



# ANALISIS ENERGI INDONESIA SEBAGAI BAHAN STUDI KETAHANAN ENERGI NASIONAL

Tateng Sukendar<sup>a\*</sup>, Leonard Lisapaly<sup>a</sup>, Martua Manik<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Program Studi Magister Teknik Elektro, Program Pascasarjana, Universitas Kristen Indonesia, Jl. Mayor Jendral Sutoyo No.2, Cawang, Jakarta Timur 13630 Indonesia

<sup>b</sup>Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik Industri, Universitas Indraprasta PGRI, Jl. TB Simatupang No.58, Jagakarsa, Jakarta Selatan 12530 Indonesia

\*Corresponding authors at: E-mail [tatengsukendar@gmail.com](mailto:tatengsukendar@gmail.com) (Tateng) Tel.: +62183-1713-7774

## INFO ARTIKEL

### Riwayat artikel:

Diajukan pada 10 Mei 2024

Direvisi pada 04 Juli 2024

Disetujui pada 30 Juli 2024

Tersedia daring pada 05 September 2024

### Kata kunci:

Energi keberlanjutan, indikator, kebijakan

### Keywords:

Energy sustainability, indicators, policy

## ABSTRAK

Informasi ilmiah yang berbasis keberlanjutan energi dibutuhkan saat ini untuk menentukan langkah kebijakan pemerintah dalam menghadapi krisis global. Kebijakan dan tujuan keberlanjutan energi dalam hal ini harus tepat. Tujuan penelitian ini adalah menyajikan, menyelidiki dan mengembangkan berbagai indikator baru dalam menentukan langkah kebijakan terhadap keberlanjutan energi. Setelah meninjau semua indikator, tujuh di antaranya dipilih dalam penelitian ini. Semua data indikator dikumpulkan dan dianalisis menggunakan metode analisis korelasi untuk mendapatkan indikator kuat dan lemah, sehingga tahap terakhir dapat ditentukan langkah kebijakan. Hasil analisis menunjukkan data tahun 2022 lebih baik dibandingkan data tahun sebandingnya dengan indikator kebijakan pada rentang angka 1 sebagai korelasi positif yang sangat kuat untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil dan menggantinya dengan energi terbarukan, sehingga pemerintah dan para ahli energi harus memiliki perencanaan yang matang untuk menerapkan kebijakan yang telah ditetapkan dengan memperhatikan keseimbangan perekonomian, keamanan pasokan energi, dan pelestarian fungsi lingkungan untuk meningkatkan kesejahteraan dimasa depan.

## ABSTRACT

*It is now necessary to gather scientific data on energy sustainability in order to formulate government strategy in response to the worldwide problem. In this instance, energy sustainability objectives and strategies must be suitable. This study aims to present, explore, and create new indicators to help guide policy decisions towards energy sustainability. Seven of the indicators were chosen for this study after all of them were reviewed. In order to identify strong and weak indicators and develop the appropriate policy measures at the end of the process, all indicator data were gathered and examined using the correlation analysis approach. As a result, the government and energy experts need to carefully plan how to implement the policies that have been set, taking into account the stability of the economy, the security of the energy supply, and the preservation of environmental functions in order to improve future welfare. The analysis results show that the 2022 data is better than the comparable year data with policy indicators in the range of 1 as a very strong positive correlation to reduce the use of fossil fuels and replace them with renewable energy*

## 1. PENGANTAR

Energi sangat dibutuhkan dalam semua aktivitas manusia terutama untuk kegiatan perekonomian, sosial, rumah tangga, Industri, bisnis dan transportasi (Setyono dkk., 2019). Indonesia memiliki potensi sumber daya alam yang berlimpah dan banyak potensi energi terbarukan dan tak terbarukan dari minyak dan produk energi fosil lainnya (Silitong dkk., 2020). Namun kenyataannya, kebutuhan energi Indonesia yang terus meningkat tidak lagi dapat dipenuhi oleh pasokan energinya. Fenomena ini disebabkan oleh meningkatnya populasi penduduk dan penurunan produksi energi nasional secara bertahap, serta penurunan sumber daya cadangan negara. Selain itu, sumber daya energi fosil seperti gas alam, batu bara, dan minyak bumi masih digunakan sebagai bahan bakar di Indonesia (Faisal dkk., 2021), meskipun pada hakikatnya dapat menyebabkan kekurangan sumber energi dan krisis energi global akibat peningkatan pemanasan global (Fajar dkk., 2023). Oleh karena itu, perlu adanya Energi Baru Terbarukan (EBT) sebagai sumber energi alternatif untuk menjamin keberlanjutan energi di masa mendatang dan memiliki dampak rendah kerusakan terhadap lingkungan.

Ketahanan energi suatu negara dapat dicirikan dengan memiliki kemampuan untuk beradaptasi terhadap perubahan energi dan kemandirian dalam menjaga ketersediaan energi domestik untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat secara keseluruhan. Peran pemerintah dan kelembagaan sangat penting baik di tingkat pusat, daerah, maupun lintas sektoral dan antar daerah dalam menentukan

langkah kebijakan dimasa depan. Pemecahan masalah intensitas energi produksi dan pasokan perekonomian adalah syarat utama untuk pembangunan negara yang stabil dan proporsional yang mengacu pada Peraturan Pemerintah Nomor 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN). Kegagalan untuk memenuhinya merupakan ancaman terhadap keamanan ekonomi dan ketahanan energi nasional. Analisis ekonomi dan statistik berbasis ilmiah, relevan, dan optimalisasi keseimbangan energi negara adalah kunci keberhasilan kebijakan efisiensi energi. Kompleksitas bahan bakar dan energi, kondisinya, peluangnya, dan prospek pembangunan serta efektivitas kebijakan energi negara mempengaruhi perekonomian negara dan kondisi pembangunan berkelanjutan.

Untuk mencapai keberlanjutan energi diperlukan indikator tertentu dan pemantauan rutin terhadap dampak strategi dan kebijakan yang dipilih (Razmjoo dkk., 2019). Indikator yang tepat dan relevan dapat membantu meringankan masalah tersebut sebagai solusi menghadapi krisis energi dimasa depan. Oleh sebab itu, indikator keberlanjutan energi dapat digunakan sebagai alat yang kuat oleh pemerintah untuk menilai tingkat keberlanjutan dari berbagai wilayah terhadap semua sektor seperti; ekonomi, bisnis, sosial, industri, transportasi dan energi. Karena itu, faktor kemandirian energi sangat penting untuk menjamin keamanan ekonomi nasional, kemandirian ekonomi, dan kemandirian politik. Kemampuan suatu negara untuk membuat dan menerapkan kebijakan secara mandiri menghindari pengaruh dan tekanan dari luar dan dalam.

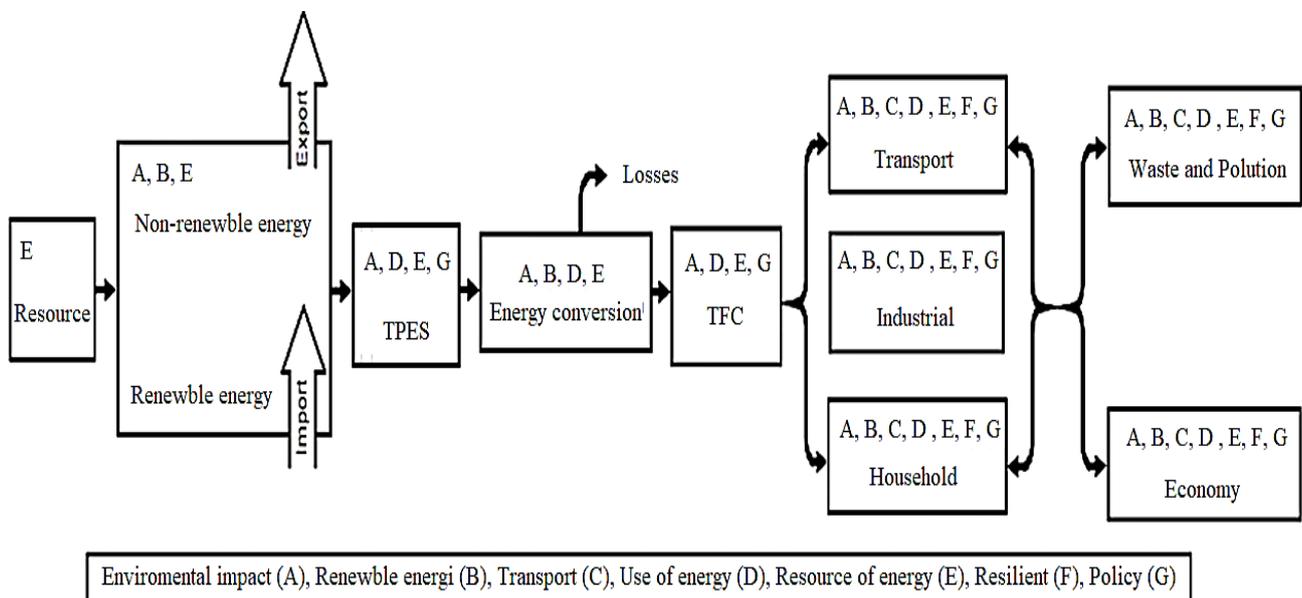
Penelitian sebelumnya telah mempelajari pemanfaatan energi surya untuk mendukung ketahanan energi nasional, Dimana potensi sumber energi surya di Indonesia sangat besar dan dapat digunakan sebagai alternatif untuk pemenuhan energi listrik (Subarjo dkk., 2020). Potensi energi terbarukan Indonesia memiliki potensi yang sangat besar termasuk energi panas bumi, air, angin, bioenergi (seperti bioetanol, biodiesel, dan biomassa), energi arus laut, energi nuklir, dan energi surya yang dapat dimanfaatkan sepenuhnya di setiap wilayah Indonesia (Hakim dkk., 2020). Penelitian menggunakan teori trilemma energi menunjukkan bahwa transisi ke energi terbarukan tidak hanya bertujuan untuk mencapai keseimbangan dalam hal keberlanjutan lingkungan, tetapi juga mencakup penggunaan energi terbarukan yang produktif untuk meningkatkan kesejahteraan dan kemakmuran secara proporsional (Wardhana dkk., 2021). Analisa menggunakan konsep Triple Helix dalam pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) tidak mendapatkan dukungan yang cukup dari pemerintah (Agung, 2022). Pengaruh indikator kebijakan yang tepat di Provinsi Banten dapat memecahkan permasalahan terhadap pengaruh penggunaan bahan bakar fosil sebagai upaya menurunkan emisi karbon dan pemanasan global (Zulkarnaini dkk., 2024)

Berdasarkan uraian di atas, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis model indikator energi dalam menentukan langkah kebijakan yang didasarkan pada potensi energi baru terbarukan dan berkelanjutan. Data yang digunakan untuk analisis ini berdasarkan dari Badan Pusat Statistik Indonesia dari data tahun 2018 hingga 2022 dan literatur relevan yang terkait. Tujuh indikator digunakan sebagai model untuk menentukan langkah yang harus diambil dalam sistem energi baru terbarukan yang mandiri dan berkelanjutan. Penelitian ini diharapkan dapat berfungsi sebagai bahan analisis energi dalam pembuatan perencanaan untuk ketahanan energi nasional di masa depan.

## 2. METODE

### 2.1. Metode penelitian

Metode penelitian ini menggunakan analisis korelasi untuk evaluasi dan mengidentifikasi dua variabel atau kumpulan data statistik yang digunakan dalam menentukan kekuatan hubungan antara dua variabel kontinu yang diukur secara numerik. Langkah pertama semua indikator energi yang terkait diselidiki dan dipilih indikator yang tepat sebagai bahan kajian. Selanjutnya tujuh indikator energi dipilih untuk dievaluasi berdasarkan data Badan Pusat Statistik Indonesia dari data tahun 2018 hingga 2022. Pada tahap ini semua data dianalisis secara korelasi untuk mendapatkan nilai indikator energi yang kuat dan lemah sebagai bahan studi menyikapi permasalahan ketahanan energi dimasa depan. Langkah selanjutnya, dilakukan uji sebelum normalisasi untuk mendapatkan rentang angka 0 dan 1, dimana angka 0 sebagai indikator lemah dan angka 1 sebagai indikator kuat. Tahap terakhir setelah perhitungan hasil analisis uji normalisasi didapatkan indikator yang relevan dalam menentukan langkah kebijakan dari setiap data tahun dalam pengembangan keberlanjutan energi yang bertujuan untuk meningkatkan pembangunan infrastruktur dan kesejahteraan masyarakat luas. Berikut sketsa indikator energi diperlihatkan pada Gambar 1 (Armin Razmjoo dkk., 2019).



Gambar 1: Skema indikator energi

## 2.2. Pelaksanaan penelitian dan sumber data

Pelaksanaan penelitian dilakukan pada tanggal 1 Oktober 2023 sampai dengan 1 Desember 2023 di Badan Pusat Statistik Indonesia di Jl. Dr. Sutomo 6–8, Jakarta Pusat 10710. Sumber data penelitian didapatkan berdasarkan informasi baik secara lisan, internet, dan tertulis dari sumber yang relevan. Keterbatasan data menjadi cacatan penting dalam penelitian ini, sehingga sumber data yang dapat disajikan dipilih dari data tahun 2018 hingga 2022.

## 2.3. Ketahanan energi nasional

Berdasarkan PP No 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) didefinisikan sebagai kondisi di mana energi tersedia dan dapat diakses oleh masyarakat dengan harga yang terjangkau dalam jangka panjang dengan tetap memperhatikan perlindungan lingkungan hidup. Hal tersebut juga tertuang dalam UU Energi No. 30 tahun 2007, Nawa Cita, RPJMN 2015–2019, dan Permen No. 12 tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik, ketahanan energi telah ditetapkan sebagai salah satu prioritas pembangunan nasional. Pemerintah juga telah berupaya dalam memenuhi kebutuhan energi. Namun hal ini sangat dipengaruhi oleh pertumbuhan penduduk yang tidak terkendali dan dapat mengakibatkan tidak tercapainya tujuan pembangunan ekonomi yaitu kesejahteraan rakyat (Fathurohman dkk., 2022). Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Nasional jumlah populasi penduduk di tahun 2018 sebesar 267,07 juta jiwa (BPS, 2018). Setiap tahunnya terus mengalami kenaikan yang signifikan, tercatat di tahun 2022 mencapai 275,77 juta jiwa (BPS, 2022). Hal ini tentu saja akan sangat mempengaruhi penggunaan dan ketersediaan energi baru terbarukan dalam menghadapi tantangan ketahanan energi nasional dimasa akan datang. Sumber data penelitian berdasarkan data Badan Pusat Statistik Nasional selama kurun waktu tahun 2018 sampai dengan 2022 serta beberapa sumber yang relevan ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1:** Ketahanan Energi Nasional Tahun 2018 - 2022

Indikator	2018	2019	2020	2021	2022	Unit
AE	263,09	266,48	263,57	250,21	253,71	Thousand of population
AREE	9805,00	10300,00	10507,00	11537,00	12603,00	MW
TCO <sub>2</sub>	594,10	650,91	605,98	615,92	728,88	MT of CO <sub>2</sub>
EEX	1970,92	2219,70	2862,58	1806,42	4039,28	Ktoe
EIM	3951,50	3462,06	2790,06	3092,18	3900,54	Ktoe
ELC	234618,00	245518,00	243583,00	257634,00	273761,00	MWh
GDP	1483,90	1583,30	1543,80	1697,70	1958,80	Million Rupiahs
LA	1916,82	1916,91	1916,91	1916,91	1916,91	Thousand Km <sup>2</sup>
LE	7131,35	7993,20	7101,52	6951,08	7993,20	Ktoe
POP	267,07	269,58	271,86	273,75	275,77	Million People
RIFR	75,59	74,88	74,26	73,65	73,06	Km <sup>2</sup>
TEP	447956,79	458282,79	424326,20	446660,68	458282,79	Ktoe
TEPR	15918,98	19524,02	19749,42	20351,04	19524,02	Ktoe
TFC	131391,91	141688,75	128312,35	129387,57	165977,75	Mtoe
TFCC	6104,31	6376,25	5908,63	6152,67	6950,86	Ktoe
TFCET	23,56	25,88	25,11	27,26	27,26	Ktoe
TFCFFT	55929,30	57823,78	50958,18	54351,36	59975,30	Ktoe
TFCI	46163,12	54401,60	47840,43	44712,03	74865,16	Ktoe
TFCR	21270,82	2150,54	22145,82	22634,02	22607,52	Ktoe
TFCT	55952,80	57849,68	36416,58	388417,95	428606,22	Ktoe
TFFP	3044940,00	3133991,10	2889834,20	3045069,00	3133991,10	Ktoe
TPES	30113,39	31869,17	29653,63	30384,76	35899,73	Ktoe
TREP	15918,98	19524,02	19749,42	20351,04	19524,02	Ktoe

## 2.4. Indikator Penelitian

Untuk menganalisis data energi yang disajikan diperlukan indikator sebagai bahan acuan analisis mendalam. Indikator adalah alat efektif untuk membantu pemerintah dan para ahli energi dalam mengukur keberlanjutan energi dimasa depan, sehingga dapat memperbaiki kelemahan sistem energi tertentu untuk meningkatkan kesejahteraan dan pembangunan infrastruktur kepada masyarakat luas. Berikut indikator yang efektif terkait keberlanjutan energi yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan pada Tabel 2 (Armin Razmjoo dkk., 2019).

**Tabel 2:** Indikator Energi

Kode	Singkatan	Kode	Singkatan
AE	Acces to Electricity	TEPR	Total Energy Production from RE
AREE	Amount of RE in Electricity Production	TFC	Total Consumption
TCO <sub>2</sub>	Total CO <sub>2</sub> Emission	TFCC	Total Consumption in Commercial
EEX	Energy Export	TFCET	Total Consumption of Electricity in Transport
EIM	Energy Import	TFCFT	Total Consumption of Fossil Fuel in Transport
ELC	Electricity Consumption	TFCI	Total Consumption in Industry
GDP	Gross Domestic Product	TFCR	Total Consumption in Residential
LA	Land Area	TFCT	Total Consumption in Transportation
LE	Loss of Energy	TFFP	Total Final Fossil Production
POP	Population	TPES	Total Primary Energy Supply
RIFR	Renewable Internal Freshwater Resources	TREP	Total RE Production
TEP	Total Energy Production	WAP	Waste and Pollution
TFCFFT	Total Consumption of Fossil Fuel in Transport	RE	Renewable Energy

Studi ini juga menyajikan indikator-indikator efektif terkait energi keberlanjutan di Indonesia. Dimana indikator yang disajikan akan dikategorikan menjadi beberapa kelompok indikator untuk mempermudah dalam menganalisis ketahanan energi tersebut. Salah satu alasan utama untuk memilih kelompok indikator adalah indikator dapat memainkan peran penting dalam sebagian besar kehidupan, meningkatkan kesejahteraan global dan kualitas hidup dimasa depan. Kelompok indikator energi ditunjukkan pada Tabel 3.

**Tabel 3:** Kelompok Indikator Energi

Kelompok Indikator	Rumus Sub-Indikator
<i>Environmental Impact</i>	$TCO_2/POP, TCO_2/GDP, TCO_2/TPES, TCO_2$
<i>Renewable Energy</i>	TEPR, AREE/TEPR, TREP/TEP, TEP
<i>Transport</i>	TFCFT/TFCT, TFCET/TFCT, TFCT
<i>Use of energy</i>	TFCL/GDP, LE/TPES, TFCL/POP, TFCR/POP, TFCC/POP, TES/GDP, ELC/POP
<i>Resource of Energy</i>	TREP/TEP, TEP, TFFP/TEP
<i>Resource of Energy</i>	AE, RIFR, POP/LA
<i>Policy</i>	EEX/EIM, GDP/POP

Tabel 3 merupakan kelompok indikator yang telah dipilih untuk menentukan langkah yang akan menjadi prioritas utama dalam menentukan kebijakan terhadap keberlanjutan energi. Tujuh indikator yang dipilih kemudian dibuat perumusan berdasarkan kategori yang terkait dari indikator tersebut untuk mendapatkan nilai akhir yang akan dipilih dalam menentukan langkah kebijakan dimasa depan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Korelasi Indikator Berdasarkan Kategori

Metode korelasi dan normalisasi angka yang diperoleh digunakan untuk mencapai hasil yang lebih baik. Berdasarkan Tabel 3, untuk mencapai keberlanjutan energi diperlukan ukuran yang berbeda berdasarkan indikator terkait dan kemudian didapatkan hasil utama. Koefisien korelasi mempunyai rentang angka antara -1 dan 1 sebagai korelasi negatif kuat dan normalisasi adalah rentang angka antara 0 dan 1. Untuk mendapatkan nilai korelasi tersebut dapat menggunakan Persamaan 1.

$$r_{(x,y)} = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}} \tag{1}$$

Dimana  $n$  adalah  $\bar{x}$  dan  $\bar{y}$  adalah rata-rata sampel (*array*1). Berdasarkan Tabel 3, selanjutnya data dimasukkan menggunakan *software* Excel. Hasil analisis hubungan antara indikator sebelum normalisasi ditunjukkan pada Tabel 4.

**Tabel 4:** Indikator Sebelum Normalisasi

Indikator	2018	2019	2020	2021	2022	Unit
TCO <sub>2</sub> /POP	2,22	2,41	2,23	2,25	2,64	Mt CO <sub>2</sub> /capita
TCO <sub>2</sub> /GDP	0,400	0,411	0,393	0,363	0,372	Mt CO <sub>2</sub> /Bilion IDR
TCO <sub>2</sub> /TPES	19,73	20,42	20,44	20,27	20,30	Milliar ton of CO <sub>2</sub>
TCO <sub>2</sub>	594,10	650,91	605,98	615,92	728,88	Mt CO <sub>2</sub>
TEPR	15918,98	19524,02	19749,42	20351,04	19524,02	Ktoe
AREE/TEPR	0,62	0,53	0,53	0,57	0,65	Ktoe
TFCFT/TFCT	0,9996	0,9996	1,3993	0,1399	0,1399	Ktoe
TFCT/TFCT	0,000421	0,000447	0,000689	0,000070	0,000064	Ktoe
TFCT	55952,80	57849,68	36416,58	388417,95	428606,22	Ktoe
TFC/GDP	88,54	89,49	83,11	76,21	84,73	Ktoe
LE/TPES	0,24	0,25	0,24	0,23	0,22	Ktoe
TFCL/POP	172,85	201,80	175,97	163,33	271,47	Ktoe
TFCR/POP	79,65	7,98	81,46	82,68	81,98	Ktoe
TFCC/POP	22,86	23,65	21,73	22,48	25,20	Ktoe
TPES/GDP	20,29	20,13	19,21	17,90	18,33	Ktoe
ELC/POP	878,49	910,74	895,99	941,13	992,70	Ktoe
TREP/TEP	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	Ktoe
TFFP/TEP	6,80	6,84	6,81	6,82	6,84	Ktoe
TEP	447956,79	458282,79	424326,20	446660,68	458282,79	Ktoe
AE	263,09	266,48	263,57	250,21	253,71	Thousand of population
RIFR	75,59	74,88	74,26	73,65	73,06	Ha
POP/LA	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	sq. km
EEX/EIM	0,50	0,64	1,03	0,58	1,04	Mtoe
GDP/POP	5,56	5,87	5,68	6,20	7,10	Billion IDR/capita

Berdasarkan Tabel 4, untuk mencapai tujuan setiap sub-indikator yang berhubungan dengan ketujuh indikator harus dibagi menjadi beberapa sub-indikator lagi sebelum melakukan langkah korelasi utama. Pada tahap ini hasil analisa masih harus dilakukan perhitungan dengan uji normalisasi untuk mendapatkan rentang nilai 0 dan 1 sebagai indikator kuat dan lemah. Terkait tabel diatas terhadap tujuh indikator yang dipilih, dijelaskan pada tahap ini untuk mencari nilai indikator menggunakan nilai korelasi antar indikator, yaitu:

#### 1. Dampak Lingkungan (*Environmental Impact*)

Empat sub-indikator dipilih terkait dengan indikator dampak lingkungan, selanjutnya dengan menggunakan kode kelompok indikator digunakan untuk memudahkan melakukan perhitungan. Adapun kode indikator tersebut antara lain: A= TCO<sub>2</sub> (*Total CO<sub>2</sub> Emission*) / TPES (*Total Primary Energy Supply*) yang artinya total emisi karbon dibagi dengan total pasokan energi primer; B= TCO<sub>2</sub> (*Total CO<sub>2</sub> Emission*) / POP (*Population*) yang artinya total emisi karbon dibagi dengan jumlah populasi penduduk; C = TCO<sub>2</sub> (*Total CO<sub>2</sub> Emission*) / GDP (*Gross Domestic Product*) yang artinya total emisi karbon dibagi dengan jumlah produk domestik bruto; D = TCO<sub>2</sub> (*Total CO<sub>2</sub> Emission*) merupakan total emisi karbon yang terjadi. Selanjutnya setiap kode sub-indikator dikolerasikan sebelum tahap normalisasi. Hasil korelasi indikator dampak lingkungan ditunjukkan pada Tabel 5.

**Tabel 5:** Hasil Analisis Korelasi Indikator Dampak Lingkungan (*Environmental Impact*)

Correlation Number					
A-B	A-C	A-D	B-C	B-D	C-D
0,324	-0,128	0,374	-0,190	0,993	-0,293

Tabel 5 menunjukkan bahwa total emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia sangat dipengaruhi oleh naik turunnya jumlah populasi sebesar 0,993. Peningkatan populasi terjadi karena adanya peningkatan dalam konsumsi barang dan layanan, yang pada gilirannya dapat menghasilkan peningkatan penggunaan emisi karbon yang membutuhkan sumber energi fosil. Pemerintah harus tepat dalam menentukan langkah kebijakan dalam mengatasi permasalahan ini di masa depan.

## 2. Energi Terbarukan (*Renewable Energy*)

Tiga sub-indikator dipilih terkait analisis nilai indikator energi terbarukan dengan menggunakan kode indikator sebagai berikut; A = TEPR (*Total Energy Production from Renewable Energy*) artinya total produksi energi dari energi terbarukan; B = AREE (*Amount of Renewable Energy in Electricity Production*) / TEPR (*Total Energy Production from Renewable Energy*) yang artinya total produksi energi dari energi terbarukan dibagi dengan total produksi energi dari energi terbarukan; C = TREP (*Total Energy Production from Renewable Energy*) / TEP (*Total Energy Production*) artinya total produksi energi dari energi terbarukan dibagi dengan total produksi energi; D = TEP (*Total Energy Production*). Hasil kode sub-indikator energi terbarukan yang telah dikorelasikan ditunjukkan pada Tabel 6.

**Tabel 6:** Hasil Analisis Korelasi Indikator Energi Terbarukan (*Renewable Energy*)

Correlation Number					
A-B	A-C	A-D	B-C	B-D	C-D
-0,430	0,946	-0,088	-0,539	0,443	-0,406

Tabel 6 menunjukkan hubungan total energi terbarukan di Indonesia sangat kecil hanya sebesar -0,406. Artinya pemakaian energi terbarukan masih sangat rendah meskipun pemakaian energi secara total energi sangat besar yaitu sebesar 0,946, artinya energi terbarukan sangat signifikan dan dibutuhkan. Indonesia harus berusaha untuk meningkatkan produksi energi terbarukan dimasa yang akan datang.

## 3. Transportasi (*Transport*)

Indikator transportasi dapat mempengaruhi penggunaan energi dan dapat menimbulkan emisi karbon, sehingga penting pemerintah membuat kebijakan yang pasti terkait penggunaan energi terbarukan. Analisis nilai indikator transportasi dapat menggunakan kode kelompok indikator berikut; A = TFCFT (*Total Final Consumption of Fossil Fuel in Transport*) / TFCT (*Total Final Consumption in Transport*) artinya total konsumsi akhir bahan bakar fosil dalam transportasi dibagi dengan total konsumsi akhir dalam transportasi; B = TFCET (*Total Final Consumption of Electricity in Transport*) / TFCT (*Total Final Consumption in Transport*) artinya total konsumsi akhir listrik dalam transportasi dibagi dengan total konsumsi akhir dalam transportasi; C = TFCT (*Total Final Consumption in Transport*). Hasil korelasi antara kode sub-indikator transportasi ditunjukkan pada Tabel 7.

**Tabel 7:** Hasil Analisis Korelasi Indikator Transportasi (*Transport*)

Correlation Number		
A-B	A-C	B-C
0,994	-0,967	-0,935

Tabel 7 menunjukkan bahwa masalah transportasi sangat berkaitan sekali dengan pemakaian energi baik energi fosil maupun energi listrik yaitu sebesar 0,994. Namun, berdasarkan data tersebut penggunaan energi fosil dan energi listrik untuk transportasi ada hubungan kuat bernilai negatif yang artinya penggunaan energi terbarukan dapat mempengaruhi pengurangan emisi karbon di bidang transportasi.

## 4. Penggunaan Energi (*Use of energy*)

Untuk menentukan nilai indikator penggunaan energi dapat menggunakan kode kelompok indikator sebagai berikut; A = TFCI (*Total Final Consumption in Industry*) / GDP (*Gross Domestic Product*) yang artinya total konsumsi akhir di industri dibagi dengan produk domestik bruto; B = LE (*Loss of Energy*) / TPES (*Total Primary Energy Supply*) yang artinya energi yang hilang dibagi dengan total pasokan energi primer; C = TFCI (*Total Final Consumption in Industry*) / POP (*Population*) yang artinya total konsumsi akhir di industri dibagi dengan jumlah populasi penduduk; D = TFCR (*Total Fuel Consumption in Residential*) / POP (*Population*) yang artinya total konsumsi bahan bakar di perumahan dibagi dengan jumlah populasi penduduk; E = TFCC (*Total Final Consumption in Commercial*) / POP (*Population*) yang artinya total konsumsi akhir dalam komersial dibagi dengan jumlah populasi penduduk; F = TPES (*Total Primary Energy Supply*) / GDP (*Gross Domestic Product*) yang artinya total konsumsi akhir dalam komersial dibagi dengan jumlah produk domestik bruto; G = ELC (*Electricity Consumption*) / POP (*Population*) yang artinya penggunaan energi listrik dibagi dengan jumlah populasi penduduk. Hasil korelasi indikator penggunaan energi ditunjukkan pada Tabel 8.

**Tabel 8:** Hasil Analisis Indikator Penggunaan Energi (*Use of energy*)

Correlation Number						
A-B	A-C	A-D	A-E	A-F	A-G	B-C
-0,409	-0,798	-0,355	0,782	-0,712	0,568	-0,053
B-D	B-E	B-F	B-G	C-D	C-E	C-F
0,923	-0,232	0,782	0,271	-0,193	-0,533	0,186
C-G	D-E	D-F	D-G	E-F	E-G	F-G
-0,561	-0,138	0,741	0,334	-0,759	0,873	-0,356

Tabel 8 menunjukkan bahwa penggunaan sumber energi listrik berpengaruh sangat besar yaitu sebesar 0,873, hal ini dikarenakan dampak Covid 19 yang cukup lama sehingga terjadi *loss of energy* dalam konsumsi energi khususnya di sektor rumah tangga yang

aktifitasnya hanya dilakukan di rumah. Kebutuhan akan energi listrik sangat penting dalam melakukan aktifitas dan kelangsungan hidup manusia diseluruh dunia.

5. Sumber Daya Energi (*Resource of Energy*)

Analisis nilai indikator sumber daya energi dapat menggunakan kode kelompok indikator berikut; A = TREP (*Total Energy Production From Renewable Energy*) / TEP (*Total Energy Production*), artinya total produksi energi dari energi terbarukan dibagi dengan total produksi energi; B = TEP (*Total Energy Production*); C = TFFP (*Total Final Fossil Production*) / TEP (*Total Energy Production*), artinya total produksi fosil akhir dibagi dengan total produksi energi. Hasil analisis korelasi indikator sumber daya energi ditunjukkan pada Tabel 9.

**Tabel 9:** Hasil Analisis Indikator Sumber Daya Energi (*Resource of Energy*)

Correlation Number		
A-B	A-C	B-C
0,368	-0,406	0,616

Tabel 9 menunjukkan bahwa total produksi energi di Indonesia dari tahun 2018-2022 hanya mencapai 0,616%. Hal ini dipengaruhi oleh energi fosil dan energi terbarukan yang relatif kecil, sehingga untuk mendukung total produksi di Indonesia tidak memiliki kontribusi yang signifikan.

6. Ketahanan (*Resiliency*)

Analisis nilai indikator ketahanan dapat menggunakan kode kelompok indikator berikut; A = AE (*Acces to Electricity*) adalah akses sumber energi listrik yang digunakan; B = RIFR (*Renewable Internal Freshwater Resources*) adalah sumber daya air tawar terbarukan yang digunakan sebagai sumber energi listrik; C = ELC (*Electricity consumption*) / POP (*Population*), artinya jumlah energi listrik yang dikonsumsi dibagi dengan jumlah penduduk; D = POP (*Population*) / LA (*Land Area*) yang artinya jumlah populasi penduduk dibagi dengan luas area untuk mendapatkan nilai kebutuhan energi yang dibutuhkan. Hasil korelasi indikator sumber daya energi ditunjukkan pada Tabel 10.

**Tabel 10:** Hasil Analisis Indikator Ketahanan (*Resiliency*)

Correlation Number					
A-B	A-C	A-D	B-C	B-D	C-D
0,775	-0,734	-0,764	-0,905	-1,000	0,896

Tabel 10 menunjukan bahwa penggunaan energi listrik sangat berkaitan sekali dengan luas area dan jumlah penduduk, sehingga semakin tinggi populasi maka semakin berkurang penyediaan air mineral dan akses listrik yang disediakan. Hal ini dipengaruhi oleh pertumbuhan penduduk yang semakin tinggi, sehingga pemerintah perlu penganganan yang lebih serius dalam memenuhi ketersediaan energi listrik dan air mineral dimasa mendatang.

7. Kebijakan (*Policy*)

Analisis nilai indikator kebijakan dapat menggunakan kode kelompok indikator berikut; A = EEX (*Energy import*) / EIM (*Energy export*) yang artinya energi masuk (impor) dibagi dengan energi keluar (ekspor); B = GDP (*Gross Domestic Product*) / POP (*Population*) yang artinya jumlah produk domestik bruto dibagi dengan jumlah populasi. Hasil korelasi indikator kebijakan ditunjukkan pada Tabel 11.

**Tabel 11:** Hasil Analisis Indikator Kebijakan (*Policy*)

Correlation Number
A-B
0,498

Tabel diatas menunjukkan indikator EEX/EIM dan GDP/POP korelasinya bernilai medium, hal ini mengindikasikan bahwa kondisi ekonomi Indonesia relative stabil meskipun dipengaruhi faktor ekspor dan impor. Selain itu, turun dan naiknya populasi di Indonesia tidak mempengaruhi nilai ekspor dan impor Indonesia.

3.2. Hasil analisis korelasi indikator sebelum normalisasi

Untuk menentukan angka hasil diperlukan kesamaan data, oleh karena itu dilakukan proses normalisasi data indikator. Metode preprocessing data yang dikenal sebagai normalisasi melibatkan transformasi data awal ke dalam format yang berbeda dengan penskalaan data. Tujuan dari proses ini adalah untuk mendapatkan data yang lebih sesuai untuk pemodelan dan analisis. Normalisasi data dapat membantu mencegah rentang data awal yang besar agar tidak melebihi data dengan rentang awal yang lebih kecil dengan memberikan semua data yang sama. Rentang angka baru yang digunakan umumnya adalah (0, 1) atau (-1, 1) dapat dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$X_m = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \tag{2}$$

Dimana:

- $X_m$  = nilai indikator
- x = bilangan baru
- $X_{min}$  = angka minimum
- $X_{max}$  = angka maksimum

Ketika indikator memiliki nilai yang besar dan perlu diatur secara merata dengan perhitungan. Untuk mendapatkan hasil perhitungan dapat dihitung menggunakan Persamaan (3).

$$V = \frac{V_{act} - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \quad (3)$$

Dimana:

- V = nilai indikator
- $V_{act}$  = indikator aktual setiap data tahun
- $V_{max}$  = nilai maksimum dari indikator
- $V_{min}$  = nilai minimum dari indikator

Semua data indikator berdasarkan masing-masing data tahun secara terpisah harus dievaluasi untuk mendapatkan hasil yang logis dari penelitian ini. Dua tujuan utama yang dihasilkan pada tahap ini. Pertama, menggunakan indikator tersebut untuk menunjukkan kinerja setiap data setiap tahun dan kedua mengumpulkan bagian data setiap tahun yang lemah dan kuat, hasilnya adalah analisis indek indikator dalam satuan dimensi fraksi, "1" yang ditunjukkan pada Tabel 12.

**Tabel 12.** Hasil Analisis Indikator Setelah Normalisasi

Indikator	Tahun				
	2018	2019	2020	2021	2022
CO <sub>2</sub> /POP	0,0	0,5	0,0	0,1	1,0
CO <sub>2</sub> /GDP	0,8	1,0	0,6	0,0	0,2
T CO <sub>2</sub>	0,0	1,0	1,0	0,8	0,8
CO <sub>2</sub> /TPES	0,0	0,4	0,1	0,2	1,0
TEPR	0,0	0,8	0,9	1,0	0,8
AREE/TEPR	0,7	0,0	0,0	0,3	1,0
TFCFT/TFCT	0,7	0,7	1,0	0,0	0,0
TFCEI/TFCT	0,6	0,6	1,0	0,0	0,0
TFCT	0,0	0,1	0,0	0,9	1,0
LE/TPES	0,9	1,0	0,5	0,0	0,6
TFPI/POP	0,5	1,0	0,6	0,2	0,0
TFPI/POP	0,1	0,4	0,1	0,0	1,0
TFCC/POP	1,0	0,0	1,0	1,0	1,0
TPES/GDP	0,3	0,6	0,0	0,2	1,0
ELC/POP	1,0	0,9	0,5	0,0	0,2
TREP/TEP	0,0	0,3	0,2	0,5	1,0
TFFP/TEP	0,0	0,6	1,0	0,9	0,6
TEP	0,0	1,0	0,3	0,5	1,0
AE	0,7	1,0	0,0	0,7	1,0
RIFR	0,8	1,0	0,8	0,0	0,2
POP/LA	1,0	0,7	0,5	0,2	0,0
EEX	0,0	0,3	0,5	0,8	1,0
GDP/POP	0,0	0,3	1,0	0,2	1,0

Tabel 12 hasil analisis korelasi setelah normalisasi dari indikator yang digunakan menunjukkan hasil yang signifikan, adanya persebaran angka 1 dan 0 pada setiap data tahun. Rentang data yang digunakan juga harus identik, seperti dapat dilihat rentang indikator normalisasi harus berada pada *range* 0 sebagai indikator lemah dan 1 sebagai indikator kuat yang digunakan dalam penelitian ini untuk memudahkan dalam menentukan indikator. Angka tersebut memudahkan untuk tahap akhir normalisasi, dimana semua angka harus bernilai 0 dan 1 sebagai indikator yang dipilih dalam menentukan langkah kebijakan untuk memperbaiki keberlanjutan energi serta mempertahankan ketahanan energi dimasa depan.

### 3.3. Hasil akhir korelasi

Analisis ini membantu memilih sub-indikator yang sesuai pada langkah akhir dan menunjukkan sub-indikator mana yang lebih dekat dengan keberlanjutan energi sebelum seleksi akhir. Sebelum penilaian akhir, langkah-langkah yang diambil untuk menganalisis korelasi untuk semua indikator yang ada. Teknik ini digunakan untuk setiap *array* dan dibandingkan satu sama lain sehubungan dengan indikator utama masing-masing dapat digunakan pada langkah pemilihan akhir. Tahap terakhir untuk mencapai hasil yang logis dalam studi ini, semua data setiap tahun harus dievaluasi berdasarkan setiap indikator secara terpisah, sehingga mendapatkan bagian yang lemah dan kuat dari data tersebut. Perhitungan akhir untuk setiap indikator dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan Persamaan 4.

$$U = \frac{\sum_{k=i}^n (1 - V_x) + \sum_{k=n+i}^n U_y}{N} \quad (4)$$

Dimana:

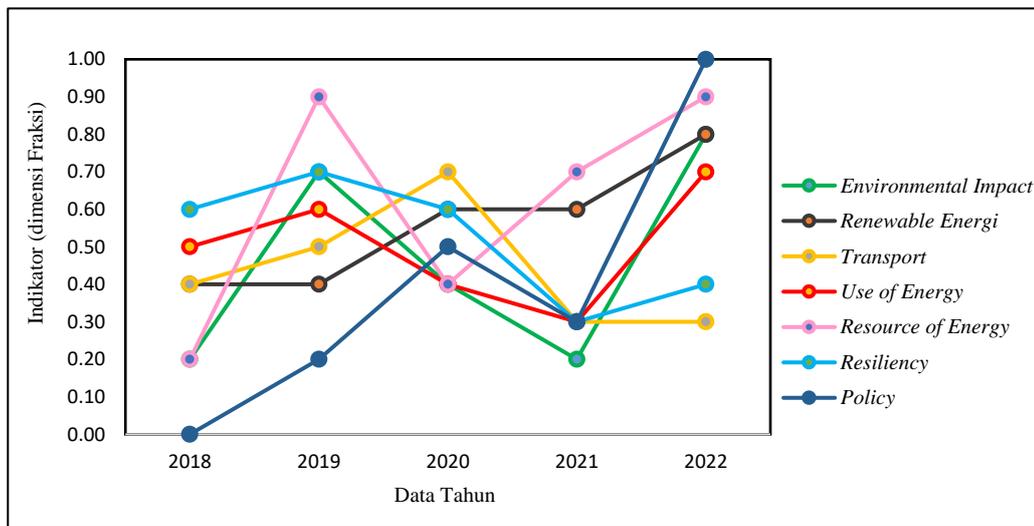
- N = jumlah indikator
- $1 - V_x$  = rasio indikator bernilai rendah.

Untuk indikator bernilai tinggi, tidak perlu menggunakan  $1 - V_x$  tetapi sebaliknya lebih baik menggunakan  $1 - V_x$  jika nilai untuk indikator memiliki nilai rendah. Selain itu, persamaan  $1 - V_x$  ini dapat dihitung tanpa mempertimbangkan -1 sebagai nilai korelasi negatif kuat dengan rentang angka  $-1 < r < 1$  dan angka 1 sebagai indikator kuat. Hasil analisis perhitungan akhir yang diperoleh setelah tahap normalisasi ditunjukkan pada Tabel 13.

**Tabel 13.** Hasil Analisis Perhitungan Akhir Indikator Setelah Normalisasi

Indikator	Tahun				
	2018	2019	2020	2021	2022
<i>Environment Impact</i>	0,2	0,7	0,4	0,2	0,8
<i>Renewable Energy</i>	0,4	0,4	0,6	0,6	0,8
<i>Transportation</i>	0,4	0,5	0,7	0,3	0,3
<i>Use of Energy</i>	0,5	0,6	0,4	0,3	0,7
<i>Resource of Energy</i>	0,2	0,9	0,4	0,7	0,9
<i>Resiliency</i>	0,6	0,7	0,6	0,3	0,4
<i>Policy</i>	0,0	0,2	0,5	0,3	1

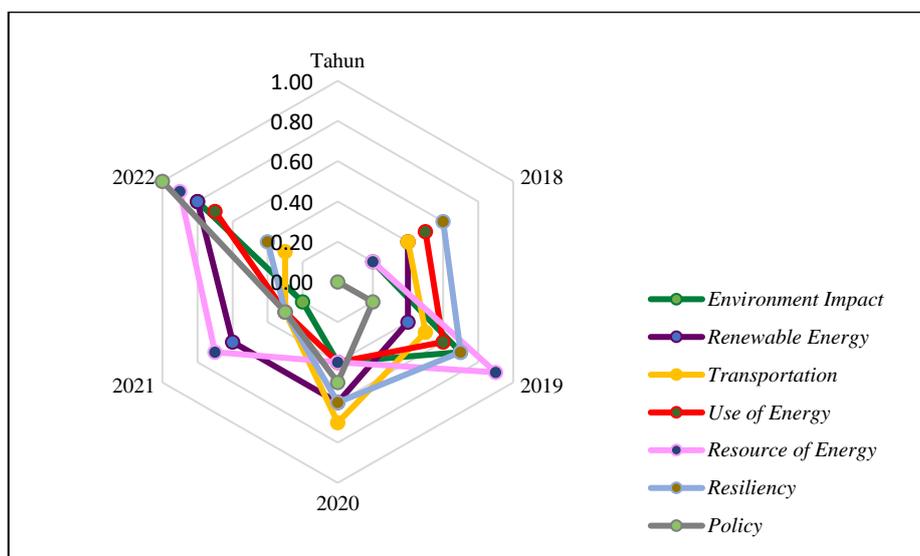
Hasil menunjukkan indikator kebijakan memiliki peran yang sangat penting dalam pengembangan dan peningkatan keberlanjutan energi. Data tahun 2022 merupakan data tahun terbaik dibanding dengan data tahun lainnya. Namun hubungan korelasi antara indikator yang lainnya mengalami ketidak sesuai terhadap penggunaan energi dan pemanfaatan energi dengan baik. Normalisasi harus berada di antara 0 dan 1, sehingga kisaran maksimumnya adalah 1 dan kisaran minimumnya adalah 0. Keputusan tentang kebijakan energi yang dibuat oleh pemerintah akan memainkan peran penting dalam pengambilan keputusan tentang keberlanjutan energi di masa depan. Kebijakan ini akan berfokus pada peningkatan pemanfaatan sumber daya dan transportasi publik, penurunan bertahap dalam penggunaan bahan bakar fosil, penggantian dengan energi terbarukan, peningkatan infrastruktur, ketahanan energi untuk kota dan pedesaan. Berikut grafik hasil akhir perhitungan diperlihatkan pada Gambar 2.



**Gambar 2:** Grafik hasil tahap akhir perhitungan normalisasi

Gambar 2 menunjukkan hasil analisis tujuh indikator keberlanjutan energi terhadap ketahanan energi nasional berdasarkan data dari tahun 2018 hingga 2022 dimana mengalami perubahan yang signifikan. Grafik diatas menunjukkan jumlah informasi dan indikator yang dikumpulkan untuk setiap data tahun. Indikator utama memiliki angka 0 dan 1 dan menunjukkan status indikator berdasarkan data dan analisis yang ada. Data tahun 2018 merupakan tahun kurang baik dibandingkan data tahun lainnya pada indikator kebijakan memiliki angka rentang 0 dan ini mempengaruhi beberapa indikator seperti dampak lingkungan, energi terbarukan rendah dan tingginya penggunaan bahan bakar fosil. Tingginya penggunaan bahan bakar fosil memberikan dampak negatif terhadap pencemaran udara. Hal ini perlu dilakukan perbaikan oleh pemerintah dalam menentukan langkah kebijakan dimasa depan. Berdasarkan grafik data hasil perhitungan tahun 2022, indikator kebijakan mengalami peningkatan yang cukup signifikan dengan rentang nilai 1 sebagai indikator kuat. Pemerintah telah melakukan berbagai langkah kebijakan untuk memperbaiki keberlanjutan energi. Namun, langkah ini akan semakin berat jika tidak ada dukungan dari masyarakat Indonesia untuk memahami dan beralih fungsi dalam penggunaan bahan bakar fosil.

Penelitian terkait juga telah dikaji berdasarkan data BPS tahun 2013 sampai dengan 2022. Hasil menunjukkan bahwa kebijakan yang tepat dapat membantu mencapai keberlanjutan energi dan merupakan salah satu komponen paling penting untuk meningkatkan dan mempertahankan sumber daya yang ada (Wibowo dkk., 2024). Hasil penelitian lain menunjukkan bahwa indikator kebijakan dengan angka rentang 1 menunjukkan korelasi positif yang signifikan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil dan menggantinya dengan energi terbarukan, sehingga para pembuat kebijakan dan ahli energi harus membuat perencanaan yang matang untuk menerapkan kebijakan yang telah ditetapkan dengan mempertimbangkan keseimbangan perekonomian, keamanan pasokan energi, dan pelestarian fungsi lingkungan (Zulkarnaini dkk., 2024). Analisis konseptual tahun 2023 menemukan bahwa jika pemerintah dan para ahli energi ingin mencapai keberlanjutan energi, mereka harus membuat perencanaan yang matang untuk menerapkan kebijakan yang telah ditetapkan (Fuad dkk., 2024). Beberapa kebijakan yang harus dilakukan, seperti; penurunan bertahap dalam penggunaan bahan bakar fosil dan penggantian dengan energi terbarukan; peningkatan perhatian pada pemanfaatan sumber daya yang tepat dan transportasi publik; peningkatan ketahanan energi dan infrastruktur untuk kota dan pedesaan; dan penggunaan teknologi baru untuk mengoptimalkan konsumsi dan mencegah kehilangan energi.



Gambar 3: Grafik data tahun hasil tahap akhir perhitungan normalisasi

Gambar 3 menunjukkan untuk setiap indikator, rentang angka 0 hingga 1 diberikan untuk setiap tahun dalam grafik ini, yang artinya menunjukkan status berdasarkan data dan analisis yang ada. Pada gambar ini, rentang angka 0 hingga 1 diberikan untuk setiap tahun, menunjukkan keadaan dari sudut pandang keberlanjutan energi pada tahun tersebut. Daftar indikator yang dibagi ini menunjukkan tindakan yang harus diambil oleh pemerintah. Menurut hasil penelitian, tahun 2022 berada di posisi yang lebih baik untuk indikator kebijakan dibandingkan tahun sebelumnya.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data indikator diatas dapat disimpulkan bahwa tahun 2022 adalah data tahun terbaik dibandingkan data tahun sebandingnya, pencapaian pada indikator kebijakan dengan rentang angka 1 sebagai indikator kuat yang artinya ketahanan energi Indonesia dimasa yang akan datang cenderung naik (berdasarkan grafik), namun hal ini tidak lepas dari pengaruh perkembangan ekonomi, kebijakan energi, teknologi baru, dan dinamika pasar global. Ketahanan energi Indonesia merupakan suatu tantangan dinamis yang memerlukan penyesuaian dan inovasi terus-menerus. Pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat harus bekerja sama untuk merancang dan melaksanakan kebijakan yang berkelanjutan dan adaptif agar dapat menghadapi tantangan di masa depan. Solusi yang tepat adalah pengurangan penggunaan bahan bakar fosil dan beralih dengan penggunaan energi terbarukan; peningkatan perhatian pada pemanfaatan sumber daya yang tepat khususnya transportasi publik; peningkatan ketahanan energi dan infrastruktur untuk kota dan pedesaan secara merata; serta penggunaan teknologi baru tepat guna untuk mengoptimalkan konsumsi untuk mencegah kehilangan energi.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada seluruh staf jajaran Badan Pusat Statistik Nasional yang telah memberikan kesempatan dan memberikan data dan informasi terkait penelitian ini, sehingga dapat diselesaikan dengan baik. Terima kasih juga kepada Dosen pembimbing dan seluruh Dosen Universitas Kristen Indonesia yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat dan telah meluangkan waktu.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Agung, R. (2022). Analisa Konsep Triple Helix Dalam Pengembangan PLTP Di Kamojang- Jawa Barat. *Jurnal Aliansi*, 2021(December 2021), 114–118.
- Armin Razmjoo, A., Sumper, A., & Davarpanah, A. (2019). Development of sustainable energy indexes by the utilization of new indicators: A comparative study. *Energy Reports*, 5, 375–383.
- BPS. (2018). Statistik Indonesia 2018. In *BPS* (pp. 1–676).
- BPS. (2022). Statistik Indonesia 2022. In *Statistical Yearbook of Indonesia 2022* (pp. 1–828).
- Dwi Romadhon, F., & Subekti, R. (2023). Analisis Pengaturan Energi Terbarukan Dalam Kendaraan Berbasis Elektrik Untuk Mendukung Perlindungan Lingkungan (Analisis Komparatif Antara Indonesia, Brazil, dan Pakistan). *Jurnal Pacta Sunt Servanda*, 4, 1–14.
- Faisal. (2021). Urgensi Pengaturan Pengembangan Energi Terbarukan Sebagai Wujud Mendukung Ketahanan Energi Nasional. *Journal Ensiklopedia Social Review*, 3(1), 18–24.
- Fathurohman, F., Fitriana, D., Baharta, R., & Mukminah, N. (2022). Analisis Pengaruh Pertumbuhan Ekonomi Dan Jumlah Penduduk Terhadap Kemiskinan. *Journal of Public Power*, 6(2), 104–112.
- Fuad, Ahsanul, and Leonard Lisapaly. 2024. "Studi Kasus Pengaruh Indikator Terhadap Keberlanjutan Energi Di Provinsi Riau." *Austenit* 16(1):15–25.

- Hakim, A., & Ridho, R. (2020). Model Energi Indonesia, Tinjauan Potensi Energy Terbarukan Untuk Ketahanan Energi Di Indonesia : Literatur Review. *Andasih Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(1), 1–11.
- Razmjoo, A., Shirmohammadi, R., Davarpanah, A., Pourfayaz, F., Aslani, A. J. E. R. (2019). Stand-alone hybrid energy systems for remote area power generation. *Energy Reports*, 5, 231–241.
- Setyono, J. S., Mardiansjah, F. H., & Astuti, M. F. K. (2019). Potensi Pengembangan Energi Baru dan Energi Terarukan di Kota Semarang. *Jurnal Riptek*, 13(2), 177–186.
- Silitonga, J. A., Widodo, P., & Ahmad, I. (2020). Analisis Kebijakan Biodiesel B-20 Sebagai Bahan Bakar Nabati Dalam Mendukung Ketahanan Energi Di Indonesia Biodiesel. *Ketahanan Energi*, 6(1), 61–79.
- Subarjo, A. H., Mardwianta, B., & Wibowo, T. (2020). Peningkatan Pengetahuan Pemanfaatan Energi Matahari Untuk Mendukung Ketahanan Energi Pada Kelompok Pemuda Di Sendangtirto Berbah Sleman. *KACANEGARA Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat*, 3(2), 147–154.
- Wardhana, A. R., & Marifatullah, W. H. (2021). Transisi Indonesia Menuju Energi Terbarukan TERBARUKAN. *Tashwirul Afkar Vol.*, 38(December 2020), 1–16.
- Wibowo, Anton Supriadi, and Leonard Lisapaly. 2024. “The Analysis of National Energy Sustainability Using Energy Data.” *Journal of Information Technology and Computer Science* 7:655–62.
- Zulkarnaini, A., Lisapaly, L., Manik, M., & Yulianto, R. (2024). Analisis Pengaruh Indikator Terhadap Keberlanjutan Energi di Provinsi Banten. *G-Tech : Jurnal Teknologi Terapan*, 8(2), 1049–1058.