

Pendekatan ekonomi sirkular sebagai strategi pembangunan berkelanjutan di Indonesia

Doni Irawan*; Adelia Cahaya Marita; Nurcahyaningtyas

Program Studi Ekonomi Pembangunan, Fakultas Bisnis dan Ekonomika,
Universitas Atma Jaya Yogyakarta

*E-mail korespondensi: doniirn7879@gmail.com

Abstract

This study aims to analyze the effect of circular economy implementation on the three dimensions of sustainable development in Indonesia. The data used is panel data, a combination of cross-section data from 34 provinces in Indonesia, and time series data for 2019-2022. The research data is sourced from the Central Statistics Agency (BPS) and the Ministry of Environment and Forestry (KLHK) publications. The analysis method used is panel data regression with the help of EViews 10 software. This research will estimate three models to see the impact of circular economy implementation in supporting the three dimensions of sustainable development. The result shows that implementing a circular economy in the resource efficiency dimension has supported sustainable development in economic, social, and environmental goals. Meanwhile, the implementation of a circular economy in the dimension of resource management and environmental preservation has not been optimized so it has not supported the achievement of sustainable development of economic, environmental, and social goals.

Keywords: *circular economy, sustainable development, environmental*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penerapan ekonomi sirkular terhadap tiga dimensi pembangunan berkelanjutan di Indonesia. Data yang digunakan adalah data panel yaitu gabungan antara data cross-section dari 34 provinsi di Indonesia dan data time series selama periode 2019-2022. Data penelitian bersumber dari publikasi Badan Pusat Statistik (BPS) dan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Metode analisis yang digunakan adalah regresi data panel dengan bantuan software EViews 10. Penelitian ini akan mengestimasi tiga model untuk melihat dampak penerapan ekonomi sirkular dalam mendukung tiga dimensi pembangunan berkelanjutan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan ekonomi sirkular dimensi efisiensi sumber daya telah mampu mendukung pembangunan berkelanjutan tujuan ekonomi, sosial, dan lingkungan. Sedangkan penerapan ekonomi sirkular dimensi pengelolaan sumber daya dan lingkungan belum optimal sehingga belum mendukung tercapainya pembangunan berkelanjutan tujuan ekonomi, lingkungan, dan sosial.

Kata kunci: ekonomi sirkular, pembangunan berkelanjutan, lingkungan

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki karakteristik wilayah yang luas namun cenderung mengalami kesenjangan di berbagai aspek seperti aspek sosial, ekonomi, hingga

lingkungan. Dalam aspek kondisi lingkungan dengan merujuk pada data Indeks Kualitas Lingkungan Hidup (IKLH) menunjukkan kualitas yang berbeda antar provinsi. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) (2022) pada tahun 2022 provinsi Papua Barat memiliki IKLH tertinggi yakni 84,22 poin, sedangkan provinsi DKI Jakarta memiliki IKLH terendah sebesar 54,65 poin yang berada dibawah rata-rata nasional sebesar 72,42 poin. Perbedaan tersebut menunjukkan adanya kesenjangan yang tinggi antar provinsi. Hal ini merujuk pada perbedaan kondisi geografis yang dimiliki oleh masing-masing provinsi, sehingga mengakibatkan semakin tinggi kesenjangan kualitas lingkungan hidup antar provinsi.

Selain itu, isu yang terjadi pada aspek sosial tercermin dari tingginya tingkat populasi penduduk, tingginya pola aktivitas dan perubahan konsumsi masyarakat mengakibatkan semakin tingginya volume produksi, jenis, dan karakteristik sampah antar provinsi di Indonesia (Rahmawati et al., 2021). Berdasarkan data dari KLHK menyatakan bahwa volume timbulan sampah di Indonesia pada tahun 2022 mencapai 34,303,208.69 ton/tahun dimana provinsi Jawa Tengah menjadi penyumbang sampah terbesar yaitu mencapai 5,761,491.52 juta ton/tahun. Disusul provinsi Jawa Timur sebanyak 4,695,838.73 juta ton/tahun dan provinsi Jawa Barat sebanyak 4,528,211.83 juta ton/tahun. Data diatas menunjukkan bahwa provinsi yang berada di wilayah Pulau Jawa menjadi penyumbang sampah yang cukup besar. Banyaknya timbulan volume sampah yang tidak bisa teratasi dapat berdampak buruk terhadap lingkungan, kesehatan masyarakat, dan keberlanjutan ekologi. Oleh karena itu, perlu adanya penanganan khusus untuk mengatasi volume sampah yang terus naik.

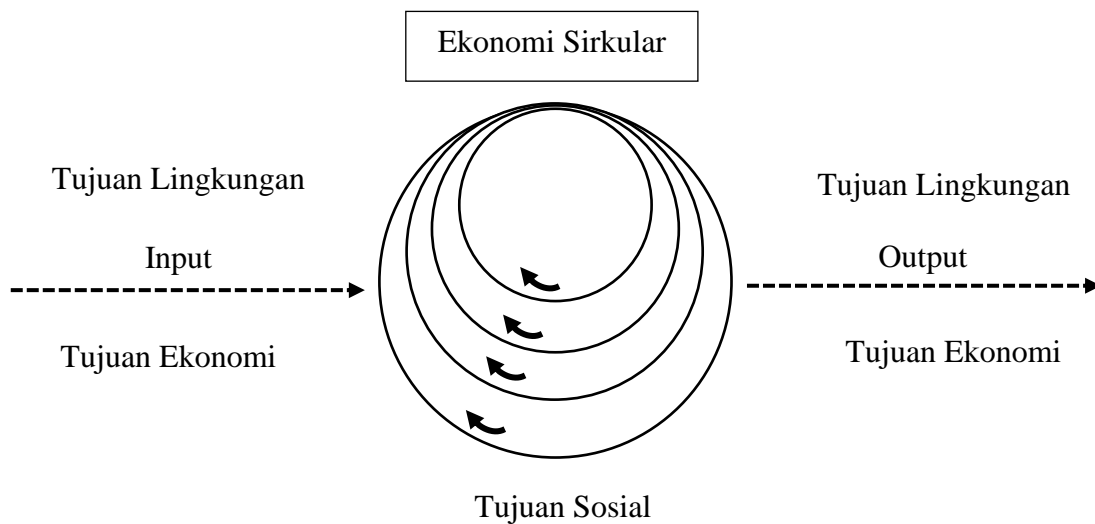
Tingkat volume produksi sampah yang tinggi memunculkan gagasan gerakan *zero waste*. *Zero waste* merupakan paradigma pembangunan sosial yang bertujuan untuk meminimalisir dampak lingkungan dari sampah (Zhang et al., 2021). Volume sampah yang semakin besar dan permasalahan daur ulang masih menjadi masalah besar terutama di negara-negara berkembang (Bogusz et al., 2021).

Permasalahan mengenai kondisi lingkungan hidup telah menjadi salah satu tujuan yang hendak dicapai dalam pembangunan berkelanjutan. Pembangunan berkelanjutan memiliki 17 tujuan yang saling bersinergi dan 169 target yang terkait dimana hal tersebut menjadi kerangka kerja menyeluruh untuk memandu upaya pemerintah dan pembuat kebijakan lain yang akan dicapai pada tahun 2030. Tujuan pembangunan berkelanjutan didasarkan pada tiga pilar utama yaitu keberlanjutan kualitas lingkungan, sosial, dan ekonomi (Klarin, 2018). Namun dalam praktiknya, pemerintah dan para ahli seringkali mengutamakan pilar ekonomi dan sosial, dan meyakini bahwa ada *trade-off* antara lingkungan dan ekonomi (Elder & Olsen, 2019). Hal ini menjadi dasar pemikiran untuk menghindari penguatan perlindungan lingkungan. Ketidakseimbangan antara lingkungan dan ekonomi sering kali mengakibatkan terkurasnya sumber daya di tingkat lokal (Mangukiya & Sklarew, 2023). Hal tersebut diakibatkan oleh nilai-nilai yang dianut dalam tata kelola pemerintahan suatu negara. Dalam semangat otonomi daerah sejak orde reformasi, pemerintah daerah harus mencari solusi untuk mengatasi ketidakseimbangan tersebut.

Permasalahan lingkungan kerap menjadi isu yang sangat erat dengan pembangunan berkelanjutan. Urgensi ini membuat perlu untuk memunculkan sebuah konsep baru yang memahami akan pentingnya isu lingkungan dalam mewujudkan pembangunan berkelanjutan. Konsep pertumbuhan ekonomi hijau hadir sebagai upaya untuk mewujudkan prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan mencakup pengurangan risiko lingkungan dan kelangkaan ekologi (Ali et al., 2021). Pertumbuhan ekonomi hijau adalah sebuah proses yang menjadikan pertumbuhan

ekonomi menjadi lebih efisien dari segi sumber daya, lebih bersih, dan lebih tangguh tanpa harus memperlambat laju pertumbuhan ekonomi (Hallegatte et al., 2012). Untuk mencapai pertumbuhan ekonomi hijau yang memiliki interelasi dengan pembangunan berkelanjutan adalah dengan adanya transisi menuju ekonomi sirkular (Lisitsa et al., 2022). Menghadapi permasalahan lingkungan yang melanda global saat ini, penerapan ekonomi sirkular menjadi suatu pola yang sangat tepat untuk diterapkan melalui sistem produksi ekonomi yang berulang.

Ekonomi sirkular menjadi sebuah paradigma regeneratif dalam meminimalkan penggunaan input sumber daya dan limbah, emisi, dan kebocoran energi melalui memperlambat, menutup, dan mempersempit lingkaran material dan energi (Geissdoerfer et al., 2017). Ekonomi sirkular menggambarkan sistem ekonomi yang didasarkan dengan merubah konsep “ambil-pakai-buang” dengan mengurangi, menggunakan, kembali, mendaur ulang, dan memulihkan input dalam proses produksi/distribusi dan konsumsi, sehingga mampu untuk menciptakan kualitas lingkungan, kemakmuran ekonomi, dan kesetaraan sosial bagi generasi sekarang dan masa yang akan datang (Kirchherr et al., 2017).



Sumber: Korhonen et al., (2018).

Gambar 1. Ekonomi sirkular untuk pembangunan berkelanjutan

Menurut Korhonen et al., (2018) ekonomi sirkular mampu mendorong pembangunan berkelanjutan pada tiga dimensi yakni ekonomi, sosial, dan lingkungan yang ditunjukkan pada Gambar 1. Ekonomi sirkular dapat mendukung pembangunan berkelanjutan tujuan lingkungan melalui mengurangi produksi limbah dan emisi dan sumber daya dalam sistem produksi-konsumsi digunakan secara berulang melalui penerapan siklus bahan baku dan energi berbasis energi terbarukan. Sedangkan untuk pembangunan berkelanjutan tujuan ekonomi mampu dicapai melalui mengurangi biaya bahan baku energi, mengurangi biaya pengelolaan limbah dan pengendalian emisi. Sedangkan pada pembangunan berkelanjutan tujuan sosial mampu dicapai melalui penerapan *sharing economy* dan peningkatan penyerapan tenaga kerja.

Penelitian mengenai dampak ekonomi sirkular terhadap pembangunan berkelanjutan telah banyak dilakukan di beberapa negara. Knäble et al. (2022) melakukan penelitian dengan menggunakan data panel dari 25 negara Eropa selama periode 2010 sampai 2019. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekonomi sirkular

menunjukkan dampak positif yang bervariasi terhadap ketiga dimensi pembangunan berkelanjutan. Variabel energi terbarukan dan *reuse* mampu mengurangi dampak terhadap pembangunan berkelanjutan tujuan lingkungan, *repair* memiliki dampak positif terhadap pembangunan berkelanjutan tujuan ekonomi, dan energi terbarukan, *repair*, serta *recycling* memiliki dampak positif pada pembangunan berkelanjutan tujuan sosial. Kemudian Hussein (2023) melakukan penelitian mengenai dampak ekonomi sirkular terhadap pembangunan berkelanjutan di Mesir. Dengan menggunakan metode *Autoregressive Distributed Lag* (ARDL) dan delapan variabel independen diantaranya konsumsi energi, tingkat pembuangan air limbah industri, tingkat pengelolaan limbah rumah tangga, dan variabel lainnya menunjukkan bahwa ekonomi sirkular memberikan dampak positif terhadap pembangunan berkelanjutan di Mesir. Berdasarkan pemaparan latar belakang permasalahan diatas, maka penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penerapan ekonomi sirkular sebagai strategi dalam mencapai tiga tujuan pembangunan berkelanjutan di Indonesia.

METODE

Data dan sumber data

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan menggunakan data sekunder yang berbentuk data panel yang terdiri dari 34 provinsi di Indonesia selama periode 2019-2022. Provinsi yang digunakan yakni provinsi sebelum adanya pemekaran di wilayah Papua. Data penelitian bersumber dari publikasi Badan Pusat Statistik (BPS) dan KLHK.

Variabel yang digunakan merujuk pada Qing et al. (2011) dan Visvaldis et al. (2013) dengan mempertimbangkan ketersediaan data sekaligus penyesuaian geografis di Indonesia, maka variabel yang digunakan dalam penelitian ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Indikator variabel penelitian

| Variabel | Satuan | Sumber |
|----------------------------------|-----------------|--------|
| Ruang terbuka hijau | Km ² | KLHK |
| Konsumsi listrik | Miliar rupiah | BPS |
| Volume produksi sampah | Ton/tahun | KLHK |
| Volume penanganan sampah | Ton/tahun | KLHK |
| Indeks kualitas lingkungan hidup | Poin | KLHK |
| Realisasi investasi | Juta rupiah | BPS |
| Indeks pembangunan manusia | % | BPS |

Sumber: Disesuaikan dari Qing et al. (2011) dan Visvaldis et al., (2013)

Metode analisis data

Penelitian ini menggunakan metode regresi data panel dengan bantuan *software EViews 10*. Penelitian ini akan mengestimasi tiga model yakni pengaruh penerapan ekonomi sirkular terhadap tiga dimensi pembangunan berkelanjutan. Model ekonometrika yang akan diestimasi adalah sebagai berikut.

$$\text{Model 1 : } IKLH_{it} = \alpha + \beta_1RTH_{it} + \beta_2KL_{it} + \beta_3VPS_{it} + \beta_4VPNS_{it} + \varepsilon_{it} \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{Model 2 : } RI_{it} = \alpha + \beta_1RTH_{it} + \beta_2KL_{it} + \beta_3VPS_{it} + \beta_4VPNS_{it} + \varepsilon_{it} \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{Model 3 : } IPM_{it} = \alpha + \beta_1RTH_{it} + \beta_2KL_{it} + \beta_3VPS_{it} + \beta_4VPNS_{it} + \varepsilon_{it} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana:

IKLH = Indeks kualitas lingkungan hidup (poin)

RI = Realisasi investasi (juta rupiah)

IPM = Indeks pembangunan manusia (%)

RTH = Ruang terbuka hijau (km²)

KL = Konsumsi listrik (miliar rupiah)
VPS = Volume produksi sampah (ton/tahun)
VPNS = Volume penanganan sampah (ton/tahun)
 i = Unit *cross section* sebanyak N
 t = Unit *time series* sebanyak t
 α = Konstanta
 β_{1234} = Koefisien regresi per variabel independen
 ε = *Error term*

Pemilihan model

Uji Chow, Uji Hausman, dan Uji Lagrange Multiplier (LM) merupakan metode statistik yang digunakan untuk memilih model terbaik dalam analisis regresi data panel. Uji Chow digunakan untuk memilih antara Model CEM (Common Effect Model) dan FEM (Fixed Effect Model) dengan hipotesis sebagai berikut: H_0 = Model CEM dan H_a = Model FEM. Kriteria pengujian menyatakan bahwa apabila nilai p-value > 5%, maka H_0 tidak ditolak, yang berarti model terbaik yang dipilih adalah CEM. Selanjutnya, Uji Hausman digunakan untuk memilih antara REM (Random Effect Model) dan FEM, dengan hipotesis H_0 = Model REM dan H_a = Model FEM. Jika nilai p-value > 5%, maka H_0 tidak ditolak, sehingga model yang dipilih adalah REM. Terakhir, Uji Lagrange Multiplier digunakan untuk membandingkan Model CEM dengan REM, dengan hipotesis H_0 = Model CEM dan H_a = Model REM. Apabila nilai p-value > 5%, maka H_0 tidak ditolak, yang berarti model terbaik yang dipilih adalah CEM.

Uji asumsi klasik

Uji multikolinearitas

Penelitian ini menggunakan *correlation matrix* untuk melihat adanya masalah multikolinearitas. Apabila koefisien korelasi antar variabel independen > 0,8 maka teridentifikasi masalah multikolinearitas.

Uji heteroskedastisitas

Uji heteroskedastisitas dilakukan untuk mengetahui apakah terdapat varians μ_i antara satu kasus dengan kasus yang lain. Dalam penelitian ini, untuk mendeteksi gejala heteroskedastisitas digunakan uji Glejser.

Uji goodness of fit

Uji F

Uji F dilakukan untuk mengetahui apakah variabel independen secara bersama-sama mempengaruhi terhadap variabel dependen. Apabila nilai prob (*F-statistics*) > alpha 5% maka variabel independen tidak berpengaruh secara simultan terhadap variabel dependen.

Uji-t

Uji-t digunakan untuk mengetahui apakah variabel independen mempengaruhi variabel dependen secara parsial. Apabila nilai prob (*t-statistics*) > alpha (5% = 0,05) maka variabel independen tidak berpengaruh secara parsial terhadap variabel dependen.

Koefisien determinasi

Koefisien determinasi digunakan untuk mengetahui seberapa besar proporsi pengaruh variasi variabel dependen dijelaskan oleh variabel independen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemilihan model

Hasil uji Chow diatas menunjukkan bahwa nilai *p-value cross-section chi-square* dari ketiga model sebesar $0,0000 < \alpha 5\%$, maka H_0 ditolak sehingga model regresi data panel terbaik untuk ketiga model adalah FEM. Selanjutnya akan dilakukan uji Hausman untuk ketiga model.

Hasil uji Hausman menunjukkan bahwa nilai *p-value cross-section random* model tujuan lingkungan adalah $0,4642 > \alpha 5\%$, sedangkan model tujuan sosial adalah $0,9458 > \alpha 5\%$ maka H_0 tidak ditolak sehingga untuk kedua model tersebut model regresi data panel yang terbaik adalah REM. Untuk model tujuan lingkungan dan tujuan sosial akan dilakukan uji LM. Pada model tujuan ekonomi nilai *p-value cross-section random* adalah $0,0000 < \alpha 5\%$, maka H_0 ditolak sehingga model yang diambil adalah FEM.

Tabel 2. Hasil uji chow, uji hausman, dan uji LM

| Model | Uji Chow | Uji Hausman | Uji LM |
|-------------------------|----------|-------------|----------|
| | Prob. | Prob. | Prob. |
| Model Tujuan Lingkungan | 0.0000 | 0.4642 | (0.0000) |
| Model Tujuan Ekonomi | 0.0000 | 0.0000 | - |
| Model Tujuan Sosial | 0.0000 | 0.9458 | (0.0000) |

Sumber: Data diolah (2023)

Hasil uji LM diatas menunjukan bahwa nilai *p-value breusch-pagan* pada model tujuan lingkungan dan tujuan sosial yaitu $0,0000 < \alpha 5\%$ maka H_0 ditolak sehingga model regresi data panel terbaik yang diambil adalah REM.

Hasil uji asumsi klasik

Hasil uji asumsi klasik yang ditunjukkan dalam Tabel 3 menunjukkan hasil uji multikolinearitas antar variabel independen. Berdasarkan correlation matrix, nilai korelasi antara variabel-variabel independen (RTH, VPNS, VPS, KL) tidak ada yang melebihi 0,8. Secara spesifik, nilai korelasi tertinggi terjadi antara VPS dan KL, yaitu sebesar 0,759705, yang masih berada dalam batas yang dianggap tidak bermasalah menurut kriteria multikolinearitas. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa model ini tidak mengalami multikolinearitas yang signifikan, karena tidak ada variabel independen yang saling berkorelasi kuat satu sama lain. Dengan demikian, hasil ini menunjukkan bahwa tidak ada masalah multikolinearitas dalam model yang diuji.

Tabel 3. Hasil uji multikolinearitas

| Variabel | RTH | VPNS | VPS | KL |
|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| RTH | 1.000000 | -0.007204 | 0.022790 | -0.024747 |
| VPNS | | 1.000000 | -0.002786 | -0.009721 |
| VPS | | | 1.000000 | 0.759705 |
| KL | | | | 1.000000 |

Sumber: Data diolah (2023)

Berdasarkan uji multikolinearitas menunjukan bahwa nilai *correlation matrix* antar variabel independen $< 0,8$, sehingga terbebas dari masalah multikolinearitas.

Tabel 4. Hasil uji heteroskedastisitas (uji glejser)

| Variabel | Prob. |
|--------------------------|----------|
| Ruang Terbuka Hijau | 0.5931** |
| Konsumsi listrik | 0.0411* |
| Volume Produksi sampah | 0.0826** |
| Volume Penanganan sampah | 0.6847** |

Sumber: Data diolah (2023)

Keterangan:

* Signifikan pada alpha 1%

** Signifikan pada alpha 5%

Berdasarkan uji Glejser menunjukkan bahwa nilai probabilitas pada masing-masing variabel menunjukkan pengaruh yang tidak signifikan sehingga tidak terjadi masalah heteroskedastisitas.

Hasil regresi data panel akhir

Hasil regresi data panel yang ditunjukkan dalam Tabel 5 memberikan gambaran tentang pengaruh variabel-variabel independen terhadap tujuan lingkungan (IKLH), ekonomi (RI), dan sosial (IPM). Pada model tujuan lingkungan, variabel RTH dan VPS tidak berpengaruh signifikan terhadap IKLH, sedangkan KL memiliki pengaruh signifikan dengan p-value 0.0000, yang menunjukkan bahwa kualitas lingkungan berperan penting dalam meningkatkan kondisi lingkungan.

Tabel 5. Hasil regresi

| Model | Model Tujuan Lingkungan | Model Tujuan Ekonomi | Model Tujuan Sosial |
|---------------------------|-------------------------|----------------------|---------------------|
| Variabel | IKLH | RI | IPM |
| C | 73.5585 (0.0000) | 87969 (0.0000) | 70.5193 (0.0000) |
| RTH | 0.0000 (0.7854) | 0.4104 (0.8194) | 0.0000 (0.7489) |
| KL | -0.0024 (0.0000) | 15845 (0.0001) | 0.0008 (0.0112) |
| VPS | -0.0000 (0.1770) | -1.7437 (0.3744) | 0.0000 (0.5984) |
| VPNS | -0.0000 (0.8926) | 0.0049 (0.9120) | 0.0000 (0.9303) |
| <i>R-squared</i> | 0.4024 | 0.9985 | 0.1399 |
| <i>Adjusted R-squared</i> | 0.3842 | 0.9980 | 0.1136 |
| <i>F-statistic</i> | 22.0594 | 1842.431 | 5.3294 |
| <i>Prob(F-statistic)</i> | 0.0000 | 0.0000 | 0.0005 |
| <i>Durbin-Watson stat</i> | 0.5136 | 2.1273 | 0.0164 |

Sumber: Data diolah (2023)

Keterangan:

Nilai koefisien regresi tertampil

Nilai probabilitas di dalam kurung

Berdasarkan hasil analisis data maka didapatkan persamaan tiga model akhir sebagai berikut:

$$IKLH_{it} = 73.5585 + 0.0000RTH_{it} - 0.0024KL_{it} - 0.0000\beta_3VPS_{it} - 0.0000VPNS_{it} + \varepsilon_{it}$$

$$RI_{it} = 87969 + 0.4104RTH_{it} + 15845KL_{it} - 1.7437VPS_{it} + 0.0049VPNS_{it} + \varepsilon_{it}$$

$$IPM_{it} = 70.5193 + 0.000RTH_{it} + 0.0008KL_{it} + 0.0000VPS_{it} + 0.0000VPNS_{it} + \varepsilon_{it}$$

Model tujuan ekonomi menunjukkan bahwa RTH dan VPNS tidak berpengaruh signifikan terhadap RI, meskipun KL berpengaruh signifikan dengan p-value 0.0001. Meskipun model ini memiliki R-squared yang sangat tinggi (0.9985), beberapa variabel independen tidak memberikan kontribusi signifikan. Pada model tujuan sosial, KL berpengaruh positif terhadap IPM dengan p-value 0.0112, sementara variabel lainnya tidak menunjukkan pengaruh signifikan. Nilai R-squared pada model sosial relatif rendah (0.1399), mengindikasikan bahwa model ini hanya mampu menjelaskan sebagian kecil variasi dalam IPM. Selain itu, nilai Durbin-Watson yang rendah pada model lingkungan dan sosial menunjukkan adanya potensi autokorelasi, yang perlu diperhatikan agar estimasi model lebih akurat. Secara keseluruhan, meskipun beberapa model menunjukkan hasil signifikan, terdapat variabel yang tidak memberikan kontribusi signifikan, serta masalah autokorelasi yang perlu ditangani.

Pembahasan model tujuan lingkungan

Berdasarkan hasil regresi data panel model tujuan lingkungan menunjukkan bahwa variabel ekonomi sirkular dimensi pengelolaan sumber daya memiliki koefisien regresi positif, sedangkan dimensi efisiensi sumber daya dan pemeliharaan lingkungan menunjukkan nilai koefisien regresi negatif. Nilai koefisien regresi variabel RTH sebesar 0.0000 menunjukkan ketika terjadi peningkatan luas RTH sebesar 1 km² maka kualitas IKLH akan meningkat sebesar 0.0000 poin, *ceteris paribus*.

Koefisien regresi KL sebesar -0,0024 mengindikasikan ketika variabel KL terjadi kenaikan sebesar 1 miliar rupiah, maka IKLH akan menurun sebesar 0,0024 poin, *ceteris paribus*. Koefisien regresi VPS sebesar -0.0000 menunjukkan ketika VPS terjadi kenaikan sebesar 1 ton/tahun, maka IKLH akan mengalami penurunan sebesar 0.0000 poin, *ceteris paribus*. Koefisien regresi VPNS sebesar -0.0000 menunjukkan ketika terjadi penurunan sebesar 1 ton/tahun VPNS maka akan menurunkan kualitas IKLH sebesar 0.0000 poin, *ceteris paribus*. Selanjutnya pada uji *goodness of fit* menunjukkan hasil uji t hanya variabel KL yang menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap IKLH dengan tingkat signifikansi 1%, sedangkan variabel RTH, VPS, dan VPNS menunjukkan tidak adanya pengaruh terhadap IKLH. Hasil uji F menunjukkan nilai probabilitas sebesar $0,0000 < 0,05$, sehingga mengindikasikan bahwa variabel RTH, KL, VPS, dan VPNS memiliki pengaruh yang signifikan terhadap IKLH. Nilai *adjusted R-squared* sebesar 0,384 menunjukkan bahwa sebesar 38,4% kualitas IKLH dipengaruhi oleh variabel ekonomi sirkular sedangkan sisanya sebesar 61,6% dipengaruhi oleh variabel lain diluar model.

Berdasarkan hasil regresi menunjukkan bahwa hanya variabel ekonomi sirkular dimensi efisiensi sumber daya yang memiliki pengaruh yang signifikan terhadap pembangunan berkelanjutan tujuan lingkungan. Sejalan dengan penelitian Knäble et al., (2022) yang menyatakan adanya penggunaan energi terbarukan akan mengurangi dampak yang ditimbulkan terhadap kondisi lingkungan sehingga akan mendukung tercapainya pembangunan berkelanjutan. Selain itu, Hussein (2023) menyatakan bahwa adanya dampak positif dari penerapan ekonomi sirkular melalui konsumsi energi per kapita terhadap pembangunan berkelanjutan di Mesir.

Secara spesifik, dimensi efisiensi sumber daya yang diproksi oleh konsumsi listrik mampu mendukung tercapainya kualitas lingkungan hidup yang lebih baik. Hal ini didasari oleh adanya pengembangan pengolahan biomassa sebagai pengganti batubara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) atau dikenal dengan *co-firing*. Teknologi ini diharapkan dapat mencapai *net zero emission* di tahun 2060 melalui penggunaan bahan organik sebagai sumber energi. Hingga saat ini, bahan bakar yang digunakan dalam pengolahan biomassa adalah cangkang sawit, serbuk gergaji, serpihan kayu, bonggol jagung, dan bahan bakar jumputan padat (BBJP). Pengembangan biomassa ini mengalami tren yang cenderung terus meningkat baik untuk kepentingan energi maupun untuk keperluan lainnya (Kasmaniar et al., 2023). Sehingga dengan peningkatan penggunaan biomassa membuat penggunaan bahan bakar pembangkit listrik menjadi semakin ramah lingkungan. Selain itu, adanya penerapan teknologi *Flue Gas Desulfurization* (FGD) di beberapa PLTU menjadi wujud nyata dalam menjaga kondisi lingkungan. Teknologi FGD ini merupakan proses pencampuran zat pengikat berupa kapur basah dengan emisi gas hasil pembakaran batubara supaya kandungan sulfur dioksida yang dilepaskan ke atmosfer menjadi rendah. Sehingga kondisi lingkungan akan tetap terjaga dari limbah polusi. Dengan adanya penggunaan sumber energi yang ramah lingkungan akan menciptakan ekologi yang tidak tercemar akibat limbah dan menjadikan kualitas lingkungan hidup yang semakin baik untuk mencapai pembangunan berkelanjutan.

Ditinjau dari dimensi pengelolaan sumber daya menunjukkan tidak adanya pengaruh yang signifikan terhadap pembangunan berkelanjutan tujuan lingkungan di Indonesia. Hal ini menunjukkan bahwa kontribusi RTH belum optimal untuk meningkatkan kualitas lingkungan hidup dan pembangunan berkelanjutan di Indonesia. Hal tersebut didasari pada kondisi dimana Indonesia hanya memiliki RTH di 13 dari 174 kota yang mengikuti program kota hijau (Defitri, 2023), padahal menurut Undang-Undang No. 26 Tahun 2007 Tentang Penataan Ruang, kondisi ideal sebuah kota memiliki RTH sekurang-kurangnya 30% dari total luas kota. Minimnya jumlah RTH kemungkinan terjadi akibat keberadaan lahan yang dimiliki pemerintah untuk dijadikan sebagai RTH masih rendah dan akibat sulitnya revitalisasi lahan yang ada akibat permasalahan perizinan dan harga ataupun kondisi yang kurang strategi untuk dijadikan sebagai RTH.

Dari dimensi pemeliharaan lingkungan baik variabel volume produksi sampah maupun volume penanganan sampah masih menunjukkan kinerja yang belum optimal untuk mencapai kualitas lingkungan yang lebih baik. Hal tersebut didasari pada tingginya volume sampah yang terjadi di Indonesia, misalnya di TPA Piyungan, Daerah Istimewa Yogyakarta, yang menutup TPA akibat tingginya volume sampah plastik pada Agustus 2023. Tingginya volume sampah tersebut kemungkinan diakibatkan akibat penggunaan produk kemasan plastik yang masih tinggi, pengelolaan sampah yang hanya memanfaatkan TPA dan mencemari lingkungan, dan kesadaran masyarakat untuk mendaur ulang sampah masih rendah. Padahal adanya penumpukan sampah akan mengakibatkan terjadinya pencemaran tanah (Samputri et al., 2023). Tanah yang terkontaminasi oleh tumpukan sampah akan mengakibatkan kandungan unsur hara tanah berkurang, menghasilkan gas nitrogen, asam fluida, dan zat merkuri yang merusak lingkungan, gangguan terhadap biota tanah, tercemarnya sumber air tanah hingga munculnya penyakit kecil yang mengganggu kesehatan.

Pembahasan model tujuan ekonomi

Pada model tujuan ekonomi, hasil regresi menunjukkan bahwa variabel ekonomi sirkular dimensi pengelolaan sumber daya, efisiensi sumber daya, dan variabel VPNS menunjukkan koefisien regresi positif sedangkan variabel VPS menunjukkan koefisien regresi negatif. Nilai koefisien regresi variabel RTH sebesar 0,410 menunjukkan ketika

terjadi peningkatan luas RTH sebesar 1 km² maka realisasi investasi akan meningkat sebesar 0,410 juta rupiah, *ceteris paribus*. Koefisien regresi KL sebesar 15,845 mengindikasikan ketika variabel KL terjadi kenaikan sebesar 1 miliar rupiah, maka realisasi investasi akan meningkat sebesar 15,845 juta rupiah, *ceteris paribus*. Koefisien regresi VPS sebesar -1,743 menunjukkan ketika VPS terjadi peningkatan sebesar 1 ton/tahun, maka realisasi investasi akan mengalami penurunan sebesar 1,743 juta rupiah, *ceteris paribus*. Koefisien regresi VPNS sebesar 0,0049 menunjukkan ketika variabel VPNS terjadi kenaikan sebesar 1 ton/tahun, maka realisasi investasi akan meningkat sebesar 0,0049 juta rupiah, *ceteris paribus*. Sedangkan untuk hasil uji t menunjukkan bahwa hanya variabel KL yang menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap realisasi investasi dengan tingkat signifikansi 1%, sedangkan variabel RTH, VPS, dan VPNS menunjukkan tidak adanya pengaruh terhadap realisasi investasi. Hasil uji F menunjukkan nilai probabilitas sebesar $0,0000 < 0,05$, sehingga mengindikasikan bahwa variabel RTH, KL, VPS, dan VPNS memiliki pengaruh yang signifikan terhadap realisasi investasi. Nilai *adjusted R-squared* sebesar 0,998 menunjukkan bahwa sebesar 99,8% realisasi investasi dipengaruhi oleh variabel ekonomi sirkular sedangkan sisanya sebesar 0,2% dipengaruhi oleh variabel lain diluar model.

Berdasarkan hasil regresi pada model tujuan ekonomi menunjukkan bahwa variabel ekonomi sirkular dimensi efisiensi sumber daya memiliki pengaruh yang signifikan terhadap pembangunan berkelanjutan tujuan ekonomi di Indonesia. Variabel pengadaan konsumsi listrik mampu mendukung terjadinya peningkatan realisasi investasi. Konsumsi listrik yang semakin tinggi menunjukkan bahwa daya beli masyarakat untuk menggunakan energi listrik juga tinggi. Hal tersebut mendorong pemerintah untuk meningkatkan infrastruktur jaringan ketenagalistrikan dan pembangkit listrik melalui aliran investasi yang stabil dan terjamin. Sehingga akan terjadi peningkatan realisasi investasi oleh pemerintah. Upaya tersebut turut didukung oleh pemerintah melalui PT PLN yang melakukan investasi sebesar Rp.87,7 triliun sepanjang tahun 2021 guna membangun 175 yang berupa pembangkit listrik, gardu induk dan transmisi. Hal tersebut bertujuan untuk memberikan akses listrik yang merata bagi masyarakat Indonesia dan meningkatkan daya beli listrik masyarakat. Oleh karena itu, melalui peran pemerintah diharapkan investasi yang dialirkan untuk perekonomian dan infrastruktur di Indonesia dapat memberikan manfaat ekonomi dalam mencapai pembangunan yang berkelanjutan (Bappenas, 2022).

Dimensi pengelolaan sumber daya menunjukkan pengaruh yang tidak signifikan terhadap pembangunan berkelanjutan tujuan ekonomi di Indonesia. Kondisi RTH di Indonesia menunjukkan kinerja yang kurang optimal dalam mendukung terjadinya realisasi investasi. Hal tersebut kemungkinan disebabkan rendahnya pembangunan di sektor fasilitas publik. Faktanya sektor yang memiliki peminat tertinggi di Indonesia adalah sektor transportasi, gudang, dan telekomunikasi (BPS, 2023). Rendahnya minat investor tersebut kemungkinan dipengaruhi oleh kondisi stabilitas politik dan sosial, stabilitas ekonomi, regulasi, tata kelola pemerintahan hingga masifnya pengalihan fungsi lahan. Sehingga menyulitkan Pemerintah melakukan revitalisasi lahan untuk pengembangan RTH. Kemudian, adanya penggunaan dana yang tidak efektif oleh pemerintah juga turut menjadikan rendahnya peningkatan dan pengelolaan RTH (Rohima, 2022).

Ditinjau dari dimensi pemeliharaan lingkungan menunjukkan pengaruh yang tidak signifikan terhadap pembangunan berkelanjutan tujuan ekonomi di Indonesia. Variabel volume produksi sampah dan volume penanganan sampah menunjukkan kinerja yang kurang optimal dalam menciptakan iklim realisasi investasi. Volume produksi sampah di Indonesia menunjukkan tren yang cenderung meningkat dan dibarengi dengan

tingkat penanganan sampah yang masih rendah sehingga mengakibatkan sampah berakhir di TPA tanpa adanya pengelolaan lebih lanjut.

Hal ini menunjukkan bahwa teknologi pengelolaan sampah di Indonesia masih sedikit. Untuk mendukung hal tersebut diperlukan dorongan agar terciptanya investasi hijau di Indonesia. Investasi hijau merupakan investasi yang cenderung memperhatikan sektor lingkungan secara berkelanjutan di samping sektor ekonomi. Namun, investasi hijau di Indonesia menunjukkan tren yang melambat apabila dibandingkan dengan investasi non-hijau (Pramana & Dewi, 2023). Selain itu, kebijakan investasi hijau yang kurang komprehensif membuat kurangnya minat calon investor untuk menanamkan modalnya. Sehingga perlu kebijakan untuk menciptakan iklim investasi yang tinggi untuk mendorong terjadinya pengelolaan sampah yang berkelanjutan.

Pembahasan model tujuan sosial

Pada model tujuan sosial, hasil regresi menunjukkan bahwa tiga dimensi variabel ekonomi sirkular menunjukkan koefisien regresi yang positif. Koefisien regresi variabel RTH sebesar 0.0000 menunjukkan apabila adanya peningkatan luas RTH sebesar 1 km², maka IPM akan meningkat sebesar 0.0000%, *ceteris paribus*. Nilai koefisien regresi variabel KL sebesar 0,0008 menunjukkan ketika variabel KL meningkat sebesar 1 miliar rupiah, maka IPM akan meningkat sebesar 0,0008%, *ceteris paribus*. Koefisien regresi variabel VPS sebesar 0.0000 mengindikasikan bahwa apabila VPS meningkat sebesar 1 ton/tahun maka IPM akan meningkat sebesar 0.0000%, *ceteris paribus*. Nilai koefisien regresi VPNS sebesar 0.0000 menunjukkan ketika variabel VPNS terjadi kenaikan sebesar 1 ton/tahun, maka IPM akan mengalami peningkatan sebesar 0.0000%, *ceteris paribus*. Sedangkan untuk hasil uji t menunjukkan bahwa hanya variabel KL yang menunjukkan pengaruh signifikan terhadap IPM dengan tingkat signifikansi 5%, sedangkan variabel RTH, VPS, dan VPNS menunjukkan tidak adanya pengaruh terhadap realisasi investasi. Hasil uji F menunjukkan nilai probabilitas sebesar $0,0005 < 0,05$, sehingga mengindikasikan bahwa variabel RTH, KL, VPS, dan VPNS memiliki pengaruh yang signifikan terhadap IPM. Nilai *adjusted R-squared* sebesar 0,113 menunjukkan bahwa sebesar 11,3% IPM dipengaruhi oleh variabel ekonomi sirkular sedangkan sisanya sebesar 88,7% dipengaruhi oleh variabel lain diluar model.

Pada pembangunan berkelanjutan tujuan sosial menunjukkan adanya pengaruh yang signifikan dengan ekonomi sirkular dimensi efisiensi sumber daya. Variabel pengadaan konsumsi listrik mampu mendorong terjadinya peningkatan IPM di Indonesia. Hal ini sejalan dengan penelitian Suprpto & Hasanah (2022) yang menunjukkan bahwa secara umum energi listrik memiliki pengaruh yang positif dan signifikan terhadap peningkatan IPM di Indonesia. Hal ini didasari bahwa penggunaan energi listrik yang baik akan menciptakan fasilitas kesehatan yang berkualitas serta akses pendidikan dan pembangunan yang lebih tinggi. Apabila ditinjau secara umum, adanya konsumsi energi listrik akan berpengaruh terhadap pertumbuhan ekonomi dan secara tidak langsung akan meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Konsumsi listrik digunakan oleh masyarakat untuk memenuhi kebutuhan pendukung kegiatan aktivitasnya, oleh karena itu konsumsi energi listrik akan mempengaruhi IPM (Giffari & Rizki, 2016). Sehingga perlu adanya dukungan dari Pemerintah untuk melakukan pemerataan distribusi energi listrik ke seluruh masyarakat agar mendorong kesejahteraan masyarakat yang lebih tinggi dan pembangunan yang berkelanjutan.

Dari sisi dimensi pengelolaan sumber daya memiliki pengaruh yang tidak signifikan terhadap pembangunan berkelanjutan tujuan sosial di Indonesia. Hal ini didasari pada proporsi RTH di Indonesia terbilang rendah sehingga menimbulkan

banyak pencemaran udara yang akan menurunkan kesejahteraan masyarakat. Hal tersebut bisa diakibatkan oleh meningkatnya populasi penduduk, meningkatnya industrialisasi tanpa memperhatikan lingkungan hingga pemukiman yang padat. Sehingga akan menimbulkan banyaknya polusi dan berdampak pada kesejahteraan masyarakat. Kondisi tersebut memiliki karakteristik yang sama dengan dimensi pemeliharaan lingkungan dengan menggunakan variabel volume produksi sampah dan volume penanganan sampah yang menunjukkan pengaruh yang tidak signifikan. Kondisi tersebut terjadi akibat tingginya volume sampah akan memicu terjadinya pencemaran tanah, air, dan udara. Tanah yang tercemar oleh tumpukan sampah akan memicu timbulnya penyakit dan menghasilkan berbagai cairan gas yang berbahaya bagi kesehatan. Sehingga akan mempengaruhi kualitas hidup masyarakat dan menurunkan tingkat kesejahteraan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan diatas dapat disimpulkan bahwa penerapan ekonomi sirkular dimensi efisiensi sumber daya telah mampu mendukung tercapainya pembangunan berkelanjutan tujuan lingkungan, ekonomi, dan sosial. Lain halnya dengan dimensi pengelolaan sumber daya dan pemeliharaan lingkungan yang menunjukkan kinerja yang belum optimal dalam mendukung tercapainya pembangunan berkelanjutan baik tujuan lingkungan, ekonomi, maupun sosial di Indonesia. Hal ini didasari pada proporsi RTH yang rendah, tingkat volume produksi sampah yang tinggi dan dibarengi dengan rendahnya pengelolaan sampah di Indonesia. Sehingga perlu adanya dukungan dari berbagai pihak pemangku kebijakan untuk meningkatkan penerapan ekonomi sirkular di Indonesia dalam mencapai strategi pembangunan berkelanjutan di Indonesia.

Saran

Adapun saran dari penelitian ini diantaranya: 1) Perlu untuk meningkatkan penggunaan bauran energi baru terbarukan sebagai sumber energi pembangkit listrik di Indonesia; 2) Menekan tingkat urbanisasi yang mengakibatkan meningkatnya penduduk perkotaan dan memicu adanya penggunaan lahan secara ilegal; 3) Pengembangan program *waste-to-energy*; serta 4) Masyarakat perlu untuk melakukan perubahan gaya hidup menuju *zero waste*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, E. B., Anufriev, V. P., & Amfo, B. (2021). Green Economy Implementation In Ghana as A Road Map For A Sustainable Development Drive: A Review. *Scientific African*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00756>
- Badan Pusat Statistik (BPS). (2023). *Realisasi Investasi Penanaman Modal Dalam Negeri Menurut Sektor Ekonomi (23 Sektor) (Juta US\$), 2020-2022*.
- Bappenas. (2022). *Mendorong Investasi untuk Mewujudkan Pertumbuhan Hijau bagi Indonesia dengan Program Pertumbuhan Hijau GGGI*.
- Bogusz, M., Matysik-pejas, R., Krasnodebski, A., & Dziekański, P. (2021). The Concept of Zero Waste In The Context of Supporting Environmental Protection by Consumers. *Energies*, 14(18). <https://doi.org/10.3390/en14185964>
- Defitri, M. (2023). Kondisi Ruang Terbuka Hijau di Indonesia. In *Waste4change*.
- Elder, M., & Olsen, S. H. (2019). The Design of Environmental Priorities in the SDGs.

- Global Policy*, 10(1), 70–82. <https://doi.org/10.1111/1758-5899.12596>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A New Sustainability Paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143(April 2018), 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Giffari, S., & Rizki, C. Z. (2016). Analisis Pengaruh Energi Terhadap Indeks Pembangunan Manusia di Indonesia. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa (JIM)*, 3(1), 49–58.
- Hallegatte, S., Geoffrey, H., Fay, M., & Treguer, D. (2012). From Growth to Green Growth - A Framework. In *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3386/w17841>
- Hussein, S. H. A. (2023). The Impact of a Circular Economy on Sustainable Development (Applied on Egypt). *Journal of Business Research*, 16(4), 7–14. <https://doi.org/10.56583/br.33>
- Indonesia. (2007). *Undang Undang No. 26 Tahun 2007 Tentang Penataan Ruang*.
- Kasmaniar, Yana, S., Nelly, Fitriiana, Susanti, Hanum, F., & Rahmatullah, A. (2023). Pengembangan Energi Terbarukan Biomassa dari Sumber Pertanian, Perkebunan dan Hasil Hutan: Kajian Pengembangan dan Kendalanya. *Jurnal Serambi Engineering*, VIII(1), 4957–4964. <https://doi.org/https://doi.org/10.32672/jse.v8i1.5668>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2022). Laporan Kinerja 2022. *Laporan Kinerja Ditjen MIGAS*, 53(9), 1689–1699.
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the Circular Economy: An Analysis of 114 Definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127(April), 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Klarin, T. (2018). The Concept of Sustainable Development: From its Beginning to the Contemporary Issues. *Zagreb International Review of Economics and Business*, 21(1), 67–94. <https://doi.org/10.2478/zireb-2018-0005>
- Knäble, D., de Quevedo Puente, E., Pérez-Cornejo, C., & Baumgärtler, T. (2022). The Impact of The Circular Economy on Sustainable Development: A European Panel Data Approach. *Sustainable Production and Consumption*, 34, 233–243. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.09.016>
- Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, 143, 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>
- Lisitsa, M., Khutieva, E., Doroshenko, O., Konareva, A., & Trifonova, L. (2022). Circular Economy as an Alternative to Green Economy. *Advances in Engineering Research*, 213(Eaf 2021), 178–181. <https://doi.org/10.2991/aer.k.220308.029>
- Mangukiya, R. D., & Sklarew, D. M. (2023). Analyzing Three Pillars of Sustainable Development Goals at Sub-National Scales Within The USA. *World Development Sustainability*, 2(12), 100058. <https://doi.org/10.1016/j.wds.2023.100058>
- Pramana, M. A., & Dewi, Y. K. (2023). Perkembangan Kebijakan Green Investment Dalam Peraturan Perundang-Undangan di Indonesia. *Simbur Cahaya*, XXX(1), 2–6. <https://doi.org/10.28946/sc.v30i1.2833>
- Qing, Y., Qionqiong, G., & Mingyue, C. (2011). Study and Integrative Evaluation On The Development of Circular Economy of Shaanxi Province. *Energy Procedia*, 5, 1568–1578. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.03.268>
- Rahmawati, A. F., Amin, Rasminto, & Syamsu, F. D. (2021). Analisis Pengelolaan Sampah Berkelanjutan Pada Wilayah Perkotaan di Indonesia. *Bina Gogik*, Vol.8(1), 1–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.61290/pgsd.v8i1.289>

- Rohima, A. P. (2022). Faktor Penghambat Pengelolaan Ruang Terbuka Hijau (RTH) di Kota Jambi. *Bureaucracy Journal : Indonesia Journal of Law and Social-Political Governance*, 2(1), 206–220. <https://doi.org/10.53363/bureau.v2i1.26>
- Samputri, A. V., Lestari, A., & Adi, N. P. (2023). Dampak Timbulan Sampah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Wonorejo Kabupaten Wonosobo Terhadap Lingkungan Tanah. *Banua: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 3, 24–30. <https://doi.org/10.33860/bjkl.v3i.2582>
- Suprpto, I., & Hasanah, U. (2022). Energi Listrik dan Pembangunan Manusia: Bukti Empiris Dari Tingkat Provinsi di Indonesia. *Jurnal Ekonomi Dan Kebijakan Publik Indonesia*, 9(2), 1–17. <https://doi.org/https://doi.org/10.24815/ekapi.v9i1.26144>
- Visvaldis, V., Ainhoa, G., & Ralfs, P. (2013). Selecting Indicators for Sustainable Development of Small Towns: The Case of Valmiera Municipality. *Procedia Computer Science*, 26(December), 21–32. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.12.004>
- Zhang, P., Xie, Y., Wang, Y., Li, B., Li, B., Jia, Q., Yang, Z., & Cai, Y. (2021). Water-Energy-Food System In Typical Cities of The World and China Under Zero-Waste: Commonalities and Asynchronous Experiences Support Sustainable Development. *Ecological Indicators*, 132(October). <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108221>