

**TESIS**

**PENDEKATAN MODIFIKASI FUZZY ANALYTICAL  
NETWORK PROCESS TOPSIS DALAM MENENTUKAN  
PRIORITAS SUMBER ENERGI TERBARUKAN  
DI SULAWESI SELATAN**

*Modification Fuzzy Analytical Network Process TOPSIS Approach for Selecting  
Renewable Energy Sources in South Sulawesi*

**AZIZAH FAUZIAH MISBAHUDDIN**

**D032191002**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO**

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2023**

**PENGAJUAN TESIS**

**PENDEKATAN MODIFIKASI FUZZY ANALYTICAL  
NETWORK PROCESS TOPSIS DALAM MENENTUKAN  
PRIORITAS SUMBER ENERGI TERBARUKAN  
DI SULAWESI SELATAN**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister  
Program Studi Ilmu Teknik Elektro

Disusun dan diajukan oleh

ttd

**AZIZAH FAUZIAH MISBAHUDDIN**

**D032191002**

Kepada

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2023**

**TESIS****PENDEKATAN MODIFIKASI FUZZY ANALYTICAL  
NETWORK PROCESS TOPSIS DALAM  
MENENTUKAN PRIORITAS SUMBER ENERGI  
TERBARUKAN DI SULAWESI SELATAN****AZIZAH FAUZIAH MISBAHUDDIN  
D032 191 002**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

pada tanggal 01 Maret 2023

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



**Yusri Syam Akil, S.T., M.T., Ph.D.**  
NIP. 19770322 200501 1 001

Pembimbing Pendamping



**Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, M.T.**  
NIP. 19621231 199003 1 024

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin



**Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.**  
NIP. 19730926 2000 121 002

Ketua Program Studi  
S2 Teknik Elektro



**Dr. Eng. Ir. Wardi, S.T., M.Eng.**  
NIP. 19720828 199903 1 003

**PERNYATAAN KEASLIAN  
TESIS DAN PELIMPAAHAN HAK CIPTA**

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : **Azizah Fauziah Misbahuddin**  
Nomor mahasiswa : **D032191002**  
Program studi : **Teknik Elektro**

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul “Pendekatan Modifikasi Fuzzy Analytical Network Process Topsis Dalam Menentukan Prioritas Sumber Energi Terbarukan Di Sulawesi Selatan” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Yusri Syam Akil, ST, MT, Ph.D dan Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, MT). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepadaperguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di Prosiding (2022 11<sup>th</sup> Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar EECCIS, 2022, Halaman 94-99, DOI: 10.1109/EECCIS54468.2022.9902956) sebagai artikel dengan judul “Prioritizing the Planning for Sustainable Renewable Energy in South Sulawesi Using ANP Approach”.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 16 Maret 2023



Azizah Fauziah Misbahuddin

## KATA PENGANTAR

Puji syukur yang sedalam-dalamnya penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan limpahan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tesis dengan judul “Pendekatan Modifikasi *Fuzzy Analytical Network Process Topsis* Dalam Menentukan Prioritas Sumber Energi Terbarukan Di Sulawesi Selatan” Tak lupa pula shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menyinari dunia ini dengan keindahan ilmu dan akhlak yang diajarkan kepada seluruh umatnya.

Tujuan tesis ini disusun untuk memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) pada Program Pascasarjana Departemen Teknik Elektro Universitas Hasanuddin. Tentunya penyelesaian tesis ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan dari semua pihak dan untuk itu penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Rektor universitas Hasanuddin dan Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memfasilitasi saya menempuh program magister serta para dosen dan rekan-rekan dalam tim penelitian.
2. Bapak Yusri Syam Akil, ST, MT, Ph.D selaku Pembimbing Utama dan Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, MT selaku Pembimbing Pendamping yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan arahan, memberikan kritik dan saran kepada penulis dalam penyelesaian tesis ini.
3. Bapak Prof Dr. Ir. H. Ansar Suyuti, MT, Ibu Ardiaty Arief, ST. MTM.Ph.D, dan Bapak Dr. Ikhlas Kitta, ST. MT selaku dosen penguji yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan arahan dan menguji tesis ini.
4. Orang tua tercinta, saya mengucapkan terima kasih dan sembah sujud atas doa, pengorbanan dan motivasi mereka selama saya menempuh pendidikan. Penghargaan yang besar juga saya sampaikan kepada saudara saya serta keluarga besar saya atas motivasi dan dukungan yang tak ternilai. Kesuksesan dan segala hal baik yang penulis

dapatkan kedepan adalah karna dan untuk kalian.

5. Para teman-teman seperjuangan Pasca Teknik Elektro Unhas Angkatan 2019, khususnya untuk Najmia, Ajeng, Aulia, dan Ummu yang sudah memotivasi dan berjuang bersama penulis untuk menyelesaikan tesis ini.
6. Sahabat terbaik dan tercinta penulis, Nurbaety khususnya yang beberapa saat telah membantu penulis dalam pengambilan data tesis, Monica Fricilia, Sri Sudarni, Shelvyana Pawiloi, Asmaul Husna dan Ratu Adibah yang selalu memberikan semangat kepada penulis.
7. Dan pihak dari PT. PLN (Persero) UIKL Sulawesi, Dinas ESDM Prov. Sulawesi Selatan, dan PT. Poso Energy yang telah memberikan wadah kepada penulis untuk mengambil data analisis tesis ini.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari kata sempurna karna keterbatasan ilmu pengetahuan dari penulis. Untuk itu saran beserta kritikan yang membangun sangat diharapkan. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Makassar, 14 Maret 2023

Penulis

## ABSTRAK

**Azizah Fauziah Misbahuddin.** Pendekatan Modifikasi Fuzzy Analytical Network Process Topsis Dalam Menentukan Prioritas Sumber Energi Terbarukan Di Sulawesi Selatan (dibimbing oleh **Yusri Syam Akil** dan **Salama Manjang**)

Pemerintah Indonesia menargetkan kontribusi energi baru terbarukan minimal 23 persen dalam bauran energi primer nasional pada tahun 2025 dan 31 persen pada tahun 2050, sehingga diperlukan perencanaan energi terbarukan untuk mewujudkan target tersebut. Kajian ini bertujuan untuk menetapkan sumber energi terbaik di Sulawesi Selatan sebagai pedoman bagi pemerintah dalam proses pengambilan keputusan. Penelitian ini menggunakan data hasil penilaian kuesioner dari para expert. Penelitian ini menggunakan metode Fuzzy ANP untuk menentukan bobot kriteria sebagai dasar penilaian untuk mendapatkan prioritas sumber energi terbarukan dengan menggunakan metode TOPSIS untuk perankingan. Metode ini menerapkan pendekatan multiperspektif yaitu ekonomi, lingkungan, potensi, teknologi, risiko, dan sosial dengan tiga subkriteria untuk masing-masing perspektif. Kajian ini melibatkan enam sumber energi terbarukan yaitu matahari, angin, air, biomassa, biofuel dan panas bumi, yang dinilai sebagai alternatif. Teridentifikasi bahwa kriteria ekonomi merupakan kriteria yang paling diprioritaskan untuk perencanaan energi terbarukan dengan bobot 0,176 dan penggunaan lahan merupakan subkriteria terpenting dengan bobot 0,351. Hasil lebih lanjut mengungkapkan bahwa energi air memiliki potensi yang paling besar untuk menghasilkan listrik di Sulawesi Selatan dengan bobot 0,5531 dengan persentase sebesar 19%, diikuti oleh energi angin dan energi panas bumi di peringkat kedua dan ketiga.

**Kata Kunci:** Prioritas, Sumber Energi Terbarukan, Fuzzy, Analytical Network Process, TOPSIS, Sulawesi Selatan.

## ABSTRACT

**Azizah Fauziah Misbahuddin.** *Modification Fuzzy Analytical Network Process TOPSIS Approach For Selecting Renewable Energy Sources in South Sulawesi* (supervised by **Yusri Syam Akil** and **Salama Manjang**)

The Indonesian government sets a target at least 23 percent of renewable energy contribution in the national primary energy mix in 2025 and 31 percent in 2050, thus, renewable energy planning is needed to realize this target. This study aims to establish the best energy source in South Sulawesi as a guide for the government for decision making process. A questionnaire by expert's assessment was used to collect data. The Fuzzy Analytical Network Process model was presented to determine the weight of criterion and The TOPSIS model to rank the renewable energy sources in energy development. This method applied a multi perspective approach specifically economy, environment, potential, technology, risk, and social with 3 sub criterion for each perspective. This study also involved six renewable energy sources namely solar, wind, hydro, biomass, biofuel and geothermal, assessed as an alternative. It is identified that economic criterion is the most priority criterion for renewable energy planning with a weight of 0.176 and the land use is the best subcriterion with a weight of 0.351. The further results revealed that hydro energy has a huge potential to generate electricity in South Sulawesi with a weight of 0.5531 and a percentage of 19%. It is followed by wind and geothermal energy in the second and the third ranking.

**Keywords:** *Priority, Renewable Energy, Fuzzy, Analytical Network Process, TOPSIS, South Sulawesi.*

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>PENGAJUAN TESIS.....</b>	<b>ii</b>
<b>PERSETUJUAN TESIS .....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TESIS .....</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GRAFIK.....</b>	<b>xviii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>

2.1 Landasan Teori.....	5
2.1.1 Sumber Energi Terbarukan.....	5
a. Potensi Pengembangan Alternatif Energi Air .....	5
b. Potensi Pengembangan Alternatif Energi Angin.....	6
c. Potensi Pengembangan Alternatif Energi Matahari.....	6
d. Potensi Pengembangan Alternatif Energi Biomassa.....	7
e. Potensi Pengembangan Alternatif Energi Biofuel.....	7
f. Potensi Pengembangan Alternatif Energi Panas Bumi .....	8
2.1.2 Permasalahan Pengembangan Energi Terbarukan .....	8
2.1.3 Identifikasi Kriteria Energi Terbarukan .....	9
2.1.4 Multi Criteria Decision Making (MCDM) .....	10
a. Analytical Network Process (ANP).....	11
b. Fuzzy .....	12
1. Pengertian Fuzzy.....	12
2. Fuzzy ANP .....	12
c. TOPSIS .....	15
2.1.5 Strategi Pengembangan Energi Terbarukan .....	17
2.2 Posisi Penelitian .....	19
2.3 State Of The Art Penelitian.....	19

<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>22</b>
3.1 Gambaran Umum .....	22
3.2 Waktu Dan Tempat Penelitian .....	22
3.3 Teknik Pengumpulan Data.....	22
3.4 Metodologi Penelitian.....	23
3.5 Tahapan Penelitian .....	28
3.6 Diagram Alir Penelitian .....	29
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>32</b>
4.1 Kondisi Wilayah.....	32
4.2 Potensi Energi Terbarukan.....	32
4.3 Kajian Kebijakan dan Regulasi EBT.....	34
4.4 Permasalahan Pemanfaatan Energi Terbarukan.....	41
4.5 Pemilihan Kriteria dan Subkriteria.....	43
4.5.1 Identifikasi Kriteria .....	44
4.5.2 Penilaian Kriteria .....	54
4.5.3 Network Model ANP .....	56
4.6 Uji Validitas dan Reliabilitas .....	57
4.7 Analisis Data.....	57
4.7.1 Pembobotan Metode F-ANP.....	57

a. Bobot Kriteria.....	57
b. Bobot Subkriteria.....	59
c. Bobot Global .....	62
4.7.2 Perankingan menggunakan metode TOPSIS.....	62
4.8 Pembahasan.....	66
4.8.1 Kriteria.....	67
4.8.2 Sub-Kriteria .....	68
4.8.3 Alternatif.....	69
4.8.4 Bobot AHP dan ANP .....	70
a. AHP .....	70
b. ANP .....	70
4.8.5 Perbandingan Alternatif AHP dan ANP.....	70
4.8.6 Bobot Fuzzy ANP .....	72
4.8.7 Perbandingan Alternatif Fuzzy ANP dan Fuzzy ANP TOPSIS ....	72
4.8.8 Rater agreement .....	74
4.8.9 Perbandingan Keseluruhan Metode .....	74
4.9 Analisis SWOT untuk Prioritas EBT Terbaik.....	79
4.10 Analisis SWOT untuk Prioritas EBT Lainnya .....	80
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>84</b>

5.1 Kesimpulan .....	84
5.2 Saran .....	84
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>86</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>96</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Diagram Fishbone.....	9
Gambar 2. Struktur ANP.....	11
Gambar 3. Grafik Nilai Vektor.....	15
Gambar 4. Matriks Analisis SWOT.....	18
Gambar 5. Diagram Alir Penelitian.....	29
Gambar 6. Diagram Alir Penelitian.....	30
Gambar 7. Diagram Alir Penelitian.....	31
Gambar 8. Diagram Fishbone.....	41
Gambar 9. Network Metode ANP.....	55

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Skala dalam ANP .....	12
Tabel 2. Triangular Fuzzy Number.....	13
Tabel 3. State Of The Art .....	20
Tabel 4. Skala Likert.....	24
Tabel 5. Skala Saaty.....	24
Tabel 6. Skala Likert.....	25
Tabel 7. Profil Responden Pertama .....	25
Tabel 8. Profil Responden Kedua.....	25
Tabel 9. Profil Responden Ketiga.....	26
Tabel 10. Sebaran Potensi Energi Terbarukan di Sulawesi Selatan .....	33
Tabel 11. Kapasitas Terpasang Pembangkit Tenaga Listrik PLN .....	34
Tabel 12. Kapasitas Terpasang Pembangkit Tenaga Listrik Non PLN .....	34
Tabel 13. Perizinan Proyek EBT .....	40
Tabel 14. Deskripsi Kriteria & Subkriteria .....	44
Tabel 15. Penjelasan Kriteria .....	46
Tabel 16. Penilaian Kriteria.....	53
Tabel 17. Uji Reliabilitas .....	56
Tabel 18. Rekapitulasi Rata-Rata Geometri Kriteria.....	57

Tabel 19. Fuzzy Syntetic Extent Kriteria .....	57
Tabel 20. Defuzzifikasi Kriteria .....	58
Tabel 21. Bobot Kriteria .....	58
Tabel 22. Rekapitulasi Rata-Rata Geometri Kriteria Ekonomi.....	58
Tabel 23. Fuzzy Syntetic Extent SubKriteria Ekonomi.....	59
Tabel 24. Defuzzifikasi SubKriteria Ekonomi .....	59
Tabel 25. Bobot SubKriteria Ekonomi .....	59
Tabel 26. Bobot SubKriteria Teknologi.....	59
Tabel 27. Bobot SubKriteria Lingkungan .....	60
Tabel 28. Bobot SubKriteria Sosial .....	60
Tabel 29. Bobot SubKriteria Resiko.....	60
Tabel 30. Bobot SubKriteria Potensi .....	60
Tabel 31. Bobot Global .....	61
Tabel 32. Rekapitulasi Penilaian Alternatif .....	62
Tabel 33. Rekapitulasi Normalisasi Matriks .....	63
Tabel 34. Rekapitulasi Normalisasi Matriks Terbobot .....	63
Tabel 35. Solusi Ideal Positif dan Solusi Ideal Negatif .....	64
Tabel 36. Jarak Solusi Ideal Positif dan Ideal Negatif.....	64
Tabel 37. Nilai Preference.....	65

Tabel 38. Hasil Output AHP .....	69
Tabel 39. Hasil Output ANP .....	69
Tabel 40. Perbandingan AHP dan ANP.....	70
Tabel 41. Hasil Output Fuzzy ANP.....	71
Tabel 42. Perbandingan Fuzzy ANP dan Fuzzy ANP TOPSIS .....	72
Tabel 43 Rater Agreement .....	74
Tabel 44 Data Hasil Kuesioner dan Pemberian Rating Faktor Internal.....	75
Tabel 45. Data Hasil Kuesioner dan Pemberian Rating Faktor Eksternal.....	76
Tabel 46. Nilai Matriks SWOT .....	77
Tabel 47. Strategi Matriks SWOT Energi Air.....	78
Tabel 48. Matriks SWOT Energi Panas Bumi .....	80
Tabel 49. Matriks SWOT Energi Matahari .....	80
Tabel 50. Matriks SWOT Energi Biomassa.....	81
Tabel 51. Matriks SWOT Energi Biofuel .....	82
Tabel 52. Matriks SWOT Energi Angin .....	83

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 1. Prioritas Kriteria .....	66
Grafik 2. Prioritas Subkriteria .....	67
Grafik 3. Prioritas Alternatif Energi Terbarukan.....	68
Grafik 4. Perbandingan AHP dan ANP .....	70
Grafik 5. Perbandingan Fuzzy ANP dan Fuzzy ANP TOPSIS .....	72
Grafik 6. Diagram Cartesius SWOT .....	76

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Energi merupakan salah satu faktor penting dalam pembangunan berkelanjutan. Ketergantungan Indonesia terhadap sumber energi fosil menyebabkan pemanasan global dan membutuhkan perhatian lebih dari berbagai pemangku kepentingan untuk mencari solusi inovatif dengan pemanfaatan energi terbarukan [1]. Pengembangan energi terbarukan memiliki dampak multisektoral antara lain mendorong penyediaan energi, meningkatkan ketahanan energi nasional, menjaga stabilitas makroekonomi, dan mengurangi dampak sosial dan lingkungan yang ditimbulkan oleh energi fosil [2].

Indonesia saat ini fokus terhadap target pengembangan penggunaan Energi Baru Terbarukan pada tahun 2025 sebesar 23% dan pada tahun 2050 sebesar 31%. Namun, hingga tahun 2020 realisasi pangsa EBT baru mencapai 11,31% [3]. Hal ini disebabkan pengembangan EBT untuk kelistrikan di Indonesia masih sangat kompleks, seperti PLTS dan PLTB masih terkendala biaya investasi yang tinggi, skema penetapan harga yang tidak sesuai, dan proses perizinan yang rumit dan memakan waktu [4].

Sulawesi Selatan merupakan salah satu provinsi di Indonesia yang memiliki luas wilayah 45,764 km<sup>2</sup>. Sulawesi Selatan memiliki potensi energi terbarukan yang besar dan beragam. Potensi PLTA sebesar 778,16 MW, PLTS sebesar 27,62 MW, PLTB sebesar 130 MW, Biomass 20 MW, Biofuel 19,8 MW dan Panas Bumi sebesar 114,80 MW [5].

Meninjau penelitian yang sudah ada, berbagai model telah dikembangkan untuk prioritas yang berkaitan dengan EBT. Penelitian [63] menganalisis prioritas EBT di Provinsi Sumatera Utara menggunakan metode AHP dengan 3 kriteria yaitu ekonomi, teknologi, dan lingkungan, didapatkan energi matahari menjadi prioritas pertama diikuti biomass dan energi air. Penelitian [21] menganalisis prioritas EBT di Indonesia menggunakan metode Fuzzy AHP, didapatkan PLTA sebagai prioritas tertinggi diikuti oleh panas bumi, PLTB, dan PLTS. Berdasarkan kedua penelitian ini, pilihan alternatif EBT dan kriteria yang dikaji masih terbatas, belum mencakup

keseluruhan sumber EBT yang ada di Indonesia. Sehingga untuk mendapatkan hasil yang lebih menyeluruh dibutuhkan kajian sumber EBT dan kriteria yang lebih beragam.

Selain itu, penelitian [66] telah membandingkan metode AHP dan ANP untuk mengidentifikasi prioritas investasi proyek PLTS. Didapatkan bahwa AHP tidak dapat mempertimbangkan pengaruh antar elemen, namun ANP dapat memperhitungkan pengaruh dan interaksi antar elemen. Sehingga dapat disimpulkan ANP lebih baik daripada AHP dalam mengelola semua informasi atau kriteria yang berhubungan dengan permasalahan pengambilan keputusan. Penelitian [43] membandingkan beberapa jenis metode MCDM yaitu AHP, TOPSIS, VIKOR, ELECTRE untuk menganalisis pembuatan kebijakan energi. Didapatkan bahwa metode TOPSIS adalah metode MCDM yang paling efektif untuk mengevaluasi kebijakan energi.

*Analytical Network Process* (ANP) dipilih oleh peneliti karena dalam memprioritaskan sumber EBT terbaik membutuhkan pertimbangan kriteria yang kompleks serta terdapat hubungan antar kriteria dan subkriteria. ANP menyusun masalah dalam bentuk jaringan yang memungkinkan koneksi umpan balik (*feedback*) [6]. Namun, kekurangan dari pengambilan keputusan ini seringkali mengandung ambiguitas, subyektif dan tidak tepat. Sehingga, teori logika *fuzzy* digunakan sebagai alat untuk menangani ketidakpastian tersebut dalam penelitian ini. Pendekatan yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah mengkombinasikan *fuzzy* dan ANP untuk menentukan bobot kriteria dan *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) untuk meranking prioritas pembangkit listrik EBT terbaik di Sulawesi Selatan. Metode TOPSIS digunakan untuk melengkapi metode ANP dalam memperhitungkan jarak solusi ideal yang dimiliki setiap alternatif [7]. Topik penelitian ini dipilih karena objek berupa prioritas energi terbarukan dengan kombinasi metode Fuzzy, ANP dan TOPSIS merupakan penelitian terbaru yang belum ada sebelumnya. Selanjutnya, penelitian ini juga merencanakan strategi pengembangan energi terbarukan terbaik dengan menganalisis faktor internal dan faktor eksternal menggunakan analisis SWOT.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan penilaian terhadap kriteria dan subkriteria yang berpengaruh dalam pemilihan prioritas sumber energi terbarukan di Sulawesi Selatan?
2. Bagaimana mengembangkan model penyeleksian sumber energi terbarukan terbaik dengan menggunakan metode F-ANP dan TOPSIS?
3. Bagaimana strategi pengembangan sumber energi terbarukan terbaik yang telah didapatkan?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, maka tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi kriteria dan subkriteria yang berpengaruh dalam pemilihan seleksi sumber energi terbarukan.
2. Mendapatkan urutan sumber energi terbarukan berdasarkan kriteria sehingga mampu menghasilkan alternatif terbaik menggunakan metode F-ANP dan TOPSIS.
3. Memberikan strategi pengembangan energi terbarukan di Sulawesi Selatan berdasarkan hasil alternatif terbaik yang telah didapatkan.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Manfaat yang diharapkan dalam penelitian ini adalah dapat diaplikasikannya metode MCDM dalam memilih *sumber energi terbarukan terbaik* menggunakan pendekatan F-ANP dan TOPSIS.
2. Memberikan informasi bagi pihak pemerintah Sulawesi Selatan dalam mempertimbangkan strategi alternatif sumber energi terbarukan yang terbaik untuk diprioritaskan dalam pembangunan pembangkit listrik di Sulawesi Selatan.

## 1.5 Batasan Masalah

Mengingat banyaknya perkembangan yang bisa ditemukan dalam permasalahan ini, maka perlu adanya batasan-batasan masalah yang jelas mengenai apa yang akan diselesaikan dalam penelitian ini. Adapun batasan-batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Alternatif berupa sumber energi terbarukan yaitu energi matahari, energi angin, energi air (*hydro*), biomassa, biofuel, dan panas bumi.
2. Kriteria dalam proses evaluasi sumber energi terbarukan yaitu kriteria potensi, kriteria lingkungan, kriteria teknologi, kriteria ekonomi, kriteria sosial-politik, dan kriteria resiko.
3. Strategi pengembangan menggunakan analisis SWOT.
4. Data yang digunakan berupa data sekunder dan data primer yang diisi oleh para expert dari :
  - a. PT.PLN Persero UIKL bidang energi baru terbarukan
  - b. Dinas ESDM Provinsi Sulawesi Selatan bidang pemanfaatan energi dan ketenagalistrikan
  - c. Akademisi (Dosen)
  - d. PLTA di Malea Energy dan Poso Energy
5. Studi kasus di wilayah Sulawesi Selatan.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Landasan Teori**

##### **2.1.1 Sumber energi terbarukan**

Sebagai negara kepulauan, Indonesia memiliki sumber daya energi baru terbarukan (EBT) yang sangat besar dan potensial yang perlu dikembangkan, seperti tenaga air, matahari, angin, panas bumi, biomassa, dan biofuel. Kekayaan dan keragaman potensi EBT di Indonesia kurang dimanfaatkan karena tingginya biaya investasi awal dan masalah lainnya. Namun, Pemerintah harus mendorong penggunaan EBT seperti yang ditunjukkan oleh Peraturan Menteri ESDM Nomor 53 Tahun 2018 tentang Penggunaan EBT dengan mengedepankan pencapaian bauran energi [3].

##### **a) Potensi pengembangan alternatif energi air**

Indonesia merupakan salah satu negara dengan potensi tenaga air yang besar untuk digunakan sebagai sumber tenaga listrik. Hal ini dikarenakan wilayah Indonesia yang bergunung dan berbukit, banyak sungai dan daerah-daerah yang memiliki waduk. Potensi kapasitas PLTA Indonesia sekitar 75,091 MW. Rincian pembangunan PLTA diproyeksikan sebesar 18 GW pada tahun 2025 dan 38 GW pada tahun 2050 [8].

Peluang pengembangan PLTA masih besar, Indonesia memiliki jumlah air terbesar kelima di dunia. Menggunakan air sebagai sumber energi terbarukan tidak mengurangi penggunaan air, justru meningkatkan ketahanan pangan dan keperluan pertanian, selain itu, pembangkit listrik tenaga air ini merupakan pembangkit listrik yang tidak mengeluarkan CO<sub>2</sub> seperti bahan bakar fosil [9].

Saat ini, pembangunan pembangkit listrik tenaga air masih menghadapi kendala lingkungan. Umumnya, sumber daya air berada di kawasan hutan, terutama di hutan konservasi dan hutan lindung, sehingga banyak mendapat penolakan oleh LSM dan organisasi lainnya. Selain itu, akses untuk pengadaan suku cadang yang masih terbatas, serta rendahnya kapasitas sumber daya manusia untuk melakukan pemeliharaan yang optimal dan meningkatkan kapasitas pembangkit listrik tenaga air [10].

### **b) Potensi pengembangan alternatif energi angin**

Secara alamiah potensi energi angin di Indonesia relatif tinggi karena terletak di daerah khatulistiwa. sehingga potensi energi angin relatif tinggi. Potensi energi angin Indonesia yang telah teridentifikasi sekitar 978 MW. Potensi tenaga angin di darat kekuatannya terbatas, dengan kecepatan angin rata – rata antara 3 m/s sampai 7 m/s, teknologi turbin angin skala besar dapat bekerja dengan baik pada kecepatan antara 5 m/s sampai 20 m/s [11]. Potensi energi angin terbesar di Indonesia terletak di wilayah Sidrap dan Jeneponto di Sulawesi Selatan yang berpotensi menghasilkan energi listrik dari angin hingga lebih dari 200 MW. Saat ini, di kedua wilayah tersebut telah dibangun PLTB di Sidrap berkapasitas 75 MW dan di Jeneponto berkapasitas 72 MW [11].

Namun terdapat beberapa kendala yang dialami seperti biaya investasi yang tinggi sehingga berujung pada tingginya harga listrik yang dihasilkan, potensi energi angin di Indonesia yang dominan berada di daerah pesisir pantai, sehingga membutuhkan tempat yang luas dan terkendala pada perizinan jika hendak membuka lahan. Sedangkan jika pemanfaatan energi angin dibangun didaerah lepas pantai justeru akan memerlukan biaya investasi yang lebih besar dan dapat mengganggu transportasi laut di sekitarnya. Selain itu, energi angin Indonesia sangat fluktuatif sehingga untuk menjaga pasokan yang terjamin, sistem penyimpanan atau baterai harus digunakan dan dihubungkan *on grid* atau di *hybrid* oleh pembangkit lain yang memiliki kestabilan dalam menghasilkan daya [12].

### **c) Potensi pengembangan alternatif energi matahari**

Energi matahari merupakan salah satu sumber energi terbarukan dengan potensi terbesar untuk memecahkan masalah energi. Indonesia memiliki keunggulan geografis karena terletak di daerah tropis dan dilewati oleh garis khatulistiwa, yang intensitas radiasinya lebih tinggi dibandingkan daerah lain, yaitu 4,66-5,54 kWh/m<sup>2</sup>/hari [13].

Berdasarkan data penyinaran matahari yang dikumpulkan dari 18 lokasi di Indonesia menunjukkan bahwa penyinaran matahari Indonesia dapat dibagi untuk dua wilayah, yaitu: Wilayah Indonesia Bagian Barat (KBI) = 4,5 kWh/m<sup>2</sup>/hari, dengan fluktuasi bulanan sekitar 10% dan Indonesia Timur (KTI) = 5,1 kWh/m<sup>2</sup>/hari, dengan fluktuasi bulanan sekitar 9%. Data menunjukkan bahwa

ketersediaan radiasi matahari lebih tinggi pada KTI dan lebih merata sepanjang tahun dibandingkan pada KBI [13]. Pada hari yang cerah, kurang dari 30% energi dipantulkan kembali ke angkasa, 47% diubah menjadi panas, 23% digunakan untuk semua sirkulasi di permukaan bumi [14].

Pemanfaatan energi surya menjadi listrik adalah sebuah sistem yang paling ramah lingkungan, namun sampai saat ini masih memerlukan lahan yang luas untuk pemasangan instalasinya. Hal ini terjadi karena intensitas panas yang diterima oleh permukaan bumi relatif rendah, sehingga memerlukan kolektor yang cukup besar untuk keperluan pembangkitannya. Hal ini yang menyebabkan pembangkit listrik tenaga surya memiliki nilai investasi yang cukup tinggi, karena teknologi pendukungnya mahal. Selain itu, meskipun energi surya mampu menghasilkan daya listrik yang sangat besar, tapi tingkat kontinuitasnya kurang stabil akibat intensitas cahaya matahari yang tidak kontinu [15].

#### **d) Potensi pengembangan alternatif energi biomassa**

Letak geografis Indonesia yang begitu luas memiliki peluang potensi energi dari sumber biomassa yang cukup melimpah. Biomassa dapat digunakan langsung sebagai bahan bakar. Limbah biomassa padat yang berasal dari sektor kehutanan, pertanian, dan perkebunan adalah limbah yang paling potensial dibandingkan limbah tebu, padi, ubi dan kelapa sawit. Selain limbah kehutanan dan pertanian, limbah peternakan dan sampah perkotaan juga dapat diolah menjadi penghasil energi biomassa yang besar [16]. Penggunaan biomassa merupakan solusi yang sangat menjanjikan untuk permasalahan sampah di kota-kota besar. Selain limbah biomassa padat, energi biogas dapat dihasilkan dari kotoran hewan, seperti kotoran sapi, kerbau, kuda dan babi, yang juga terdapat di seluruh provinsi di Indonesia dengan jumlah yang berbeda-beda. Pemanfaatan energi biomassa sangat banyak, beberapa diantaranya dapat menyebabkan penurunan kadar metana di atmosfer serta energi dapat mengurangi sampah yang menumpuk di tempat pembuangan sampah setempat [17].

Masalah utama dalam pengembangan dan penggunaan biomassa hingga saat ini adalah tidak adanya pedoman kebijakan dan peta jalan yang jelas, Jenis-jenis sampah di Indonesia tidak terpilah berdasarkan jenisnya dan memiliki kadar air yang tinggi, sehingga perlu dilakukan pengolahan dan membutuhkan biaya yang

lebih besar untuk pengolahannya. Proyek ini membutuhkan modal awal yang besar dengan biaya operasi dan pemeliharaan yang tinggi [16].

**e) Potensi pengembangan alternatif energi biofuel**

Biofuel adalah bahan bakar yang berbahan baku pertanian yang biasa digunakan sebagai makanan. Produk komersial umum BNN adalah bioetanol dan biodiesel [17]. Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan dan dapat digunakan sebagai bahan bakar mesin kendaraan yang dapat menurunkan emisi dibandingkan dengan minyak diesel [18]. Biodiesel dihasilkan dari minyak nabati yang berasal dari sumber daya alam. Bahan baku pembuatan biodiesel antara lain: kelapa sawit, kedelai, bunga matahari, minyak wijen, tebu, alpukat dan beberapa tanaman lainnya. Selain minyak nabati, bahan baku biodiesel bisa terbuat dari lemak hewani atau lemak bekas, semua bahan baku ini mengandung trigliserida atau asam lemak bebas yang dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi listrik [19].

**f) Potensi pengembangan alternatif energi panas bumi**

Energi panas bumi adalah sumber energi panas yang terkandung dalam air panas, uap air, batuan, serta mineral dan gas lainnya. Energi panas bumi adalah energi yang menggunakan panas dari bumi di bawah permukaan untuk menghasilkan listrik dan panas. Pembangkit listrik ini hanya dapat dibangun di sekitar lempeng tektonik dengan temperatur yang tinggi [20].

Beberapa kekuatan energi panas bumi di Indonesia adalah potensi sumber daya panas bumi Indonesia diperkirakan setara dengan 28 GW, sumber daya panas bumi merupakan sumber energi terbarukan sehingga pemanfaatannya bisa berkelanjutan [21]. Permasalahan pengembangan panas bumi di Indonesia antara lain kebijakan menyangkut kegiatan hulu dan hilir *geothermal* belum sinkron, biaya investasi yang tinggi, serta tumpang tindihnya wilayah pengembangan panas bumi dengan wilayah cagar alam atau wilayah taman nasional [21].

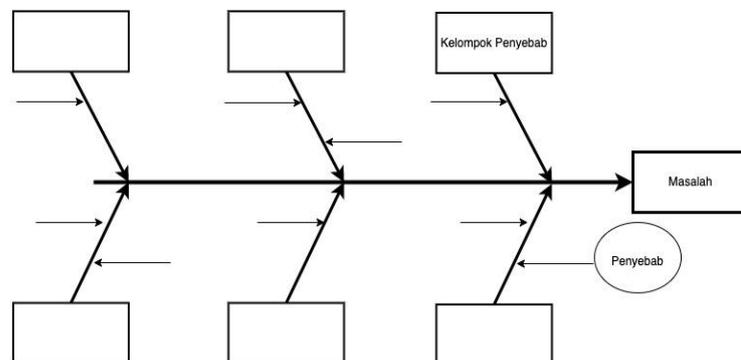
### **2.1.2 Permasalahan pengembangan energi terbarukan**

Kajian permasalahan pengembangan energi terbarukan di Indonesia diuraikan melalui diagram *fishbone* untuk mengetahui faktor penyebab permasalahan yang dikaji. Diagram *fishbone* dikembangkan oleh Dr. Kaoru Ishikawa pada tahun 1960. Diagram ini bentuknya menyerupai kerangka tulang

ikan meliputi kepala, sirip, dan duri [22]. Diagram ini merupakan alat untuk mengidentifikasi berbagai penyebab dari suatu masalah yang dimana permasalahan tersebut akan dipecah menjadi sejumlah kategori yang berkaitan, yang mencakup manusia, material, mesin, prosedur, kebijakan, dan sebagainya [22]. Langkah-langkah pembuatan diagram *fishbone* adalah sebagai berikut [23]:

1. Membuat kerangka diagram *fishbone*

Kerangka diagram *fishbone* meliputi kepala ikan diletakkan pada bagian kanan diagram untuk menyatakan masalah utama serta bagian kiri sirip digunakan untuk kelompok penyebab permasalahan, bentuk kerangka diagram *fishbone* tersebut dapat digambarkan pada Gambar 1:



**Gambar 1** Diagram *Fishbone*  
Sumber: Asmoko, 2013

2. Merumuskan masalah utama
3. Merumuskan faktor penyebab yang berpengaruh dari segi *materials, methods, machines, man/people, environment*, dan kategori lainnya yang dianggap penting.
4. Menemukan penyebab untuk masing-masing kelompok masalah, penyebab ini ditempatkan pada duri ikan.

### 2.1.3 Identifikasi kriteria energi terbarukan terbaik

Dalam menentukan suatu pengambilan keputusan, terdapat hal – hal yang perlu untuk dipertimbangkan, salah satunya adalah dalam menentukan pembangunan pembangkit listrik sumber *energi terbarukan terbaik*. Pada penelitian [24], PESTLE merupakan alat yang digunakan dalam manajemen strategi untuk

menganalisis, mengidentifikasi, dan memantau faktor apa saja yang bisa berdampak bagi suatu obyek. PESTLE merupakan singkatan dari *politic, economic, social, technology, legal, and environment*.

1. *Politic*

Dari segi politik, terdapat beberapa hal yang dapat mempengaruhi, seperti kebijakan & peraturan perizinan, peraturan daerah, atau peraturan perdagangan.

2. *Economic*

Dari sektor ekonomi, terdapat beberapa hal yang mempengaruhi, seperti biaya investasi, tingkat suku bunga, harga jual dan sebagainya.

3. *Social*

Faktor sosial meliputi tingkat pertumbuhan penduduk, tingkat lapangan pekerjaan, penerimaan masyarakat lokal dan sebagainya.

4. *Technology*

Kemajuan teknologi yang semakin pesat dapat dibuktikan dengan banyaknya inovasi teknologi yang telah dibuat. Seperti keandalan teknologi, keterbaharuaan teknologi dan sebagainya.

5. *Legal*

Faktor ini memiliki beberapa tumpang tindih dengan faktor politik. Namun, yang termasuk dalam faktor ini adalah undang-undang yang lebih spesifik.

6. *Environment*

Faktor lingkungan ini menjadi penting polusi dan target jejak karbon yang dihasilkan.

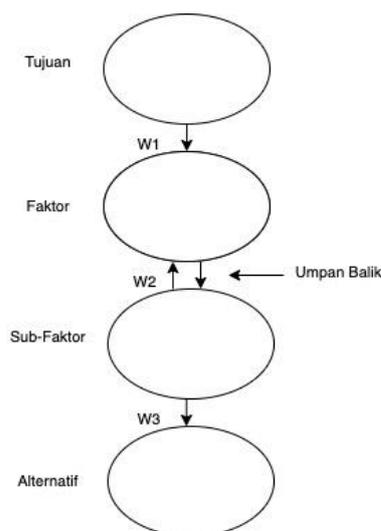
#### **2.1.4 Multi criteria decision making (MCDM)**

*MCDM* adalah salah satu metode untuk membantu proses pengambilan keputusan. Tujuan dari metode ini adalah untuk memberikan peringkat dan pengurutan pilihan dari pilihan yang paling disukai sampai yang paling tidak disukai untuk objek studi [25]. *MCDM* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu analisis metode Fuzzy ANP dan TOPSIS.

### a) ANP

ANP adalah metode pendekatan yang diperkenalkan oleh Thomas Saaty. Dikarenakan permasalahan pengambilan keputusan sangat kompleks sehingga tidak dapat diklarifikasi hanya secara struktur hierarki yang searah, maka metode ANP merupakan teori matematis yang mengizinkan pengambil keputusan melakukan interaksi (*dependence*) dan umpan balik (*feedback*) dari antar elemen [25].

ANP memiliki keunggulan dibanding AHP yaitu memberikan hasil perbandingan yang lebih objektif, kemampuan prediktif yang lebih akurat, dan hasil yang lebih stabil. Oleh karena itu metode ANP banyak diaplikasikan dalam berbagai masalah pengambilan keputusan. Struktur dari jaringan ANP ini ditunjukkan pada Gambar 2 [26]:



**Gambar 2** Struktur ANP

Sumber: Saaty, 2005

Struktur jaringan ANP digambarkan dengan memodelkan sistem dengan umpan balik (*feedback*), dimana satu level mempengaruhi dan dipengaruhi oleh level lainnya [26].

Penilaian ANP dirancang secara ilmiah, agar bobot yang dihasilkan akurat. Tabel 1 merupakan skala perbandingan yang dibuat oleh Saaty yang berfungsi untuk membandingkan derajat kepentingan tiap kriteria [26].

**Tabel 1** Skala dalam ANP

Deskripsi	Tingkat Kepentingan	Penjelasan
<b>Mutlak lebih besar</b> pengaruh/tingkat kepentingannya	9	Bukti-bukti yang memihak satu elemen dibandingkan elemen lainnya memiliki bukti yang tingkat kemungkinan afirmasinya tertinggi.
Di antara nilai 7-9	8	Nilai kompromi di antara dua nilai yang berdekatan.
<b>Sangat lebih besar</b> pengaruh/tingkat kepentingannya	7	Satu elemen sangat lebih dibandingkan elemen lainnya, dan dominan ditunjukkan dalam praktik.
Di antara nilai 5-7	6	Nilai kompromi di antara dua nilai yang berdekatan.
<b>Lebih besar</b> pengaruh/tingkat kepentingannya	5	Pengalaman dan penilaian kuat mendukung satu elemen dibandingkan elemen yang lainnya.
Di antara 3-5	4	Nilai kompromi di antara dua nilai yang berdekatan.
<b>Sedikit lebih besar</b> pengaruh/tingkat kepentingannya	3	Pengalaman dan penilaian sedikit mendukung satu elemen dibandingkan elemen yang lain.
Di antara 1-3	2	Nilai kompromi di antara dua nilai yang berdekatan.
<b>Sama besar</b> pengaruh/tingkat kepentingannya	1	Dua elemen yang dibandingkan memiliki kontribusi kepentingan yang sama terhadap tujuan.

Sumber: Astuti, 2014

## **b) Fuzzy ANP**

### **1) Pengertian fuzzy**

Logika *fuzzy* merupakan suatu logika yang memiliki nilai kekaburan atau kesamaran. Logika *fuzzy* diperkenalkan oleh Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965. Logika *fuzzy* menggunakan derajat keanggotaan yang memiliki rentang nilai 0 (nol) hingga 1(satu), berbeda dengan himpunan tegas yang memiliki nilai 1 atau 0 (ya atau tidak). Teori ini dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang, antara lain algoritma kontrol, sistem pendukung keputusan, ekonomi, teknik dan ilmu pengetahuan lainnya [27].

### **2) F-ANP**

Dalam penelitian ini, Metode *F-ANP* merupakan penggabungan metode *ANP* dengan konsep *Fuzzy*. Penggunaan ANP dalam problem *MCDM* sering dikritisi

karena kurang mampunya untuk mengatasi ketidakpresisian yang dialami oleh pengambil keputusan ketika harus memberikan nilai yang pasti pada *pair wise comparison* [27].

Nilai parameter kualitatif ditransformasikan kedalam bilangan *triangular fuzzy number* yang merupakan teori himpunan *fuzzy* yang membantu dalam pengukuran penilaian subjektif manusia dengan menggunakan bahasa atau linguistik. Berikut merupakan Langkah-langkah dalam perhitungan Fuzzy ANP [28]:

1. Menyusun model struktur network

Penyusunan model struktur network pada metode F-ANP sama dengan proses penyusunan struktur pada metode ANP.

2. Menentukan matriks perbandingan berpasangan dengan *Triangular Fuzzy Numbers (TFN)*.

Setiap fungsi keanggotaan didefinisikan dalam 3 parameter yakni  $l$ ,  $m$  dan  $u$ . Dimana  $l$  adalah nilai kemungkinan terendah,  $m$  adalah nilai kemungkinan tengah dan  $u$  adalah nilai kemungkinan teratas pada interval pengambil keputusan atau *expert*. TFN dan variabel linguistiknya sesuai skala Saaty ditunjukkan pada Tabel 2:

$$A=(a_{ij})_{n \times n} \begin{bmatrix} (1,1,1) & (l_{12}, m_{12}, u_{12}) & (l_{1n}, m_{1n}, u_{1n}) \\ (l_{21}, m_{21}, u_{21}) & (1,1,1) & (l_{2n}, m_{2n}, u_{2n}) \\ (l_{n1}, m_{n1}, u_{n1}) & (l_{n2}, m_{n2}, u_{n2}) & (1,1,1) \end{bmatrix}$$

$$\text{dimana : } a_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij}) = a_{ij}^{-1} = \left( \frac{1}{u_{ij}}, \frac{1}{m_{ij}}, \frac{1}{l_{ij}} \right)$$

**Tabel 2** *Triangular Fuzzy Number*

Definisi	Skala ANP	TFN	Invers Skala TFN
Sama penting	1	1,1,3	1/3, 1/1, 1/1
Sedikit lebih penting	3	1,3,5	1/5, 1/3, 1/1
Lebih penting	5	3,5,7	1/7, 1/5, 1/3
Sangat penting	7	5,7,9	1/9, 1/7, 1/5
Mutlak lebih penting	9	7,9,9	1/9, 1/9, 1/7
Nilai tengah	2,4,6,8	(1,2,4)(2,4,6) (4,6,8) (6,8,8)	(1/4, 1/2, 1/1) (1/6, 1/4, 1/2) (1/8, 1/6, 1/4) (1/9, 1/8, 1/6)

Sumber: Nuhodzic, 2010

3. Menghitung *geometric mean*

Setiap hasil penilaian expert akan membentuk satu matriks. Jika jumlah expert lebih dari satu maka dilakukan penggabungan matriks menjadi satu matriks perbandingan berpasangan dengan metode *geometric mean*. Operasi *geometric mean* yang digunakan dalam metode F-ANP adalah:

$$l_{ij} = \left( \prod_{k=1}^k l_{ijk} \right)^{1/k}, m_{ij} = \left( \prod_{k=1}^k m_{ijk} \right)^{1/k}, u_{ij} = \left( \prod_{k=1}^k u_{ijk} \right)^{1/k} \quad (1)$$

dengan penjabaran sebagai berikut :

$$l_{ij} = (l_{i1} \otimes l_{i2} \otimes \dots \otimes l_{ik})^{1/k} \quad i = 1, 2, \dots, k$$

$$m_{ij} = (m_{i1} \otimes m_{i2} \otimes \dots \otimes m_{ik})^{1/k} \quad i = 1, 2, \dots, k$$

$$u_{ij} = (u_{i1} \otimes u_{i2} \otimes \dots \otimes u_{ik})^{1/k} \quad i = 1, 2, \dots, k$$

4. Menentukan nilai bobot lokal dengan perhitungan *fuzzy synthetic extent (Si)*

Perhitungan *fuzzy synthetic extent (Si)* dalam penentuan nilai bobot lokal adalah:

$$\tilde{S}_i = \sum_{j=1}^m \tilde{M}_{ij} \otimes \left[ \sum_{j=1}^n \left[ \sum_{j=1}^m M_{ij} \right]^{-1} \right] \quad (2)$$

dimana  $\sum_{j=1}^m \tilde{M}_{ij}$  dapat diperoleh dengan menjumlahkan nilai fuzzy M (l, m, u) dengan operasi penjumlahan pada setiap nilai triangular fuzzy dalam setiap baris, secara matematis dinyatakan sebagai berikut:

$$\sum_{j=1}^m M_{ij} = \sum_{j=1}^m l_j \sum_{j=1}^m m_j \sum_{j=1}^m u_j \quad (3)$$

sedangkan untuk memperoleh nilai  $\left[ \sum_{j=1}^n \left[ \sum_{j=1}^m M_{ij} \right]^{-1} \right]$  dilakukan operasi invers dari total penjumlahan keseluruhan nilai triangular fuzzy. Berikut ini merupakan nilai secara matematis:

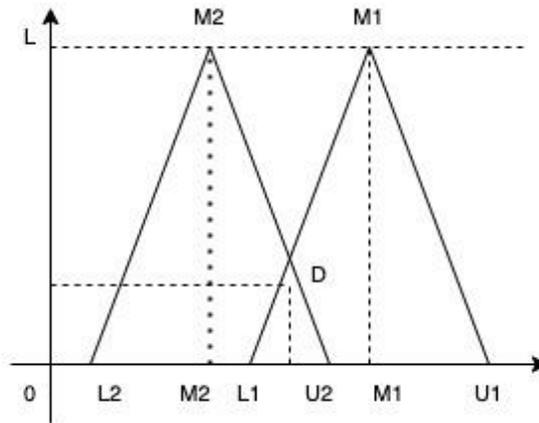
$$\left[ \sum_{j=1}^n \left[ \sum_{j=1}^m M_{ij} \right]^{-1} \right] = \frac{1}{\sum_{j=1}^m u_j \sum_{j=1}^m m_j \sum_{j=1}^m l_j} \quad (4)$$

dimana:  $\tilde{M}$  = objek (kriteria, sub kriteria, alternatif, sub alternatif) i = baris ke – i j = kolom ke – j l = nilai lower m = nilai medium u = nilai upper

5. Menentukan nilai vektor (V) dan nilai ordinat *defuzzifikasi (d')* Menentukan

nilai vektor (V) merupakan langkah untuk melakukan perbandingan tingkat kemungkinan antar *Triangular Fuzzy Numbers* masing-masing elemen. Perbandingan antara  $M_2 = (l_2, m_2, u_2)$  dan  $M_1 = (l_1, m_1, u_1)$  jika tingkat kepentingan  $M_2 \geq M_1$  maka nilai vektor secara matematis dapat dirumuskan pada persamaan sebagai berikut:

$$\text{Nilai } V(M2 \geq M1) = \begin{cases} 1, & \text{if } m2 \geq m1 \\ 0, & \text{if } l1 \geq u1 \\ \frac{l1-u}{(m2-u2)-(m1-l1)} & \end{cases} \quad (5)$$



**Gambar 3** Grafik Nilai Vektor  
Sumber: Nuhodzic, 2010

6. Nilai ordinat defuzzifikasi ( $d'$ ) merupakan penggambaran dari pilihan relatif masing-masing elemen keputusan. Nilai  $d'$  diperoleh dari nilai minimum perbandingan nilai vektor yaitu:

$$\text{Nilai } d'(A_i) = \min [V(S_i \geq S_k)] \quad (6)$$

7. Menentukan nilai  $W'$  bobot

$$\text{Nilai } W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (7)$$

8. Menormalisasi vektor bobot, masing-masing elemen dibagi seluruh elemennya sehingga menjadi

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, D(A_n))^T \quad (8)$$

Nilai  $W$  saat ini merupakan bukan bilangan fuzzy

c) ***Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)***

TOPSIS adalah metode pengambilan keputusan multikriteria yang pertama kali diperkenalkan oleh Yoon dan Hwang pada tahun 1981. TOPSIS merupakan metode pemilihan alternatif dengan prinsip bahwa alternatif yang terpilih harus mempunyai jarak terdekat dari solusi ideal positif dan jarak terjauh dari solusi ideal negatif. Solusi ideal positif didefinisikan sebagai jumlah dari seluruh nilai terbaik yang dapat dicapai

untuk setiap atribut, sedangkan solusi ideal negatif terdiri dari seluruh nilai terburuk yang dicapai untuk setiap atribut [29].

Konsep ini banyak digunakan pada beberapa model MCDM untuk menyelesaikan masalah keputusan secara praktis. Hal ini disebabkan karena memiliki kemampuan untuk mengukur kinerja relatif dari alternatif keputusan dalam bentuk matematis yang sederhana. Ada beberapa tahapan dalam metode TOPSIS, yaitu [30]:

1. Menghitung *geometric mean* untuk mendapatkan rata-rata penilaian dari keseluruhan responden.

$$\text{Geometric Mean} = (R1 \times R2 \times R3 \times \dots \times Rn)^{1/n} \quad (9)$$

dimana, R adalah nilai kuesioner responden-n, dan n adalah jumlah responden.

2. Membuat matriks keputusan ternormalisasi dengan metode *Euclidean Length of a vector*:

$$rij = \frac{xij}{\sqrt{\sum_{i=1}^m xij^2}} \quad (10)$$

rij adalah ranking kinerja alternatif ke-I dan kriteria ke-j, Xij adalah alternatif ke-I dan criteria ke-j dari perhitungan alternatif sebelumnya

3. Membuat matriks keputusan yang ternormalisasi terbobot dengan bobot y ( $y_1, y_2, \dots, y_n$ ), maka normalisasi bobot matriks y adalah

$$Yij = Wi \times rij \quad (11)$$

nilai Wi adalah nilai bobot kriteria pada proses ANP yang sudah dihitung sebelumnya, nilai Rij adalah nilai matriks ternormalisasi sebelumnya.

4. Membuat matriks solusi ideal positif dan matriks solusi ideal negatif

$$A^+ = (y1^+, y2^+, \dots, yn^+); \quad (12)$$

$$A^- = (y1^-, y2^-, \dots, yn^-);$$

$$Yj^- = \begin{cases} \max Yij & \text{jika j biaya} \\ \min Yij & \text{jika j keuntungan} \end{cases}$$

$$Yj^+ = \begin{cases} \max Yij & \text{jika j keuntungan} \\ \min Yij & \text{jika j biaya} \end{cases}$$

A<sup>+</sup> adalah solusi ideal positif, A<sup>-</sup> adalah solusi ideal negatif.

$y_{ij}$  = elemen matriks  $y$  baris ke- $i$  dan kolom ke- $j$   $j = \{j = 1,2,3,\dots,n$  dan  $j$  berhubungan dengan *benefit criteria*  $\}$   $j = \{j = 1,2,3,\dots,n$  dan  $j$  berhubungan dengan *cost criteria*  $\}$

- 3) Menentukan jarak antara nilai setiap alternatif dengan matriks solusi ideal positif dan matriks solusi ideal negatif.

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i^+ - Y_{ij})^2} \quad (13)$$

$D_i^+$  = jarak alternatif  $A_i$  dengan solusi ideal positif,  $y_i^+$  = elemen dari matriks solusi ideal positif,  $y_{ij}$  = matriks normalisasi terbobot  $[i][j]$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_{ij} - Y_i^-)^2} \quad (14)$$

$D_i^-$  = jarak alternatif  $A_i$  dengan solusi ideal negatif,  $y_i^-$  = elemen dari matriks solusi ideal negatif,  $y_{ij}$  = matriks normalisasi terbobot  $[i][j]$

- 4) Menentukan nilai preferensi untuk setiap alternatif

$$V_i = \frac{D_i^-}{D_i^- + D_i^+} \quad (15)$$

nilai  $V_i$  yang lebih besar menunjukkan prioritas alternatif  $A_i$  lebih dipilih

### 2.1.5 Strategi pengembangan energi terbarukan

Proses perumusan berbagai strategi dapat menggunakan analisis SWOT yang melibatkan para pihak terkait yang *expert* dibidangnya untuk melakukan audit internal dan eksternal untuk memberikan peringkat strategi terbaik melalui proses pembobotan [31].

Analisis SWOT dikenal dengan analisis perencanaan strategis dengan menilai kekuatan (*strengths*), kelemahan (*weakness*), peluang (*opportunities*) dan ancaman (*threats*). Analisis ini terbukti sebagai alat yang efektif dalam mendiagnosa permasalahan yang sedang dihadapi dan tindakan yang harus dilakukan kedepan [31]. Tahapan perencanaan strategis analisis SWOT meliputi tiga tahapan, yaitu tahap input, tahap pencocokan dan tahap keputusan [31].

#### A. Tahapan input dalam Analisis SWOT

IFAS (*Internal Factor Analysis Summary*) dan EFAS (*External Factor Analysis Summary*) merupakan Tabel yang dibuat untuk menggambarkan beberapa faktor kekuatan serta kelemahan dan peluang serta ancaman.

Tahapan penilaian adalah memberikan nilai bobot pada setiap faktor dengan skala mulai dari 1,0 (paling penting) sampai 0,0 (tidak penting).

#### B. Tahapan Pencocokan

Tahapan pencocokan dilakukan dengan menentukan diagram cartesius yang didapat dari matriks IFAS dan matriks EFAS, data yang dimasukkan yaitu total skor dengan rumus koordinatnya : Koordinat analisis internal ; koordinat analisis eksternal

$$= \frac{\text{Total Kekuatan}(S) - \text{Total Kelemahan}(W)}{2}, \frac{\text{Total Peluang}(O) - \text{Total Ancama}(T)}{2} \quad (15)$$

#### C. Tahapan Pengambilan Keputusan

Setelah perhitungan matriks IFAS dan EFAS, selanjutnya menggunakan rumus SO (Strengths-Opportunities), ST (Strengths-Threats), WO (Weakness-Opportunities) dan WT (Weakness-Threats) pada Gambar 4.

	<b>KEKUATAN (S)</b> 1 2 3 4 tuliskan kekuatan	<b>KELEMAHAN (W)</b> 1 2 3 4 tuliskan kelemahan
<b>PELUANG (O)</b> 1 2 3 4 tuliskan peluang	<b>STRATEGI SO</b> 1 2 3 4 kekuatan untuk memanfaatkan peluang	<b>STRATEGI WO</b> 1 2 3 4 kelemahan untuk memanfaatkan peluang
<b>ANCAMAN (T)</b> 1 2 3 4 tuliskan ancaman	<b>STRATEGI ST</b> 1 2 3 4 kekuatan untuk menghindari ancaman	<b>STRATEGI WT</b> 1 2 3 4 meminimalkan kelemahan dan menghindari ancaman

**Gambar 4** Matriks Analisis SWOT.

Sumber: Dimas, 2020

## 2.2 Posisi Penelitian

Penelitian mengenai seleksi sumber energi terbarukan menggunakan teknik pengambilan keputusan atau MCDM (*Multi Criteria Decision Making*) telah banyak dilakukan oleh peneliti. Adapun perbedaan penelitian ini dibandingkan penelitian lainnya adalah:

1. Penelitian ini menggunakan pendekatan metode F-ANP dalam melakukan pembobotan, dimana metode ini merupakan pengembangan dari pendekatan ANP yang digabungkan dengan metode *fuzzy logic* untuk mendapatkan hasil yang lebih halus dan akurat.
2. Pendekatan ini memodifikasi dengan menambahkan metode TOPSIS sebagai pengambil keputusan untuk menentukan sumber energi alternatif yang terbaik.
3. Penelitian ini mengidentifikasi kriteria yang lebih beragam diantaranya kriteria ekonomi, lingkungan, teknologi, potensi, sosial politik, dan resiko.
4. Penelitian ini mengkaji faktor-faktor internal dan eksternal serta strategi yang dapat dilakukan untuk mengembangkan sumber energi terbarukan di Sulawesi Selatan menggunakan SWOT

## 2.3 State of The Art Penelitian

Penelitian sebelumnya berfungsi untuk analisis dan memperkaya pembahasan penelitian serta membedakannya dengan penelitian yang sedang dilakukan. Dalam penelitian ini disertakan beberapa jurnal penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan konsep seleksi energi dan metode MCDM. Jurnal tersebut dapat dilihat pada Tabel 3 berikut:

**Tabel 3** State of The Art

Identity Paper	Year	Author	Title	General Information	Method	Conclusion
International Journal Of Energy Economics and Policy (2020) 392-398 [20].	2020	Muhammad Nuriyef	Fuzzy Information and Z-Number based Approaches to Energy Resource Selection	Penelitian ini merangking sumber energi terbarukan di Azerbaijan menggunakan Multi-Criteria Decision Making problem berupa fuzzy AHP dan Bahasa-Z. Evaluasi penilaian alternatif energi terbaik dalam paper ini menilai kriteria dari segi sosial, ekonomi, teknologi dan lingkungan. Bahasa Z digunakan untuk mengidentifikasi batasan dan keandalan dari evaluasi.	Fuzzy dan Bahasa-Z	Hasil dalam penelitian ini menunjukkan wind energi adalah prioritas tertinggi di Arbeijan dengan prioritas margin 25%, kemudian diikuti solar energi dan natural gas.
Journal of Economics, Finance, and Accounting 5(2), 224-233 [23].	2018	Hamal, Senvar, Vayvay	Selection of optimal renewable energy investment project via fuzzy ANP	Penelitian ini menganalisis investasi proyek energi terbarukan yang optimal untuk dijadikan pedoman bagi investor dalam mengambil keputusan pembangunan proyek. Penelitian ini menggunakan pendekatan Fuzzy ANP untuk pemilihan proyek terbaik.	Fuzzy ANP	PLTA dengan kepentingan 31% dipilih sebagai proyek investasi energi terbarukan yang optimal untuk investor.
Sustainable Energy Technologies and Assessments, 7, 34-44 [21].	2014	Tasria, Susilawatib	Selection among renewable energy alternative based on a fuzzy analytic hierarchy process in Indonesia	Penelitian ini menentukan sumber energi terbarukan yang paling tepat untuk generalisasi listrik untuk Indonesia. Metodologi pemilihan diusulkan menggunakan fuzzy AHP. Sumber energi yang dipertimbangkan adalah wind energi, solar energi, hydro, dan geothermal	Fuzzy AHP	Tenaga air ditemukan sebagai sumber energi terbarukan terbaik di Indonesia, diikuti oleh panas bumi, tenaga surya, energi angin.

International Journal of Energy Economics and Policy, 9 (20, 31-39 [42].	2019	Ezra Karakas, Ozan Veli	Evaluation of renewable energy alternatives for turkey via modified fuzzy AHP	Penelitian ini mengevaluasi alternatif energi terbarukan di Turki menggunakan Modifikasi Fuzzy AHP. Alternatif energi terbarukan yang dipertimbangkan dalam studi ini adalah tenaga air, angin, matahari, biomassa. Empat kriteria utama dan delapan sub kriteria digunakan untuk mengevaluasi lima alternatif energi terbarukan.	Fuzzy AHP	Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa energi surya adalah alternatif terbaik, dan energi angin adalah alternatif terbaik kedua. Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini juga mendukung keberhasilan realisasi dari target energi 2023 di Turki.
Energy Strategy Reviews, 24, 207-228 [43].	2019	Ihsan Kaya, Murat Colak, Fulya Terzi	A comprehensive review of fuzzy multi kriteria decision making methodologies for energi policy making.	Penelitian ini membandingkan beberapa metode fuzzy dalam Multi Kriteria Decision Making dan menentukan metode terbaik yang dapat digunakan untuk pengambilan keputusan pada kebijakan energi.	Multi Criteria Decision Making	Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa generasi baru himpunan fuzzy yang terbaik adalah AHP dan TOPSIS untuk menganalisis pembuatan kebijakan energi.
International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES 2019) IEEE Xplore ISBN: 978-1-7281-1261-9. [45].	2019	Nisha Rathore, M.P.Singh	Selection of Optimal Renewable Energy Resources in Uncertain Environment Using ARAS-Z Methodology	Penelitian ini mengidentifikasi sumber energi terbarukan yang optimal dengan membandingkan metode ARAS dan metode MCDM lainnya seperti metode VIKOR, TOPSIS, COPRAS untuk penilaian dan prioritas sumber energi alternatif yang layak.	Metode Additive Ratio Assessment (ARAS) dan Z-number.	Model ARAS-Z yang diusulkan memiliki kemampuan untuk menangani Ketidakpastian. Hasil menunjukkan antara ARAS-Z, VIKOR, TOPSIS, COPRAS masing-masing adalah 0,99, 0,96, 0,99, 0,99. sehingga metode ARAS-Z memiliki nilai SCC tertinggi (0,99) dibanding TOPSIS dan COPRAS sehingga membenarkan kemampuan dan efektivitas metode yang diusulkan.