Dengan Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation Pada Peramalan Kebutuhan Energi Listrik Jangka Panjang Di Indonesia Sampai Tahun 2022,” *TRANSIENT*, vol. 3, 2014.
- [11] R. Hidayatullah, N. Rubiati, R. Kurniawan, and K. J. Sekolah Tinggi Manajemen Informatika dan Komputer Dumai Utama Karya Bukit Batrem Kec Dumai Timur Kode, “I N F O R M a T I K a Implementasi Fuzzy Logic Penentuan Kelayakan Karyawan Mendapat Reward Ditoko Roti Menggunakan Metode Tsukamoto,” *J. Inform. Manaj. dan Komput.*, vol. 10, no. 2, pp. 56–65, 2017.
- [12] D. Pordawan, J. T. Mesin, and F. Teknik, “Jurnal Sustainable : Jurnal Hasil Penelitian dan Industri Terapan ANALISA PENURUNAN KEMAMPUAN SISTEM HIDROLIK,” vol. 10, no. 01, pp. 24–31, 2021.
- [13] H. T. Nguyen and I. T. Nabney, “Short-term electricity demand and gas price forecasts using wavelet transforms and adaptive models,” *Energy Sci. Direct*, vol. 35, no. 9, pp. 3674–3685, 2010, doi: 10.1016/j.energy.2010.05.013.
- [14] U. Hani’ah, R. Arifudin, and E. Sugiharti, “Implementasi Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (Anfis) untuk Peramalan Pemakaian Air di

- Perusahaan Daerah Air Minum Tirta Moedal Semarang,” *Sci. J. Informatics*, vol. 3, no. 1, pp. 76–87, 2016, doi: 10.15294/sji.v3i1.6516.
- [15] M. Pinem, “Analisis Pertumbuhan Dan Persebaran Penduduk Provinsi Sumatera Utara Berdasarkan Hasil Sensus Penduduk Tahun 2010,” *J. Pendidik. Ilmu-Ilmu Sos.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–7, 2014.
- [16] M. Urrahmi, N. E. Putri, P. Pada, P. Kota, and P. Tahun, “Implementasi Pengembangan Energi Baru Terbarukan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh) Oleh Dinas Energi Dan Sumber Daya Mineral Provinsi Sumatera Barat Di Solok Selatan,” vol. 2, no. 2, pp. 9–17, 2020.
- [17] F. Adzikri, D. Notosudjono, and D. Suhendi, “Strategi Pengembangan Energi Terbarukan di Indonesia,” *J. Online Mhs. Bid. Tek. Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 1–13, 2017, [Online]. Available: <http://jom.unpak.ac.id/index.php/teknikelektro/article/view/667>.
- [18] P. Romhadhoni, D. Z. Faizah, and N. Afifah, “Pengaruh Produk Domestik Regional Bruto (PDRB) Daerah terhadap Pertumbuhan Ekonomi dan Tingkat Pengangguran Terbuka di Provinsi DKI Jakarta,” *J. Mat. Integr.*, vol. 14, no. 2, p. 113, 2019, doi: 10.24198/jmi.v14.n2.19262.113-120.
- [19] A. M. Ginting and G. P. Dewi, “Pengaruh Pertumbuhan Ekonomi dan Pertumbuhan Sektor Keuangan Terhadap Pengurangan Kemiskinan Di Indonesia,” *J. Ekon. dan Kebijak. Publik*, vol. 4, no. 2, pp. 117–130, 2013, [Online]. Available: [jurnal.dpr.go.id/index.php/ekp/article/view/167/112](http://jurnal.dpr.go.id/index.php/ekp/article/view/167/112).
- [20] L. K. Widyaprawati, I. P. A. Mertasana, and I. G. D. Arjana, “Peramalan Beban Listrik Jangka Pendek Di Bali Menggunakan,” *Teknol. Elektro*, vol. 11, no. 1, 2012.

- [21] L. Wihastuti, "PERTUMBUHAN EKONOMI INDONESIA: Determinan dan Prospeknya," *J. Ekon. Stud. Pembang.*, vol. 9, no. 1, p. 30660, 2008.
- [22] Y. T. Nugraha, K. Ghabriel, and I. F. Dharmawan, "Implementasi ANFIS Dalam Prakiraan Konsumsi Energi Listrik Di Kota Medan Pada Tahun 2030," 2021.
- [23] M. Azhar and D. A. Satriawan, "Implementasi Kebijakan Energi Baru dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional," *Adm. Law Gov. J.*, vol. 1, no. 4, pp. 398–412, 2018, doi: 10.14710/alj.v1i4.398-412.
- [24] Y. Tri Nugraha, M. F. Zambak, and A. Hasibuan, "Perkiraan Konsumsi Energi Listrik Di Aceh Pada Tahun 2028 Menggunakan Metode Adaptive Neuro Fuzzy Inference System," *CESS (Journal Comput. Eng. Syst. Sci.)*, vol. 5, no. 1, pp. 104–108, 2020, doi: 10.24114/cess.v5i1.15624.
- [25] A. Azadeh, M. Saberi, V. Nadimi, M. Iman, and A. Behrooznia, "An Integrated Intelligent Neuro-Fuzzy Algorithm for Long-Term Electricity Consumption: Cases of Selected EU Countries," *Acta Polytech. Hungarica*, vol. 7, no. 4, pp. 71–90, 2010.

LAMPIRAN PROYEKSI PENDUDUK INDONESIA 2015 - 2017

Provinsi	Jumlah Penduduk Hasil Proyeksi Menurut Provinsi dan Jenis Kelamin (Ribu Jiwa)								
	Laki-Laki			Perempuan			Jumlah		
	2015	2016	2017	2015	2016	2017	2015	2016	2017
ACEH	2508.0	2545.8	2583.1	2510.7	2548.7	2586.4	5018.7	5094.5	5169.4
SUMATERA UTARA	6968.3	7057.3	7144.4	6993.1	7079.4	7163.9	13961.4	14136.8	14308.4
SUMATERA BARAT	2585.3	2621.7	2657.5	2615.7	2650.8	2685.3	5200.9	5272.5	5342.8
RIAU	3264.5	3323.8	3382.3	3092.2	3154.6	3216.4	6356.7	6478.4	6598.7
JAMBI	1736.9	1756.9	1776.3	1667.0	1689.1	1710.7	3403.9	3445.9	3487.0
SUMATERA SELATAN	4098.0	4151.9	4205.0	3964.8	4022.2	4078.7	8062.7	8174.1	8283.8
BENGKULU	958.9	970.7	982.3	917.1	930.0	942.6	1875.9	1900.7	1924.9
LAMPUNG	4168.5	4210.2	4250.7	3954.5	4000.1	4044.6	8123.0	8210.3	8295.3
KEP. BANGKA BELITUNG	713.2	722.3	731.2	660.1	670.9	681.6	1373.3	1393.1	1412.7
KEP. RIAU	1013.9	1045.6	1078.0	968.9	999.8	1031.4	1982.8	2045.3	2109.4
DKI JAKARTA	5116.3	5150.1	5182.2	5062.7	5115.2	5166.2	10179.0	10265.3	10348.3
JAWA BARAT	23754.2	24030.4	24304.7	23051.0	23335.4	23618.1	46805.2	47365.8	47922.8
JAWA TENGAH	16733.7	16842.5	16947.4	16995.2	17104.0	17209.0	33728.9	33946.4	34156.4
DI YOGYAKARTA	1815.8	1839.5	1863.4	1853.4	1879.0	1904.9	3669.2	3718.5	3768.2
JAWA TIMUR	19146.5	19273.6	19394.8	19637.7	19767.9	19892.6	38784.3	39041.4	39287.3
BANTEN	6106.5	6199.1	6290.7	5861.0	5958.1	6054.4	11967.6	12157.2	12345.0
BALI	2089.6	2116.4	2142.9	2058.8	2086.1	2113.1	4148.4	4202.4	4256.0
NUSA TENGGARA BARAT	2352.3	2395.6	2438.4	2494.4	2529.2	2563.3	4846.7	4924.8	5001.8
NUSA TENGGARA TIMUR	2539.3	2578.3	2617.0	2586.8	2626.4	2665.7	5126.1	5204.7	5282.8
KALIMANTAN BARAT	2444.1	2474.9	2505.1	2351.4	2385.0	2418.0	4795.5	4859.9	4923.1
KALIMANTAN TENGAH	1302.7	1321.8	1340.6	1194.7	1214.5	1234.1	2497.3	2536.3	2574.8
KALIMANTAN SELATAN	2021.4	2050.2	2078.2	1969.3	1999.3	2028.6	3990.7	4049.5	4106.8
KALIMANTAN TIMUR	1795.8	1818.2	1840.1	1635.5	1661.4	1687.0	3431.3	3479.6	3527.1
KALIMANTAN UTARA	343.3	349.5	355.6	301.2	307.8	314.4	644.5	657.3	670.0
SULAWESI UTARA	1230.5	1241.3	1251.6	1179.3	1190.9	1202.2	2409.7	2432.2	2453.7
SULAWESI TENGAH	1470.4	1489.9	1509.2	1407.6	1429.9	1451.9	2878.0	2919.8	2961.1
SULAWESI SELATAN	4161.8	4201.3	4239.7	4359.0	4397.3	4434.7	8520.8	8598.6	8674.4
SULAWESI TENGGARA	1256.4	1275.9	1295.3	1246.3	1267.2	1288.2	2502.7	2543.1	2583.4
GORONTALO	568.0	573.5	578.7	565.6	571.3	576.9	1133.6	1144.8	1155.6
SULAWESI BARAT	644.3	654.1	663.7	637.4	647.3	657.1	1281.7	1301.4	1320.9
MALUKU	853.5	863.2	872.8	836.9	847.2	857.3	1690.3	1710.4	1730.2
MALUKU UTARA	596.3	604.7	613.0	570.8	579.8	588.7	1167.1	1184.5	1201.7
PAPUA BARAT	461.0	472.2	483.5	415.0	425.4	435.9	876.0	897.6	919.4
PAPUA	1664.4	1688.1	1711.3	1489.4	1515.4	1541.0	3153.8	3203.4	3252.2
INDONESIA	128483.4	129910.2	131310.6	127104.5	128586.3	130044.9	255587.9	258496.5	261355.5

Sumber : Proyeksi Penduduk Indonesia 2015 - 2045 Hasil SUPAS 2015

Catatan:

- Hasil Proyeksi Penduduk Indonesia 2015–2045 (Pertengahan tahun/Juni)

- Proyeksi dibuat dengan metode kohor komponen berdasarkan asumsi kecenderungan fertilitas, mortalitas, serta migrasi (migrasi internasional dan migrasi risen antar provinsi) yang paling mungkin terjadi selama periode 30 tahun yang akan datang.

Source Url: <https://www.bps.go.id/indicator/12/1886/1/jumlah-penduduk-hasil-proyeksi-menurut-provinsi-dan-jenis-kelamin.html>

Access Time: November 4, 2021, 7:06 am

**LAMPIRAN PROYEKSI PENDUDUK INDONESIA 2018 - 2020**

Provinsi	Jumlah Penduduk Hasil Proyeksi Menurut Provinsi dan Jenis Kelamin (Ribu Jiwa)								
	Laki-Laki			Perempuan			Jumlah		
	2018	2019	2020	2018	2019	2020	2018	2019	2020
ACEH	2619.9	2656.1	2691.8	2623.5	2660.2	2696.3	5243.4	5316.3	5388.1
SUMATERA UTARA	7229.4	7312.2	7392.7	7246.5	7327.2	7405.7	14476.0	14639.4	14798.4
SUMATERA BARAT	2692.6	2727.0	2760.6	2719.3	2752.5	2785.1	5411.8	5479.5	5545.7
RIAU	3440.0	3497.0	3553.2	3277.6	3338.1	3398.0	6717.6	6835.1	6951.2
JAMBI	1795.2	1813.5	1831.3	1731.9	1752.7	1772.9	3527.1	3566.2	3604.2
SUMATERA SELATAN	4257.1	4308.1	4358.0	4134.4	4189.1	4242.8	8391.5	8497.2	8600.8
BENGKULU	993.6	1004.5	1015.2	955.0	967.2	979.1	1948.6	1971.8	1994.3
LAMPUNG	4289.9	4327.8	4364.3	4087.8	4129.8	4170.6	8377.7	8457.6	8534.8
KEP. BANGKA BELITUNG	739.9	748.5	756.9	692.1	702.6	712.9	1432.1	1451.1	1469.8
KEP. RIAU	1111.0	1144.7	1179.0	1063.8	1096.9	1130.5	2174.8	2241.6	2309.5
DKI JAKARTA	5212.6	5241.1	5267.8	5215.4	5262.9	5308.6	10428.0	10504.1	10576.4
JAWA BARAT	24576.5	24845.4	25111.2	23899.0	24177.7	24454.0	48475.5	49023.2	49565.2
JAWA TENGAH	17048.2	17144.9	17237.3	17310.2	17407.6	17500.9	34358.5	34552.5	34738.2
DI YOGYAKARTA	1887.3	1911.3	1935.4	1931.0	1957.3	1983.8	3818.3	3868.6	3919.2
JAWA TIMUR	19510.0	19619.2	19722.2	20011.9	20125.6	20233.7	39521.9	39744.8	39955.9
BANTEN	6381.1	6470.2	6557.9	6149.7	6244.1	6337.4	12530.8	12714.3	12895.3
BALI	2169.3	2195.4	2221.4	2139.9	2166.6	2193.1	4309.2	4362.0	4414.4
NUSA TENGGARA BARAT	2480.8	2522.6	2563.9	2596.9	2629.8	2662.0	5077.7	5152.4	5225.9
NUSA TENGGARA TIMUR	2655.5	2693.7	2731.6	2704.7	2743.5	2781.8	5360.3	5437.2	5513.4
KALIMANTAN BARAT	2534.6	2563.4	2591.4	2450.5	2482.3	2513.5	4985.1	5045.7	5104.9
KALIMANTAN TENGAH	1359.1	1377.2	1394.9	1253.5	1272.6	1291.4	2612.6	2649.8	2686.3
KALIMANTAN SELATAN	2105.2	2131.4	2156.7	2057.1	2084.9	2111.9	4162.4	4216.3	4268.6
KALIMANTAN TIMUR	1861.5	1882.5	1902.9	1712.3	1737.2	1761.8	3573.8	3619.7	3664.7
KALIMANTAN UTARA	361.8	368.0	374.1	321.0	327.6	334.2	682.8	695.6	708.4
SULAWESI UTARA	1261.4	1270.7	1279.6	1213.0	1223.4	1233.4	2474.4	2494.1	2512.9
SULAWESI TENGAH	1528.2	1546.8	1565.1	1473.8	1495.3	1516.6	3001.9	3042.1	3081.7
SULAWESI SELATAN	4277.1	4313.4	4348.5	4471.0	4506.2	4540.3	8748.1	8819.5	8888.8
SULAWESI TENGGARA	1314.6	1333.8	1352.9	1309.0	1329.8	1350.6	2623.6	2663.7	2703.5
GORONTALO	583.8	588.8	593.5	582.3	587.6	592.8	1166.1	1176.4	1186.3
SULAWESI BARAT	673.3	682.8	692.2	666.8	676.4	686.0	1340.1	1359.2	1378.1
MALUKU	882.2	891.4	900.4	867.3	877.1	886.7	1749.5	1768.5	1787.1
MALUKU UTARA	621.2	629.3	637.3	597.5	606.3	615.0	1218.8	1235.7	1252.3
PAPUA BARAT	494.9	506.4	518.1	446.5	457.2	468.0	941.4	963.6	986.0
PAPUA	1734.0	1756.1	1777.7	1566.2	1591.0	1615.4	3300.2	3347.1	3393.1
INDONESIA	132683.0	134025.6	135337.0	131478.7	132886.3	134266.4	264161.6	266911.9	269603.4

Sumber : Proyeksi Penduduk Indonesia 2015 - 2045 Hasil SUPAS 2015

Catatan:

- Hasil Proyeksi Penduduk Indonesia 2015–2045 (Pertengahan tahun/Juni)
- Proyeksi dibuat dengan metode kohor komponen berdasarkan asumsi kecenderungan fertilitas, mortalitas, serta migrasi (migrasi internasional dan migrasi risen antar provinsi) yang paling mungkin terjadi selama periode 30 tahun yang akan datang.

Source Url: <https://www.bps.go.id/indicator/12/1886/1/jumlah-penduduk-hasil-proyeksi-menurut-provinsi-dan-jenis-kelamin.html>

Access Time: November 4, 2021, 7:06 am

## BAB IV

# PENGEMBANGAN ENERGI BARU DAN TERBARUKAN (EBT)

### 4.1. PENGEMBANGAN ENERGI BARU DAN TERBARUKAN

Besarnya potensi energi terbarukan selain *hydro* (skala besar/PLTA) dan panas bumi dapat dilihat pada Tabel 4.1

**Tabel 4.1 Potensi Energi Baru dan Terbarukan**

No	Energi Baru dan Terbarukan	Sumber Daya
1	Panas Bumi	29.164 Mwe
2	Hydro	75.000 Mwe
3	Biomassa	49.810 Mwe
4	Tenaga Surya	4,80 kWh/m <sup>2</sup> /hari
5	Tenaga Angin	3-6 m/s
6	Kelautan	49 Gwe

Sumber: *Indonesia Energy Outlook 2013 (PUSDATIN KESDM)*

Roadmap pengembangan energi baru dan terbarukan (EBT) seperti terlihat pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2 Rencana Pengembangan Pembangkit EBT (MW)**

No	Pembangkit - EBT	Kapasitas	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	Jumlah
1	PLTP	MW	85	350	320	590	580	450	340	935	1,250	1,250	6,150
2	PLTA	MW	45	57	175	1,405	147	330	639	2,322	2,031	5,950	13,100
3	PLTMH	MW	32	78	115	292	81	86	196	26	257	201	1,365
4	PLT Surya	MWp	26	122	70	50	118	11	10	17	10	10	444
5	PLT Bayu	MW	-	70	190	165	195	10	-	5	-	5	640
6	PLT Biomass/Sampah	MW	125	142	135	11	21	11	-	21	15	6	488
7	PLT Kelautan	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	PLT Bio-Fuel	Ribu Kilo Liter	812	594	365	261	230	170	173	179	189	191	3,165
<b>Jumlah</b>		<b>MW</b>	<b>312</b>	<b>819</b>	<b>1,005</b>	<b>2,513</b>	<b>1,142</b>	<b>898</b>	<b>1,185</b>	<b>3,326</b>	<b>3,563</b>	<b>7,422</b>	<b>22,186</b>

\*) Asumsi pemakaian biofuel hanya untuk PLTD

### 4.2. PANAS BUMI

Terdapat beberapa laporan studi mengenai resource dan reserve tenaga panas bumi di Indonesia yang menyajikan angka-angka yang berbeda. Salah satunya adalah laporan studi oleh WestJEC pada tahun 2007 *Master Plan Study for Geothermal Power Development in the Republic of Indonesia*. Menurut laporan tersebut, potensi panas bumi Indonesia yang dapat dieksploitasi adalah 9.000 MW, tersebar di 50 lapangan, dengan potensi minimal 12.000 MW. Sebuah

**Tabel 3.2 Rencana Pengembangan Pembangkit EBT (MW)**

No	Pembangkit - EBT	Kapasitas	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	Jumlah
1	PLTP	MW	305	165	315	186	365	790	343	1.015	2.510	294	6.290
2	PLTA	MW	18	87	323	154	1.800	1.701	2.035	1.697	3.675	1.000	12.488
3	PLTMH	MW	68	112	168	198	358	326	178	30	144	81	1.694
4	PLT Surya	MWp	55	12	20	-	-	-	-	-	-	-	87
5	PLT Bayu	MW	-	-	235	170	60	-	-	-	-	-	465
6	PLT Biomass/Sampah	MW	186	78	225	10	11	6	10	10	-	-	536
7	PLT Kelautan	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	PLT Bio-Fuel	Ribu Kilo Liter	780	1.129	809	661	563	519	519	525	531	536	6.372
	<b>Jumlah</b>	<b>MW</b>	<b>632</b>	<b>454</b>	<b>1.286</b>	<b>718</b>	<b>2.624</b>	<b>2.822</b>	<b>2.567</b>	<b>2.752</b>	<b>6.329</b>	<b>1.375</b>	<b>21.560</b>

\*) Asumsi pemakaian biofuel hanya untuk PLTD

### 3.3 PANAS BUMI

Terdapat beberapa laporan studi mengenai *resource* dan *reserve* tenaga panas bumi di Indonesia yang menyajikan angka-angka yang berbeda. Salah satunya adalah laporan studi oleh WestJEC pada tahun 2007 *Master Plan Study for Geothermal Power Development in the Republic of Indonesia*. Menurut laporan tersebut, potensi panas bumi Indonesia yang dapat dieksploitasi adalah 9.000 MW, tersebar di 50 lapangan, dengan potensi minimal 12.000 MW. Sebuah studi yang lebih baru, *Geothermal Pricing & Incentive Policy Study* oleh Castlerock pada Desember 2010 melihat ada "*inconsistencies*" antara studi-studi terdahulu (oleh Pertamina 1999, *Volcanological Survey of Indonesia 2007*, WestJEC 2007 dan WGC 2010), dan "*approaches lead to over-estimates*". Castlerock juga memberi *update* mengenai sumber daya panas bumi berdasar data eksplorasi 40 tahun dan data pengembangan (dari Pertamina, Badan Geologi, kerja lapangan oleh *geoscientist*) dan pendekatan baru berdasar *probabilistic "volume"*. Potensi Panas bumi yang dapat dieksploitasi mungkin lebih kecil daripada yang selama ini diklaim.

Berdasarkan data dari Badan Geologi, Kementerian ESDM yang dikeluarkan pada Desember 2015, total potensi energi panas bumi sebesar 29.543,5 MWe yang terdiri dari sumber daya sebesar 11.997,5 MWe dan cadangan 17.546 MWe. Sebaran potensi panas bumi per pulau ditunjukkan pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3 Sebaran Potensi Panas Bumi per Pulau**

No	Pulau	Jumlah Lokasi	Energi Potensi (Mwe)					Total	Kapasitas Terpasang
			Sumber Daya		Cadangan				
			Spekulatif	Hipotetis	Terduga	Mungkin	Terbukti		
1	Sumatera	97	3.191	2.334	6.992	15	380	12.912	287
2	Jawa	73	1.560	1.739	4.023	658	1.815	9.795	1.224
3	Bali	6	70	22	262	-	-	354	0
4	Nusa Tenggara	27	225	409	917	-	15	1.566	12,5
5	Kalimantan	14	152,5	30	-	-	-	182,5	0

Roadmap pengembangan energi baru dan terbarukan (EBT) seperti terlihat pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2 Rencana Pengembangan Pembangkit EBT (MW)**

No	Pembangkit - EBT	Kapasitas	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	Jumlah
1	PLTP	MW	210	150	221	235	405	445	355	2.537	20	5	4.583
2	PLTA	MW	66	287	193	755	315	196	635	4.461	-	564	7.472
3	PLTMH	MW	108	202	366	103	31	-	-	-	-	-	811
4	PLT Surya	MWp	5	22	214	281	-	200	-	325	-	-	1.047
5	PLT Bayu	MW	70	60	5	45	10	30	309	-	-	60	589
6	PLT Biomass/Sampah	MW	53	53	41	19	235	-	-	-	-	10	411
7	PLT Kelautan	MW	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	PLT Bio-Fuel	Ribu Kilo Liter	607	598	375	217	146	150	154	157	165	176	2.745
	<b>Jumlah</b>	<b>MW</b>	<b>512</b>	<b>774</b>	<b>1.040</b>	<b>1.438</b>	<b>996</b>	<b>871</b>	<b>1.299</b>	<b>7.323</b>	<b>20</b>	<b>639</b>	<b>14.912</b>

\*) Asumsi pemakaian biofuel hanya untuk PLTD

### 3.2.1. Panas Bumi

Terdapat beberapa laporan studi mengenai *resource* dan *reserve* tenaga panas bumi di Indonesia yang menyajikan angka-angka yang berbeda. Salah satunya adalah laporan studi oleh WestJEC pada tahun 2007 *Master Plan Study for Geothermal Power Development in the Republic of Indonesia*. Menurut laporan tersebut, potensi panas bumi Indonesia yang dapat dieksploitasi adalah 9.000 MW, tersebar di 50 lapangan, dengan potensi minimal 12.000 MW. Sebuah studi yang lebih baru, *Geothermal Pricing & Incentive Policy Study* oleh Castlerock pada Desember 2010 melihat ada “*inconsistencies*” antara studi-studi terdahulu (oleh Pertamina 1999, *Volcanological Survey of Indonesia* 2007, WestJEC 2007 dan WGC 2010), dan “*approaches lead to over-estimates*”. Castlerock juga memberi *update* mengenai sumber daya panas bumi berdasar data eksplorasi 40 tahun dan data pengembangan (dari Pertamina, Badan Geologi, kerja lapangan oleh *geoscientist*) dan pendekatan baru berdasar *probabilistic “volume”*. Potensi Panas bumi yang dapat dieksploitasi mungkin lebih kecil daripada yang selama ini diklaim.

Berdasarkan data dari *Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia* 2017 yang diterbitkan oleh Kementerian ESDM, total potensi energi panas bumi sebesar 28.579 MWe yang terdiri dari sumber daya sebesar 11.073 MWe dan cadangan 17.506 MWe. Sebaran potensi panas bumi per pulau ditunjukkan pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3 Sebaran Potensi Panas Bumi per Pulau**

No	Pulau	Energi Potensi (MWe)					Total	Kapasitas Terpasang
		Sumber Daya		Cadangan				
		Spekulatif	Hipotetis	Terduga	Mungkin	Terbukti		
1	Sumatera	2.883	1.935	5.097	930	917	11.762	287
2	Jawa	1.410	1.689	3.949	1.373	1.865	10.286	1.224
3	Bali	70	22	122	110	30	354	0
4	Nusa Tenggara	225	409	848	-	15	1.497	12,5
5	Kalimantan	152	17	13	-	-	182	0

- c. Kemampuan *Low Frequency Ride Through*, sehingga saat terjadi gangguan di sistem yang menyebabkan penurunan frekuensi, tidak menyebabkan PLTS/PLTB ikut *trip*.
- d. Kemampuan *"half" frequency control*, yaitu pada saat frekuensi sistem naik namun keluaran daya dari PLTS/PLTB turun dan saat frekuensi sistem turun namun keluaran daya dari PLTS/PLTB tidak boleh turun (tetap).

Seluruh solusi di atas harus dikoordinasikan sejak awal pengembangan pembangkit EBT dengan sifat *intermittent* sehingga dapat memenuhi aspek teknis, aspek ekonomis, serta sudah memenuhi aturan dan standar yang berlaku di PLN.

PLN berkomitmen untuk dapat memasok listrik ke pelanggan industri dengan menggunakan pembangkit energi terbarukan milik PLN maupun pembelian dari listrik swasta.

Besarnya potensi energi baru dan terbarukan dapat dilihat pada Tabel 3.1

**Tabel 3.1 Potensi Energi Baru dan Terbarukan**

No	Jenis Energi	Potensi	Kapasitas Terpasang	Pemanfaatan
1	Panas Bumi	29.544 MW	1.438,5 MW	4,9%
2	Hydro	75.091 MW	4.826,7 MW	6,4%
3	Mini-micro Hydro	19.385 MW	197,4 MW	1,0%
4	Bioenergi	32.654 MW	1.671,0 MW	5,1%
5	Surya	207.898 MW (4,80 kWh/m <sup>2</sup> /hari)	78,5 MW	0,04%
6	Angin	60.647 MW (≥ 4m/s)	3,1 MW	0,01%
7	Geombang Laut	17.989 MW	0,3 MW	0,002%

Catatan: Status Tahun 2015

Sumber: Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN)

Roadmap pengembangan energi baru dan terbarukan (EBT) seperti terlihat pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2 Rencana Pengembangan Pembangkit EBT (MW)**

No	Pembangkit - EBT	Kapasitas	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	Jumlah
1	PLTP	MW	190	151	147	455	245	415	2.759	45	145	55	4.607
2	PLTA	MW	154	326	755	-	182	1.484	3.047	129	466	1.467	8.009
3	PLTMH	MW	140	238	479	200	168	232	27	20	20	10	1.534
4	PLT Surya	MWp	63	78	219	129	160	4	250	-	2	2	908
5	PLT Bayu	MW	-	-	30	360	260	50	150	-	-	5	855
6	PLT Biomass/Sempah	MW	12	139	60	357	50	103	19	5	15	35	794
7	PLT Kelautan	MW	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-	7
8	PLT Bio-Fuel	Ribu Kilo Liter	520	487	291	167	151	146	154	159	166	175	2.415
	<b>Jumlah</b>	<b>MW</b>	<b>560</b>	<b>933</b>	<b>1.697</b>	<b>1.501</b>	<b>1.065</b>	<b>2.287</b>	<b>6.251</b>	<b>199</b>	<b>648</b>	<b>1.574</b>	<b>16.714</b>

\*) Asumsi pemakaian biofuel hanya untuk PLTD

### Perkembangan Produk Nasional Bruto Harga Konstan 2010, 2010-2020

Rincian	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019*	2020**
Produk Nasional Bruto (miliar rupiah)	6 864 133,1	7 287 635,3	7 727 083,4	8 156 497,8	8 564 866,6	8 982 511,3	9 433 034,4	9 813 334,1	10 211 554,4	10 611 230,6	11 011 114,1
Jumlah penduduk pertengahan tahun <sup>1)</sup> (juta orang)	238,5	242,0	245,4	248,8	252,2	255,5	258,7	261,3	264,1	267,5	271,8

Catatan:

\*) Angka sementara

\*\*) Angka sangat sementara

<sup>1)</sup> Sumber: Sensus Penduduk 2010

Diolah dari Hasil Sensus, Survei, dan Berbagai Sumber Lainnya

Data dikutip dari Publikasi Statistik Indonesia

### Pertumbuhan Bahan Bakar Fosil, 2016-2020

Rincian	2016	2017	2018	2019	2020
Bahan Bakar Fosil (juta TOE)	67,41	72,13	77,18	82,58	88,36

Catatan:

<sup>1)</sup> Sumber: Dewan Energi Nasional (DEN) ESDM Indonesia

Diolah dari Hasil Sensus, Survei, dan Berbagai Sumber Lainnya

Data dikutip dari Badan Statistik Indonesia