

STUDI KASUS PENGARUH INDIKATOR TERHADAP KEBERLANJUTAN ENERGI DI PROVINSI RIAU

CASE STUDY OF THE INFLUENCE OF INDICATORS ON ENERGY SUSTAINABILITY IN RIAU PROVINCE

Ahsanul Fuad^{1)*}, Leonard Lisapaly¹⁾

¹⁾ Program Studi Magister Teknik Elektro, Program Pascasarjana, Universitas Kristen Indonesia
Jl. Mayor Jendral Sutoyo No.2, Cawang, Jakarta Timur, 13630, Indonesia

*email corresponding: ahsanulfuad24@gmail.com

INFORMASI ARTIKEL

Diperbaiki:
Revised
26/03/2024

Diterima:
Accepted
24/04/2024

Publikasi Online:
Online-Published
30/04/2024

ABSTRAK

Informasi ilmiah yang berbasis keberlanjutan energi sangat penting dalam peningkatan keberlanjutan energi dimasa depan. Dalam kasus ini, target keberlanjutan dan masalah pengambilan keputusan harus tepat, maka indikator baru yang tepat, efektif, dan relevan diperlukan untuk mencapai tujuan memperbaiki dan meningkatkan infrastruktur keberlanjutan energi serta menjadi tujuan utama penelitian ini. Tujuh indikator dipilih untuk penelitian mendalam dari data yang relevan, selanjutnya masing-masing indikator dikumpulkan dan dianalisis menggunakan analisis korelasi. Hasil analisis konseptual menunjukkan bahwa perencanaan harus cermat untuk menerapkan kebijakan dengan mempertimbangkan keseimbangan perekonomian, keamanan pasokan energi, dan pelestarian fungsi lingkungan. Akibatnya, prinsip energi yang ramah lingkungan harus menjadi prioritas utama dalam pengembangan energi keberlanjutan dimasa mendatang.

Kata Kunci : Energi keberlanjutan, kebijakan, indikator

ABSTRACT

Scientific information based on energy sustainability is very important in improving energy sustainability in the future. In this case, the sustainability targets and decision-making issues must be precise, so appropriate, effective, and relevant new indicators are needed to achieve the goal of improving and enhancing energy sustainability infrastructure and are the main objective of this research. Seven indicators were selected for in-depth research from relevant data, and then each indicator was aggregated and analyzed using correlation analysis. The results of the conceptual analysis show that planning must be careful to implement policies by considering the balance of the economy, security of energy supply, and preservation of environmental functions. As a result, the principle of environmentally friendly energy should be a top priority in the future development of sustainable energy.

Keywords : Energy sustainability, policy, indicators

©2024 The Authors. Published by
AUSTENIT (Indexed in SINTA)

doi:

[10.53893/austenit.v16i1.8500](https://doi.org/10.53893/austenit.v16i1.8500)

1 PENDAHULUAN

Energi merupakan komponen paling penting bagi setiap negara untuk melakukan aktifitas di semua aspek kehidupan seperti; bisnis, perekonomian, rumah tangga, industri, dan transportasi (Setyono et al., 2019). Saat ini, sumber energi utama berasal dari bahan bakar fosil yang tidak terbarukan dan tentunya tidak ramah lingkungan (Hari et al., 2023). Faktor lainnya adalah

jumlah transportasi yang semakin meningkat dipicu oleh pertumbuhan populasi dan kendaraan (Azharuddin et al., 2020), akibatnya emisi gas rumah kaca yang berlebihan yang sebagian besar dihasilkan oleh aktivitas manusia telah menyebabkan perubahan mendasar pada struktur iklim global (Armin Razmjoo et al., 2019). Kebutuhan energi yang terus meningkat serta jumlah bahan bakar fosil semakin menipis dan peningkatan pemanasan global menjadi

permasalahan krisis energi global (Fajar et al., 2023), sehingga menghambat perkembangan energi berkelanjutan (Armin Razmjoo et al., 2019). Untuk mencegah masalah ini semakin meluas diperlukan keputusan kebijakan yang tepat dengan menerapkan pengukuran yang efektif untuk mencapai pembangunan berkelanjutan dari waktu ke waktu. Salah satu solusinya adalah dengan penggunaan energi terbarukan yang berkelanjutan untuk menghasilkan energi listrik sebagai kinerja terpenting untuk memenuhi kebutuhan energi manusia di masa depan.

Konsep energi berkelanjutan memiliki arti bahwa kebutuhan yang didapat tanpa perlu menghabiskan sumber daya alam atau merusak lingkungan dan iklim pada generasi mendatang (Davaranah et al., 2018), karena energi yang didapatkan berasal dari proses alam yang berkelanjutan, seperti sinar matahari, angin, air, biofuel, dan geothermal (Gargalo et al., 2024). Konsep keberlanjutan juga membutuhkan diskusi dan analisis konseptual lebih dalam. Untuk mencapai keberlanjutan, selain indikator tertentu, juga diperlukan pemantauan rutin terhadap dampak strategi dan kebijakan yang dipilih (Zulkarnaini et al., 2024). Peran pemerintah di semua negara harus memahami kondisi saat ini terhadap krisis energi, sehingga dapat membantu meringankan masalah tersebut dalam menentukan solusi energi berkelanjutan 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.

Indonesia memiliki potensi besar dalam mengembangkan energi baru terbarukan (EBT) dan berkelanjutan, salah satunya Provinsi Riau yang menjadi kajian dalam penelitian ini. Menurut laporan dari Rencana Umum Energi Daerah Provinsi (RUED-P) Riau tahun 2020, Provinsi Riau memiliki potensi energi baru terbarukan (EBT) sendiri yang terdiri dari 6 jenis, yaitu panas bumi, air, biomassa, surya, angin dan laut sebesar 5.950 megawatt (MW) atau sekitar 5,9 gigawatt (GW) yang dapat dimanfaatkan sebagai energi listrik (Ghifari Nasution & Dzaky, 2023) (Fathatunida, 2022). Tetapi potensi energi ini hanya digunakan sebagian kecil. Sejauh yang kami ketahui, Provinsi Riau baru-baru ini memanfaatkan 848,90 MW, atau 14,27% dari potensi EBT yang ada. Jumlah penduduk Provinsi Riau terus meningkat secara signifikan setiap tahunnya. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Riau tahun 2022, Provinsi Riau memiliki populasi sebesar 6.493.603 orang, dengan kepadatan penduduk 75 orang per km² dan pada akhir tahun 2023 populasi meningkat menjadi 6.861.237 orang. Hal ini tentu membutuhkan sumber energi lebih banyak dan peran pemerintah sangat dibutuhkan untuk menjamin dan

menentukan kebijakan terkait keberlanjutan energi hingga masa mendatang.

Peneliti di seluruh dunia telah banyak dilakukan, tujuannya adalah untuk mendorong para ahli energi dan pemerintah untuk menerapkan keberlanjutan energi. Penggunaan energi terbarukan dan berkelanjutan lebih baik dari pada bahan bakar fosil, dimana akan sangat bermanfaat bagi lingkungan dan mengurangi polusi udara (Mehrpooya et al., 2018). Studi kasus tentang respons tekanan negara di Cina menggunakan metode kuantitatif, ada tiga indikator utama yaitu; energi, ekonomi, dan lingkungan yang dapat di terapkan untuk mengevaluasi keberlanjutan energi (Li et al., 2019). Untuk membuat sistem indeks energi berkelanjutan yang terdiri dari dua puluh indikator, metode analisis tematik telah digunakan (Fu et al., 2021). Menurut (Razmjoo et al., 2019), energi terbarukan di negara Iran memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tingkat keberlanjutan energi yang dimasa depan.

Penelitian dari dalam negeri terkait keberlanjutan energi juga telah banyak diteliti. Pemanfaatan biomassa sebagai konfigurasi pembangkit listrik di desa Kelapa Patih Jaya, Provinsi Riau telah dikaji (Ghifari Nasution et al., 2023). Kebijakan pemerintah dalam pengolahan limbah kelapa sawit berupa Biogas dan Biomasa untuk pembangkit tenaga listrik secara finansial cukup menguntungkan selama 6 tahun. (Mufrizon et al., 2013). Penelitian menggunakan metode penyusunan *review* literatur (Desti, 2022), Indonesia memiliki potensi yang cukup besar untuk energi baru terbarukan, seperti tenaga surya, biomassa, dan mikrohidro. Potensi ini akan memiliki dampak yang signifikan pada kehidupan masyarakat untuk menghasilkan energi bersih dan murah.

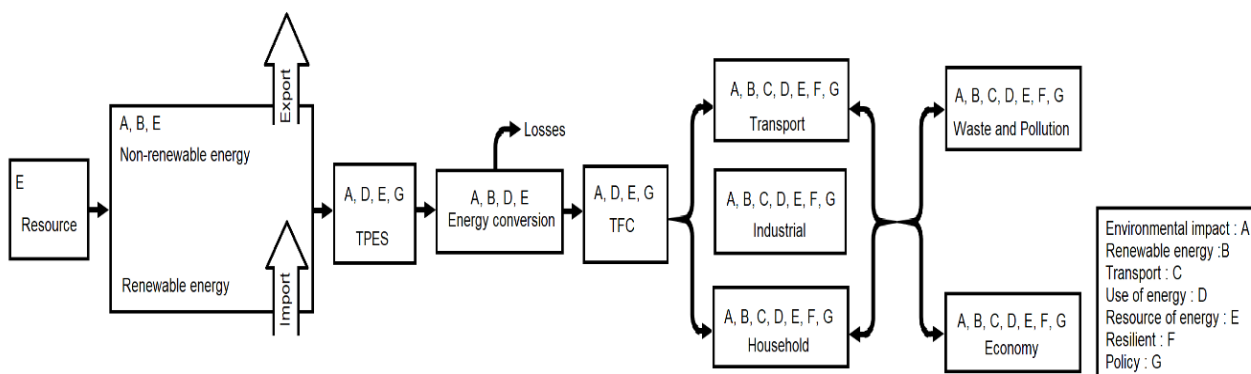
Berdasarkan uraian di atas, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis model kebijakan yang didasarkan pada potensi energi baru terbarukan dan berkelanjutan. Analisis dilakukan berdasarkan data BPS Provinsi Riau 5 tahun terakhir dengan menggunakan tujuh indikator sebagai model untuk menentukan langkah kebijakan pada sistem energi baru terbarukan yang mandiri dan berkelanjutan. Diharapkan penelitian ini dapat berfungsi sebagai panduan dalam penyusunan strategi dan sasaran untuk pengembangan energi berkelanjutan di Provinsi Riau di masa depan.

2. BAHAN DAN METODA

Penelitian ini menggunakan metoda analisis secara korelasi untuk mengidentifikasi dua variabel atau kumpulan data, serta tingkat kekuatan hubungan keduanya dalam menentukan indikator keberlanjutan energi. Data primer dan data

sekunder adalah dua jenis data yang dikumpulkan dan digunakan untuk pengumpulan data dan informasi. Data primer berasal dari perhitungan analisis yang menghasilkan indikator yang tepat, kuat, dan lemah dari masing-masing indikator. Data sekunder diperoleh dari penelitian tentang sejarah dan visi misi Provinsi Riau, serta literatur dari berbagai jurnal, buku referensi, laporan pemerintah daerah, pusat data, dan kebijakan energi nasional.

Selanjutnya adalah memeriksa semua indikator energi dan menentukan tujuh indikator yang dipilih dalam penelitian ini yang diperlihatkan pada Gambar 1. Langkah terakhir, berdasarkan indikator hasil akhir analisis korelasi normalisasi digunakan untuk mengidentifikasi elemen indikator kuat dan lemah dalam menentukan langkah kebijakan dimasa depan.



Gambar 1. Skema Pasokan Energi (Armin Razmjoo et al., 2019)

2.1 Ketahanan Energi Provinsi Riau

Berdasarkan sumber data BPS tahun 2023, Provinsi Riau termasuk salah satu dari sepuluh provinsi Indonesia dengan jumlah penduduk terbanyak, di belakang Jawa Barat, Jawa Timur, Jawa Tengah, Sumatera Utara, Banten, DKI Jakarta, Sulawesi Selatan, Lampung, dan Sumatera

Selatan. Kesejahteraan rakyat dan tujuan pembangunan ekonomi, dapat tidak tercapai jika pertumbuhan penduduk tidak terkendali (Fathurohman et al., 2022). Kondisi tersebut akan berpengaruh terhadap kebutuhan energi. Tabel 1 menunjukkan sumber data penelitian yang diambil dari data Badan Pusat Statistik Provinsi Riau selama kurun waktu tahun 2019 sampai dengan 2023.

Tabel 1. Ketahanan Energi Provinsi Riau Tahun 2019- 2023 (BPS, 2019)(BPS, 2023)

Indikator	2019	2020	2021	2022	2023	Unit
POP	697,75	639,41	649,36	661,44	673,53	Million of population
GDP	7252,61	7602,48	843,21	808,84	805,10	Billion Rupiah
TCO ₂	721,34	1243,76	714,25	881,98	823,98	Thousand ton CO ₂
TPES	771,71	819,25	858,34	902,56	946,65	Ktoe
TEPR	4,96	7,29	8,43	3,09	8,21	Ktoe
AREE	0,95	0,96	0,97	0,97	0,96	Ktoe
TFCFFT	15116,65	15473,77	16452,45	17256,87	17894,25	Ktoe
TFCT	15126,70	15876,65	16725,43	17854,78	18675,23	Ktoe
TFCET	23,97	25,66	30,64	31,66	37,67	Ktoe
LE	2748,76	2944,67	3886,89	4225,76	4672,71	Ktoe
TFCI	1962,34	2053,79	2140,67	2236,82	2335,78	Ktoe
TFCR	7432,26	7445,24	7867,25	8165,94	8665,78	Ktoe
TFCC	1203,43	1334,56	1434,54	1577,80	1565,74	Ktoe
ELC	1708,97	1809,58	2524,00	2540,27	2658,87	Ktoe
TREP	138,42	145,70	161,88	170,40	260,69	Ktoe
TEP	525,13	2362,73	1829,70	3080,20	3800,21	Ktoe
TFFP	7879,45	8025,67	9578,78	9843,77	10387,85	Ktoe
EEX	16156,77	17298,87	18271,96	18672,76	18455,35	Ktoe
AE	75,45	78,70	80,18	94,17	125,00	Thousand of population
RIFR	20,15	19,45	21,67	20,78	21,88	Ha
LA	8702,37	8702,37	8702,37	8993,59	8993,59	Km ²
TFC	4,52	4,68	4,88	5,09	5,29	Mtoe

Rasio Elektrifikasi (RE) Provinsi Riau pada tahun 2020 mencapai 91,67% dari jumlah 1.836.263 RT, dengan kapasitas pembangkit tenaga listrik terpasang sebesar 604 MW dan daya mampu sebesar 797 MW. Komposisi bauran energi terdiri dari EBT (air) 16%, BBM 0%, gas bumi 66%, dan batu bara 18%. Provinsi Riau juga merupakan daerah penghasil minyak bumi dan gas bumi, dengan *lifting* minyak bumi 70.446.241.82 barel dan gas bumi. Selain itu, Provinsi Riau memiliki luas lahan perkebunan kelapa sawit terbesar di Indonesia (2.489.957 ha), dengan produksi tandan buah sawit (TBS) sebesar 7.979.981 ton (Riau Dalam Angka 2019), dan jumlah pabrik kelapa sawit (PKS) sebesar 3.367.302 kiloliter (Kepmen ESDM Nomor 252.K/10/MEM/2020). Dengan demikian, Provinsi Riau memberikan kontribusi yang signifikan dalam penyediaan biodiesel, atau 38,49% dari kebutuhan nasional.

2.2 Indikator Penelitian

Indikator adalah alat ukur yang membantu pemerintah dan para ahli energi untuk mengukur keberlanjutan energi, melakukan analisis, dan mengumpulkan data, sehingga dapat memperbaiki kelemahan sistem energi tertentu. 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 ini akan dijelaskan secara terpisah di bagian ini, yaitu (Armin Razmjoo et al., 2019):

1. Pembangunan nasional masih bergantung pada penggunaan bahan bakar fosil, diketahui bahwa bahan bakar fosil merupakan sumber utama emisi karbon dioksida dan gas rumah kaca penyebab polusi dan pemanasan global.
2. Energi terbarukan dari sumber daya alam dapat membantu manusia untuk mengembangkan dan memasok energi sebagai salah satu bentuk positif terhadap lingkungan.
3. Transportasi sebagai sektor strategis bagi kota dan negara sangat berpengaruh dalam konsumsi energi dimasa depan.
4. Penggunaan teknologi baru hemat energi yang tepat dapat mencegah kehilangan energi yang signifikan.
5. Pemerataan penggunaan energi dapat dirasakan oleh semua lapisan masyarakat.
6. Menciptakan infrastruktur yang lengkap dan memiliki program tepat sasaran adalah salah satu cara untuk mencegah masalah ini.
7. Peran pemerintah sangat penting dalam menentukan kebijakan pembangunan dimasa depan.

Penelitian ini menyajikan indikator yang efektif terkait keberlanjutan energi di Provinsi Riau,

ditunjukkan pada Tabel 2. Data BPS Provinsi Riau dari tahun 2019 hingga 2023 digunakan untuk mengidentifikasi titik lemah dan kuat dalam mencapai keberlanjutan energi, sehingga indikator tersebut dapat membantu dan menemukan celah penting dalam menentukan kebijakan pembangunan keberlanjutan energi di masa depan.

Tabel 2. Data Indikator Energi (Armin Razmjoo et al., 2019)

Code	Nomenclature
AE	Access to electricity
AREE	Amount of renewable energy in electricity production
CO ₂	CO ₂ Emission
EC	Energy conversion
EEX	Energy import
EIM	Energy export
ELC	Electricity consumption
GDP	Gross domestic product
LA	Land Area
LE	Loss of energy
POP	Population
RIFR	Renewable internal freshwater resources
SEDI	Sustainable Energy Development Index
TCO ₂	Total CO ₂ Emission
TEPR	Total energy production from renewable energy
TFCBT	Total final consumption of Biofuel and waste consumption
TFCC	Total final consumption in commercial
TFCET	Total final consumption of electricity in transport
TFCI	Total final consumption in industry
TFCFT	Total final consumption of fossil fuel in transport
TFCR	Total fuel consumption in residential
TFCRC	Total final consumption renewable energy commercial
TFCRR	Total final consumption of renewable energy residential
TFCT	Total final consumption in transport
TFFP	Total final fossil production
TPES	Total primary energy supply
TREP	Total Renewable energy production
Vact	Actual number of indicators
X	Actual number
Xmax	Maximum number of indicators
Xmin	Minimum number of indicators
WAP	Waste and Pollution
x	Array1
y	Array2

Tabel 2 menunjukkan kelompok indikator relaven yang dipilih sebelum dikorelasi. Selanjutnya untuk mempermudah analisis ketahanan energi, indikator dikategorikan menjadi beberapa kelompok. Tabel 3 menunjukkan tujuh indikator

yang tepat dipilih dalam penelitian ini dan selanjutnya melakukan perhitungan menggunakan analisis korelasi untuk mendapatkan titik kuat dan lemah dari masing-masing indikator.

Tabel 3. Kelompok Indikator Penelitian (Zulkarnaini et al., 2024)

Indikator	Kelompok Indikator
Dampak Lingkungan	CO_2/POP , CO_2/GD , $PCO_2/TPES$, TCO_2
Energi Terbarukan	TEPR, AREE/TEPR, TREP/TEP, TEP
Transportasi	TFCFT/TFCT, TFCET/TFCT, TFCT
Penggunaan Energi	TFC/GDP, LE/TPES, TFCL/POP, TFCR/POP, TFCC/POP, TES/GDP, ELC/POP
Akses Sumber Daya terhadap energi	TREP/TEP, TEP, TFFP/TEP
Ketahanan	AE, RIFR, POP/LA
Kebijakan	EEX/EIM, GDP/POP

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mencapai hasil yang dapat diterima dalam penelitian ini, semua data sub-indikator yang terkait dengan kelompok indikator utama dikumpulkan sebelum dinormalisasi. Data indikator yang dipilih sebelum dinormalisasi di tunjukkan pada Tabel 4. Selanjutnya, data harus diselidiki dan diuraikan dengan rumus. Data asli ini dapat

membantu menemukan sub-indikator akhir yang tepat, yang memiliki pengaruh besar terhadap rencana masa depan Provinsi Riau untuk keberlanjutan energi. Seperti yang ditunjukkan, serangkaian indikator dipilih untuk studi ini untuk analisis yang lebih menyeluruh. Banyak indikator memungkinkan untuk membuat pilihan yang lebih baik dan memilih indikator yang paling efektif.

Tabel 4. Indikator Sebelum Normalisasi

Indikator	Tahun					unit
	2019	2020	2021	2022	2023	
CO_2/POP	1,03	1,95	1,1	1,33	1,22	<i>Mt CO₂ /capita</i>
CO_2/GDP	0,1	0,16	0,85	1,09	1,02	<i>Mt CO₂ /Bilion IDR</i>
TCO_2	721,34	1243,76	714,25	881,98	823,98	<i>Milliar ton of CO₂</i>
$CO_2/TPES$	0,93	1,52	0,83	0,98	0,87	<i>Mt CO₂</i>
TEPR	4,96	7,29	8,43	3,09	8,21	<i>Ktoe</i>
AREE/TEPR	0,19	0,13	0,12	0,31	0,12	<i>Ktoe</i>
TFCFT/TFCT	1	0,97	0,98	0,97	0,96	<i>Ktoe</i>
TFCET/TFCT	0,0016	0,0016	0,0018	0,0018	0,002	<i>Ktoe</i>
TFCT	15126,7	15876,65	16725,43	17854,78	18675,23	<i>Ktoe</i>
LE/TPES	3,56	3,59	4,53	4,68	4,94	<i>Ktoe</i>
TFCI/POP	2,81	3,21	3,3	3,38	3,47	<i>Ktoe</i>
TFCR/POP	10,65	11,64	12,12	12,35	12,87	<i>Ktoe</i>
TFCC/POP	1,72	2,09	2,21	2,39	2,32	<i>Ktoe</i>
TPES/GDP	0,11	0,11	1,02	1,12	1,18	<i>Ktoe</i>
ELC/POP	2,45	2,83	3,89	3,84	3,95	<i>Ktoe</i>
TREP/TEP	0,26	0,06	0,09	0,06	0,07	<i>Ktoe</i>
TFFP/TEP	15	3,4	5,24	3,2	2,73	<i>Ktoe</i>
TEP	525,13	2362,73	1829,7	3080,2	3800,21	<i>Ktoe</i>
AE	75,45	78,7	80,18	94,17	125	<i>Thousand of population</i>
RIFR	20,15	19,45	21,67	20,78	21,88	<i>Ha</i>
POP/LA	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	<i>sq. km</i>
EEX	16156,77	17298,87	18271,96	18672,76	18455,35	<i>Ktoe</i>
GDP/POP	10,39	11,89	1,3	1,22	1,2	<i>Bilion IDR/capita</i>

3.1 Pentingnya Korelasi dan Normalisasi

Metode normalisasi angka dan korelasi digunakan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Untuk mencapai tujuan utama dari penelitian ini, yaitu untuk mencapai keberlanjutan energi, diperlukan sub-indikator pengukuran yang berbeda yang didasarkan pada indikator yang terkait dan kemudian mengumpulkan hasil utama. Setiap sub-indikator yang terkait dengan ketujuh indikator harus dibagi menjadi beberapa sub-indikator lagi sebelum melakukan langkah korelasi utama agar tujuan bisa tercapai. Selanjutnya, dengan menggunakan metode normalisasi data mentah dan sesuai dengan situasi, data harus di normalisasi.

3.2 Formulasi Korelasi dan Normalisasi

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, koefisien korelasi mengambil nilai berkisar antara 0 dan 1, kemudian mengembalikannya menjadi nilai yang berkisar antara -1 dan 1 menjadikan korelasi sempurna. Selain itu, koefisien menormalkan rentang sel *Array1* dan *Array2* yang digunakan untuk mengidentifikasi hubungan antara dua *property*, dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan (1).

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

Dalam rumus ini, \bar{x} dan \bar{y} adalah rata-rata sampel (*Array1*). Selain itu, untuk menghitung normalisasi dapat menggunakan Persamaan (2).

$$X_m = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (2)$$

Dimana dalam rumus ini, X_m adalah nilai indikator, x adalah bilangan sebenarnya; X_{min} adalah angka minimum dan X_{max} adalah angka maksimum. Ketika indikator definisi harus memiliki nilai tinggi, maka angka harus diatur secara merata sehingga dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (3).

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

Dalam rumus ini, V adalah nilai indikator, V_{act} adalah indikator aktual setiap data tahun, V_{max} adalah nilai maksimum dari indikator dan V_{min} adalah nilai minimum dari indikator tersebut. 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. 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.

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

Dalam rumus ini, N adalah jumlah indikator, dan $1 - V_x$ adalah rasio untuk indikator yang seharusnya bernilai rendah. Pada kenyataannya, ketika sebuah indikator definisi seharusnya memiliki nilai tinggi, tidak perlu digunakan untuk itu, dan sebaliknya, lebih baik menggunakan $1 - V_x$ untuk indikator yang seharusnya memiliki nilai rendah. Persamaan $1 - V_x$ ini juga dapat dihitung tanpa mempertimbangkan -1.

Hasil perhitungan korelasi indikator sebelum penilaian akhir ditunjukkan pada Tabel 5. Adapun penjelasan uraian tabel tersebut adalah:

1. Dampak lingkungan (*Environmental impact*)
Dalam faktor ini, data setiap tahun seharusnya memiliki konsumsi CO_2 yang rendah lebih baik. Karena indikator ini menekankan pada rendahnya emisi bahan bakar fosil dan keberhasilan dapat ditekan.
2. Energi terbarukan (*Renewable energy*)
Setiap negara harus memprioritaskan penggunaan energi terbarukan dalam rencana keberlanjutan energi, karena memiliki dua keuntungan; mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi polusi.
3. Transportasi (*Transport*)
Menurut indikator ini, meskipun bahan bakar fosil masih merupakan sumber daya energi utama, energi terbarukan harus secara bertahap dilakukan untuk menggantikan bahan bakar fosil salah satunya energi bahan bakar listrik direkomendasikan untuk indikator ini.
4. Penggunaan energi (*Use of energy*)
Indikator ini menunjukkan tingkat kerumitan yang rendah. Artinya, suatu negara tersebut tidak bergantung pada impor, namun, yang paling penting adalah keseimbangan jenis energi yang digunakannya harus memiliki konsumsi energi yang cukup.
5. Akses sumber daya energi (*Resource of Energy*)
Negara-negara dapat memiliki lebih banyak sumber daya, tetapi lebih berharga jika digunakan dengan benar dan perencanaan yang tepat, serta kebijakan yang efektif, dalam menggunakan sumber dayanya secara efisien dalam garis keberlanjutan energi.
6. Ketahanan (*Resiliency*)
Menurut indikator ini, akses listrik dan air bersih lebih penting karena penyediaan

kebutuhan dasar untuk kesejahteraan penduduk.

7. Kebijakan (*Policy*)

Indikator ini harus lebih diperhatikan, karena kebijakan yang tepat adalah salah satu hal

yang paling penting untuk memajukan dan menjaga sumber daya yang ada, dan kebijakan yang tepat juga dapat mengarah pada pencapaian keberlanjutan energi dimasa depan.

Tabel 5. Analisis Korelasi Indikator Sebelum Penilaian Akhir

Indikator	A	B	C	D	E	F	G
Dampak lingkungan	$CO_2/TPES$	CO_2/POP	$CO_2/6DP$	$T CO_2$			
Kolom	A-B	A-C	A-D	-			
Nomor	0,96	-0,57	0,96				
korelasi	B-C	B-D	-				
	-0,32	1,00					
	C-D	-					
	-0,34						
Energi terbarukan	TEPR	AREE/TEPR	TREP/TEP	TEP			
	A-B	A-C	A-D	-			
	-0,96	-0,25	0,16				
	B-C	B-D	-				
	0,02	0,04					
	C-D	-					
	-0,84						
Transportasi	TFFCFT/TFC	TFCE/TFC	TFCT				
	T	T					
	A-B	A-C	-				
	-0,72	-0,90					
	B-C	-					
	0,91						
Penggunaan energi	LE/TPES	TFCI/POP	TFCR/PO	TFCC/PO	TPES/GDP	ELC/PO	TFC/GD
	A-B	A-C	A-D	A-E	A-F	-	-
	0,84	0,91	0,85	0,99	0,97		
	B-C	B-D	B-E	B-F	-		
	0,98	0,98	0,82	0,89			
	C-D	C-E	C-F	-			
	0,95	0,87	0,92				
	D-E	D-F	-				
	0,85	0,91					
	E-F	-					
	0,98						
Sumber Daya Energi	TREP/TEP	TEP	TFFP/TEP				
	A-B	A-C	-				
	-0,84	0,99					
	B-C	-					
	-0,89						
Ketahanan	AE	RIFR	ELC/POP	POP/LA			
	A-B	A-C	A-D	-			
	0,65	-0,29	-0,29				
	B-C	B-D	-				
	-0,15	-0,15					
	C-D	-					
	-0,63						
Kebijakan	EEX	GDP/POP					
	A-B	-					
	-0,87						

3.2 Analisis Korelasi Hasil Normalisasi

Semua data dari tahun 2019 hingga 2023 harus dievaluasi berdasarkan masing-masing indikator secara terpisah untuk mencapai hasil yang logis dari penelitian ini. Ada dua tujuan utama di balik tahapan ini. Pertama, berdasarkan indikator-

indikator tersebut, menunjukkan kinerja setiap data tahun, kemudian mengumpulkan bagian yang kuat dan lemah dari data setiap tahun tersebut untuk menghasilkan analisis indeks indikator dalam satuan dimensi fraksi bernilai angka "1" sebagai indikator kuat dan nilai "0" sebagai indikator lemah yang ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Analisis Indikator Setelah Normalisasi

Indikator	Tahun				
	2019	2020	2021	2022	2023
CO ₂ /POP	0,00	1,00	0,07	0,33	0,21
CO ₂ /6DP	0,00	0,06	0,75	0,75	0,93
TCO ₂	0,01	1,00	0,00	0,32	0,21
CO ₂ /TPES	0,15	0,00	0,00	0,21	0,06
TEPR	0,35	0,79	1,00	0,00	0,96
AREE/TEPR	0,38	0,07	-0,01	1,00	0,00
TFCFT/TFCT	1,00	0,40	0,62	0,20	0,00
TFCET/TFCT	0,00	0,07	0,57	0,44	1,00
TFCT	0,00	0,21	0,45	0,77	1,00
LE/TPES	0,00	0,02	0,70	0,82	1,00
TFCI/POP	0,00	0,61	0,74	0,87	1,00
TFCR/POP	0,00	0,45	0,66	0,76	1,00
TFCC/POP	0,00	0,60	0,81	1,10	1,00
TPES/GDP	0,00	0,00	0,85	0,94	1,00
ELC/POP	0,00	0,25	0,96	0,93	1,00
TREP/TEP	1,00	0,00	0,13	-0,03	0,03
TFFP/TEP	1,00	0,05	0,20	0,04	0,00
TEP	0,00	0,56	0,40	0,78	1,00
AE	0,00	0,07	0,10	0,38	1,00
RIFR	0,29	0,00	0,91	0,55	1,00
POP/LA	1,00	0,00	0,17	0,01	0,21
EEX	0,00	0,50	0,92	1,09	1,00
GDP/POP	0,86	1,00	0,01	0,00	0,00

Tabel 6 menunjukkan hasil analisis korelasi normalisasi terdapat dua warna yang luar biasa yaitu hijau sebagai indikator kuat dengan nilai rentang 1 dan warna merah sebagai indikator lemah dengan nilai rentang 0. Hasil perhitungan secara rata-rata mengalami kenaikan yang cukup signifikan terhadap emisi karbon di tahun 2020 sebesar 0,5, hal ini dipengaruhi semakin padat populasi penduduk berdampak terhadap

penggunaan kendaraan. Bahan bakar fosil merupakan sumber daya utama pasokan energi, namun sebaiknya digunakan energi terbarukan yang lebih ramah terhadap lingkungan dan perlu adanya energi berkelanjutan disektor transportasi dalam perbaikan dimasa depan.

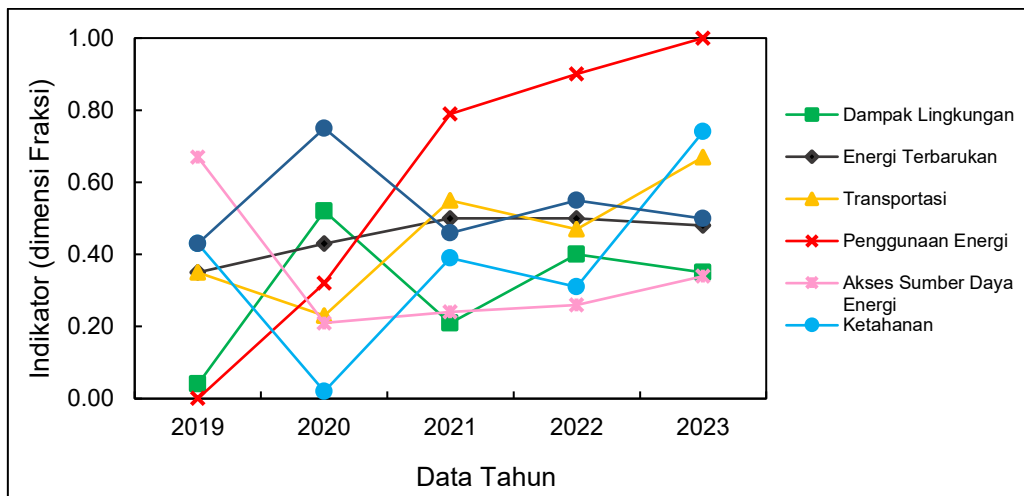
Tabel 7 menunjukkan angka akhir yang diperoleh setelah tahap normalisasi pada beberapa indikator tertentu dalam satuan dimensi fraksi.

Tabel 7. Hasil Analisis Perhitungan Akhir Indikator Setelah Tahap Normalisasi

Tahun	Dampak Lingkungan	Energi terbarukan	Transportasi	Penggunaan energi	Akses Sumber Daya Energi	Ketahanan	Kebijakan
2019	0,0	0,4	0,4	0,3	0,7	0,4	0,5
2020	0,5	0,4	0,2	0,3	0,2	0,0	0,8
2021	0,2	0,5	0,6	0,8	0,2	0,4	0,5
2022	0,4	0,5	0,5	0,9	0,3	0,3	0,6
2023	0,4	0,5	0,7	1,0	0,3	0,7	0,5

Hasil analisa tahap akhir menunjukkan terdapat sebaran dua warna di dalam tabel, warna hijau menunjukkan indikator yang kuat, sedangkan warna merah menunjukkan indikator yang tidak diinginkan yang perlu diperbaiki dari data tahun 2019 hingga 2023. Normalisasi harus berada di antara angka 0 dan 1, sehingga kisaran maksimumnya adalah 1 dan kisaran minimumnya adalah 0 untuk membuat pengaturan angka mentah lebih mudah. Hasil menunjukkan data tahun 2023 lebih baik dari data tahun sebandingnya pada indikator penggunaan energi, mencapai angka 1. Namun pada indikator lain harus diperhatikan seperti; indikator kebijakan sangat rendah hanya

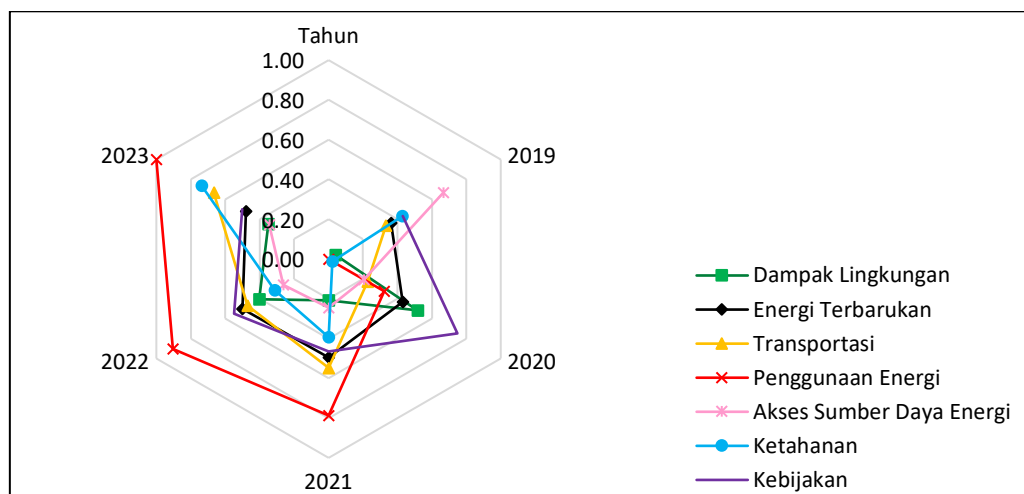
0.5, dampaknya indikator penggunaan transportasi tertinggi dan dampak lingkungan belum mencapai titik terendah akibat penggunaan indikator energi terbarukan belum maksimal dan juga akses sumber daya energi turut berpengaruh akibat penggunaan bahan bakar fosil, sehingga perlu adanya perbaikan pada indikator dampak lingkungan dan penggunaan energi terbarukan yang diperkuat oleh indikator kebijakan pemerintah dalam menentukan keberlanjutan energi Provinsi Riau dimasa depan dalam pemanfaatan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan. Untuk lebih jelasnya hasil perhitungan akhir normalisasi di perlihatkan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Grafik Hasil Akhir Perhitungan Normalisasi

Gambar 2 menunjukkan hasil analisis tujuh indikator baru dalam menentukan langkah kebijakan terhadap keberlanjutan energi di Provinsi Riau berdasarkan data dari tahun 2019 hingga 2023, dimana mengalami perubahan yang signifikan pada tahun 2019 menunjukkan data tahun terendah dibandingkan tahun yang lain. Indikator dampak lingkungan di rentang angka 0 sehingga berwarna merah. Hal ini juga dipengaruhi

oleh indikator lainnya seperti; indikator energi terbarukan sangat rendah, indikator kebijakan menunjukkan jumlah informasi dan indikator yang dikumpulkan untuk data setiap tahun. Indikator utama memiliki angka 0–1 dan menunjukkan status indikator berdasarkan data dan analisis yang ada. Peningkatan terjadi pada indikator pemakaian energi di tahun 2023 sebagai data tahun terbaik dengan angka rentang setiap indikator $0 < r < 1$.



Gambar 3. Grafik Hasil Akhir Perhitungan Normalisasi Berdasarkan Data Tahun 2019-2023

Gambar 3 menunjukkan grafik data setiap tahun berdasarkan yang diperoleh jumlah data dan indikator. Semua angka yang diperoleh dari indikator utama adalah antara 0 dan 1 untuk semua data tahun dalam grafik ini yang menunjukkan status berdasarkan data dan analisis yang ada. Pada gambar ini, seperti yang dapat dilihat, untuk setiap indikator ditentukan rentang antara 0 hingga 1 yang menunjukkan situasi masing-masing data tahun dari sudut pandang keberlanjutan energi. Rangkaian indikator yang terbagi menunjukkan yang harus dilakukan oleh pemerintah membuat kebijakan di Provinsi Riau harus berada rentang angka 1 sebagai indikator kuat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa data tahun 2023 berada di posisi yang lebih baik pada indikator penggunaan energi dibandingkan dengan data tahun lain yang sebanding dengannya pada pencapaian rentang angka 1. Namun indikator dampak lingkungan, transportasi dan indikator sumber daya energi perlu diperhatikan rentang angka $0 < r < 1$ perlu adanya peningkatan mencapai angka 1, hal ini disebabkan penggunaan energi terfokus pada bahan bakar fosil sebagai sumber daya utama pasokan energi yang berdampak pada pencemaran udara, sehingga perlu adanya keberlanjutan energi disektor transportasi dan sumber daya energi terhadap penggunaan energi yang ramah lingkungan dimasa depan. Hal ini juga terlihat pada grafik tahun 2019 sebagai posisi terendah dari semua aspek indikator sebanding dengan data tahun lainnya.

4. KESIMPULAN

Tujuh indikator dipilih untuk studi mendalam, data terkait untuk masing-masing indikator dikumpulkan dan dianalisis Untuk mencapai keberlanjutan energi, tidak hanya penting bagi setiap negara. Peran pemerintah dan para ahli energi harus membuat keputusan yang tepat dan relevan. Selain itu, pemerintah juga harus dapat menemukan indikator energi yang tepat dan penting untuk meningkatkan serta memperbaiki infrastruktur keberlanjutan energi. Studi ini menggunakan metode yang telah ditunjukkan sebelumnya untuk *Sustainable Energy Development Index* untuk mengembangkan indikator dan indeks baru untuk meningkatkan keberlanjutan energi. Hasil analisis konseptual tahun 2023 menunjukkan bahwa pemerintah dan para ahli energi harus memiliki perencanaan yang matang untuk menerapkan kebijakan yang telah ditetapkan jika ingin mencapai keberlanjutan energi. Di antara kebijakan tersebut adalah penurunan bertahap dalam penggunaan bahan bakar fosil dan penggantinya dengan energi terbarukan; peningkatan fokus pada transportasi publik dan pemanfaatan sumber daya yang tepat; peningkatan infrastruktur dan ketahanan energi untuk kota dan daerah pedesaan; dan penggunaan teknologi baru untuk mengoptimalkan konsumsi dan mencegah kehilangan energi. Selain itu, hasil numerik

dari dua warna hijau dan merah telah digunakan untuk menunjukkan indikator aspek sumber daya energi dan energi terbarukan yang perlu ditingkatkan dalam penggunaan energi yang ramah lingkungan seperti; indikator dampak lingkungan dan transportasi yang perlu direvisi agar beralih menggunakan bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil; dan untuk indikator kebijakan, indikator penggunaan energi dan indikator ketahanan perlu melakukan tindakan yang efektif dalam hal penekanan terhadap penggunaan sumber energi fosil untuk tercapainya tujuan pembangunan dan infrastruktur merata terhadap pengembangan keberlanjutan energi di Provinsi Riau di masa akan datang.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami ucapkan kepada seluruh staf jajaran BPS Provinsi Riau yang telah memberikan kesempatan dan memberikan data dan informasi terkait penelitian ini, sehingga dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- 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. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.03.006>
- Azharuddin, Anwar Sani, A., & Ade Ariasya, M. (2020). Proses Pengolahan Limbah B3 (Oli Bekas) Menjadi BahanBakar Cair Dengan Perlakuan Panas Yang Konstan. *Jurnal Austenit*, 12(2), 48–53. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4547878>
- BPS. (2019). Provinsi Riau Dalam Angka 2019. In *BPS Provinsi Riau* (pp.1–782). BPS Provinsi Riau.
- BPS. (2023). Provinsi Riau Dalam Angka 2023. In, *BPS Provinsi Riau* (pp. 1–639). BPS Provinsi Riau.
- Davarpanah, A., & Mirshekari, B. (2018). A simulation study to control the oil production rate of oil-rim reservoir under different injectivity scenarios. *Energy Reports*, 405–411. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.03.006>
- Desti, I. (2022). Literature Rlview : Upaya Energi Bersih dan Terjangkau. *Jurnal Sains Edukatika Indonesia*, 4(1), 8–11. <https://jurnal.uns.ac.id/jsei/issue/view/4070>
- 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.
<https://ejournal2.undiksha.ac.id/index.php/JPS/article/view/2049/1029>
- Fathatunida, R. D. (2022). *Analisis Perencanaan Kebutuhan Dan Penyediaan Energi Listrik Di Wilayah Kerja PT. PLN (Persero) ULP Rajapolah Kabupaten Tasikmalaya Tahun 2022–2031 Menggunakan Perangkat Lunak Leap (Long Range Energy Alternatives Planning Sistem)*. Universitas Siliwang.
- 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.
<https://doi.org/10.32492/jpp.v6i1.6105>
- Gargalo, C. L., Yu, H., Vollmer, N., Arabkoohsar, A., Gernaey, K. V., & Sin, G. (2024). A process systems engineering view of environmental impact assessment in renewable and sustainable energy production: Status and perspectives. *Computers and Chemical Engineering*, 180(October 2023), 108504.
<https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2023.108504>
- Ghifari Nasution, G., & Dzaky, M. I. (2023). Rancangan Pemanfaatan Energi Baru Terbarukan Sebagai Sumber Energi Di Desa Kelapa Patih Jaya Provinsi Riau. *Machinery Jurnal Teknologi Terapan*, 4(1), 21-27.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.7684133>
- Hari, F., Bizzy, I., Mataram, A., & Sipahutar, R. (2023). Studi Konversi Panas Sisa Gas Buang Hrsg Pltgu Keramasan Ke Energi Listrik Dengan Teknologi Termoelektrik Generator. *Austenit*, 15(2), 69–78.
<https://doi.org/10.5281/zenodo.10060060>
- Mehrpooya, Mehdi, M., Ahmadi, M., & Esmail. (2018). Techno economic environmental study of hybrid power supply system: A case study in Iran. *Sustainable Energy*, 1–10.
<https://doi.org/10.1016/j.seta.2017.10.007>
- Mufrizon, E., & Subekti, P. (2013). Kebijakan Energi Baru-terbarukan Serta Peluang Pemanfaatan Biogas dan Biomasa Limbah Pengolahan Kelapa Sawit untuk Pembangkit Tenaga Listrik Di Propinsi Riau. *Jurnal APTEK*, 5(1), 9–14.
<https://ejournal.upp.ac.id/index.php/aptk/article/view/67/62>
- Razmjoo, A., Shirmohammadi, R., Davarpanah, A., Pourfayaz, F., & Aslani, A. (2019). Stand-alone hybrid energy systems for remote area power generation. *Energy Reports*, 5(2), 231–241.
<https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.01.010>
- 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.
<http://ripteck.semarangkota.go.id>
- 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.
<https://doi.org/10.33379/gtech.v8i2>