

## Dampak Tenaga Air dan Bahan Bakar Fosil terhadap Implementasi Ekonomi Hijau di Indonesia

### *The Impact of Hydropower and Fossil Fuel on Green Economy Implementation in Indonesia*

Siti Allifah<sup>1</sup>, Yusman Syaukat<sup>2</sup>, Pini Wijayanti<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Ekonomi Sumberdaya dan Lingkungan, Fakultas Ekonomi dan Manajemen, IPB University, Jl. Raya Dramaga, Bogor 16680, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Ekonomi Pertanian, Fakultas Ekonomi dan Manajemen, IPB University, Jl. Raya Dramaga, Bogor 16680, Indonesia

\*Email korespondensi : [pini\\_wijayanti@apps.ipb.ac.id](mailto:pini_wijayanti@apps.ipb.ac.id)

#### ABSTRAK

Pertumbuhan ekonomi penting bagi masyarakat, tetapi jika kerusakan lingkungan seperti pencemaran udara dan emisi CO<sub>2</sub> yang terus meningkat maka justru akan merugikan masyarakat. Dalam hal ini, konsep *green economy* muncul untuk mencapai pembangunan berkelanjutan salah satunya melalui sektor energi, dimana pengembangan PLTA menjadi salah satu upayanya. Tujuan dari penelitian ini adalah mengestimasi pengaruh jangka pendek dan panjang produksi listrik dari PLTA serta konsumsi batu bara, gas alam, dan minyak bumi terhadap emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia dan mengevaluasi hipotesis *Environmental Kuznets Curve* (EKC) dalam konteks energi baru terbarukan (EBT) Indonesia. Untuk menguji hal tersebut, penelitian ini menggunakan metode *Autoregressive Distributed Lag* (ARDL) dengan data sekunder dari tahun 2000-2018. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar fosil akan meningkatkan emisi gas rumah kaca (GRK) jangka pendek maupun panjang sementara peningkatan produksi listrik dari PLTA akan menurunkan emisi gas rumah kaca. Hingga saat ini, Indonesia masih berada di posisi *scale effect*, artinya kerusakan lingkungan dengan indikator emisi CO<sub>2</sub> terus meningkat akibat aktivitas perekonomian.

Kata kunci: bahan bakar fosil, emisi, ekonomi hijau, pembangunan berkelanjutan, PLTA

#### ABSTRACT

*Economic growth is important for society, but if environmental damage e.g., air pollution and CO<sub>2</sub> emission continuously increases, then it will cost society. In this case, the concept of a green economy appears to achieve sustainable development, one of which is through the energy sector. Hydropower development is one of the efforts in the green economy. The purpose of this study is to estimate the short- and long-term effects of electricity production from hydropower and the consumption of coal, natural gas, and oil on CO<sub>2</sub> emissions in Indonesia and evaluate the Environmental Kuznets Curve (EKC) hypothesis in the context of Indonesia's new and renewable energy (EBT). To test this, this study uses the Autoregressive Distributed Lag (ARDL) method with secondary data from 2000-2018. The results show that the consumption of fossil fuels will increase short and long-term greenhouse gas (GHG) emissions while increasing electricity production from hydropower will reduce environmental damage in Indonesia. Currently, Indonesia is still in a position of scale of effect, meaning that environmental damage with CO<sub>2</sub> emission indicators continues to increase due to economic activity.*

*Keywords: fossil fuel, emission, green economy, sustainable development, hydropower*

## PENDAHULUAN

Kerusakan lingkungan dan rendahnya kesadaran masyarakat terhadap lingkungan mendorong perlunya penerapan pembangunan berkelanjutan. Kerusakan lingkungan terjadi karena tingginya tingkat eksploitasi sumber daya alam untuk memenuhi kepentingan ekonomi tanpa diiringi kesadaran menjaga lingkungan (Dutu, 2016). Pilar lingkungan ini merupakan salah satu dari tiga pilar dalam pembangunan berkelanjutan (sosial, ekonomi, dan lingkungan) yang masih terkendala dalam penerapannya di Indonesia (Bappenas, 2014).

Sejalan dengan penerapan pembangunan berkelanjutan, konsep *green economy* dicetuskan untuk mencapai pembangunan berkelanjutan secara bertahap. Konsep ini menekankan pertumbuhan ekonomi yang mengutamakan keadilan sosial dan tanpa mengabaikan perlindungan lingkungan baik melalui sisi produksi seperti di bidang energi dan konsumsi dari tingkat individu hingga perusahaan (Bappenas, 2014).

Khususnya di sektor energi, penerapan ekonomi hijau masih jauh dari harapan karena ketergantungan pada sumber energi fosil seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam masih tinggi. Hal ini terjadi dalam penambangan, pengolahan menjadi bahan bakar, dan penggunaan yang berdampak pada peningkatan emisi GRK, khususnya emisi CO<sub>2</sub>, jenis emisi GRK paling dominan di sektor energi Indonesia dengan *share* 93.87% pada tahun 2016 (KESDM, 2017). Di sisi lain, Indonesia memiliki potensi sumber energi terbarukan (EBT) yang besar, seperti seperti tenaga air, angin, maupun bahan bakar nabati (BBN) yang belum banyak direalisasikan (Bappenas, 2014). Karena itu, konsep energi berkelanjutan (*green energy*) harus diterapkan untuk mengurangi ketergantungan bahan bakar fosil.

Pemanfaatan EBT di Indonesia masih menunjukkan capaian yang rendah. Kapasitas terpasang pembangkit listrik EBT di tahun 2015, hanya 2% dari total potensi EBT di Indonesia yaitu sebesar 443.208 MW dan capaian bauran EBT di tahun 2021 baru mencapai 11.70% dengan realisasi penambahan kapasitas terbesar pada PLTA,

yaitu 320 MW (Perpres, 2017; DJEBTKE, 2021). Dalam bauran energi yang diatur dalam PP No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, Indonesia menargetkan EBT setidaknya 23% di tahun 2025 dan 31% di tahun 2050 (DJPPPI, 2017). Target ini setara dengan 45.20 GW pembangkit listrik EBT di tahun 2025 yang terdiri dari Pembangkit Listrik Panas Bumi (PLTP), PLTA, dan lainnya.

Pengembangan EBT berkontribusi pada bauran energi sekaligus akan menurunkan emisi CO<sub>2</sub>, khususnya PLTA. Dalam Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2021-2030, PLTA merupakan EBT yang memiliki target terbesar dalam penambahan kapasitas pembangkit listrik Indonesia periode 2021-2030, yaitu sebesar 10.40 GW atau 25.6% dari kapasitas total (PLN, 2021). Pengembangan tersebut akan memberikan dampak positif bagi lingkungan seperti sumber pasokan air, dan rekreasi, namun dapat berdampak negatif juga pada lingkungan, contohnya terganggunya aliran sungai (Tahseen & Karney, 2017).

Penelitian terdahulu telah banyak menganalisis pengaruh PLTA serta konsumsi bahan bakar fosil terhadap emisi CO<sub>2</sub>. Secara umum, konsumsi bahan bakar fosil akan meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> yang kemudian menurunkan kualitas lingkungan karena polusi udara. Sedangkan, EBT - salah satunya PLTA, dapat meningkatkan kualitas lingkungan secara bertahap. Hal ini ditunjukkan oleh Ridzuan et al., (2020) di Thailand, Malaysia, dan Indonesia. Selanjutnya, Murshed et al., (2021) melakukan penelitian dengan menggunakan variabel konsumsi energi dari batu bara, gas alam, minyak bumi, dan *liquefied petroleum gas* (LPG) di Bangladesh. Konsumsi dari batu bara dan minyak bumi menunjukkan pengaruh negatif pada kualitas lingkungan di Bangladesh.

Penggunaan teknologi yang lebih modern dan bersih seperti PLTA diprediksi akan menurunkan pencemaran lingkungan sebagai dampak pertumbuhan ekonomi (Murshed et al., (2021). Dalam hipotesis EKC, pertumbuhan ekonomi akan meningkatkan pencemaran lingkungan dalam jangka pendek namun seiring meningkatnya perekonomian dalam jangka

panjang akan menurunkan pencemaran tersebut (Ozatac et al., 2017). Adanya pengembangan PLTA diharapkan dapat memperbaiki kualitas lingkungan di Indonesia dalam jangka pendek maupun panjang. Hal ini disebabkan oleh adanya pengaruh dari pengembangan teknologi yang rendah emisi pada hubungan jangka pendek maupun panjang (Ali et al., 2021).

Penelitian ini secara umum bertujuan untuk menganalisis peran bauran energi terhadap kualitas lingkungan dan pembangunan ekonomi Indonesia. Tujuan umum tersebut dapat dicapai dengan menjawab dua tujuan khusus, yaitu 1) mengestimasi pengaruh jangka pendek dan panjang produksi listrik dari PLTA serta konsumsi batu bara, gas alam, dan minyak bumi terhadap emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia, 2) mengevaluasi hipotesis *Environmental Kuznets Curve* (EKC) dalam konteks energi baru terbarukan (EBT) Indonesia.

## BAHAN DAN METODE

### Model dan Metode Analisis Data

Penelitian ini membagi variabel konsumsi bahan bakar fosil menjadi konsumsi batu bara, gas alam, dan minyak bumi serta produksi listrik dari PLTA sebagai alternatif energi. PLTA mendominasi rencana penambahan kapasitas pembangkit listrik berbasis EBT periode 2021-2030 dan tiga jenis bahan bakar fosil tersebut adalah bahan bakar untuk listrik yang tertinggi di Indonesia (DEN, 2019; PLN, 2021). Selain itu, penelitian terdahulu masih berfokus pada konsumsi energi dari PLTA dan penelitian terkait produksi listrik dari PLTA masih terbatas, khususnya di Indonesia. Model kualitas lingkungan dalam penelitian ini disajikan pada Persamaan 1.

$$\begin{aligned} \ln CO_{2t} = & \gamma_0 + \gamma_1 \ln Hydro_t \\ & + \gamma_2 \ln Coal_t \\ & + \gamma_3 \ln NGas_t \\ & + \gamma_4 \ln Oil_t \\ & + \gamma_5 \ln RGDP_t \\ & + \gamma_6 (\ln RGDP_t)^2 \\ & + u_t \end{aligned} \quad \dots\dots(1)$$

Keterangan:

$CO_{2t}$  = Emisi CO<sub>2</sub> (metrik ton per kapita)

$Hydro_t$  = Total produksi listrik dari PLTA (kWh per kapita)  
 $Coal_t$  = Total konsumsi batu bara (BOE per kapita)  
 $NGas_t$  = Total konsumsi gas alam (BOE per kapita)  
 $Oil_t$  = Total konsumsi minyak olahan (BOE per kapita)  
 $RGDP_t$  = PDB riil per kapita (konstan 2010 USD)

Seluruh variabel ditransformasikan ke dalam logaritma natural untuk menunjukkan nilai elastisitas. Hipotesis dari Persamaan 1 adalah  $\gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$ , dan  $\gamma_5 > 0$  serta  $\gamma_1$  dan  $\gamma_6 < 0$  (Murshed et al., 2021).

1. Pengaruh Jangka Pendek dan Panjang Produksi Listrik dari PLTA serta Konsumsi Batu Bara, Gas Alam, dan Minyak Bumi terhadap Emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia

Metode analisis yang digunakan untuk mengestimasi pengaruh jangka pendek dan panjang produksi listrik dari PLTA dan konsumsi bahan bakar fosil terhadap emisi CO<sub>2</sub> adalah metode *Autoregressive Distributed-lag* (ARDL). Uji praestimasi yang perlu dilakukan sebagai berikut:

#### a. Uji Stasioneritas

Uji *unit root* dilakukan untuk mengevaluasi sifat stasioneritas dari variabel *time series* pada penelitian ini. Adanya ketidakstasioneran akan meningkatkan kemungkinan dalam perkiraan elastisitas palsu atau fenomena regresi palsu (*spurious regression*). Uji *unit root* yang digunakan adalah Phillips-Perron test (PP test). Hipotesis nol dari PP test adalah adanya unit root dalam deret tersebut (Gokmenoglu et al., 2015).

#### b. Uji Kointegrasi

Uji kointegrasi dalam penelitian ini menggunakan *Bounds Testing Cointegration* yang dikembangkan oleh (Pesaran et al., 2001). Hal ini dilakukan untuk menguji adanya kointegrasi pada model yang memiliki stasioneritas terintegrasi pada level dan *first difference*. Hubungan kointegrasi antar variabel dapat dilihat dengan menggunakan F-statistik. Jika F-statistik yang dihitung lebih besar dari nilai

kritis batas atas,  $H_0$  ditolak dan sebaliknya,  $H_0$  tidak dapat ditolak. Selanjutnya, jika nilai tersebut terletak di antara batas bawah dan atas, kointegrasi tidak dapat disimpulkan atau tidak meyakinkan.

c. Uji Lag Optimum

Uji lag optimum digunakan untuk memilih urutan lag optimal dari variabel. Penelitian ini menggunakan *Akaike Information Criterion* (AIC) untuk memilih maksimal lag yang relevan (Jumhur, 2020). Penentuan lag optimum dilakukan dengan memilih lag yang menghasilkan nilai AIC terendah.

d. Estimasi Model ARDL

Pemodelan ARDL mencakup model estimasi *Unrestricted Error-Correction Model* (UECM). Sesuai hipotesis EKC, bentuk kuadrat dari PDB riil per kapita ( $\ln\text{RGDP}$ )<sup>2</sup> diperhitungkan dalam model. Model UECM dengan emisi CO<sub>2</sub> sebagai variabel dependen dinyatakan pada Persamaan 2.

$$\begin{aligned} \Delta \ln \text{CO}_2_t &= \beta_0 + \beta_1 \ln \text{CO}_2_{t-1} + \beta_2 \ln \text{Hydro}_{t-1} \\ &+ \beta_3 \ln \text{Coal}_{t-1} + \beta_4 \ln \text{NGas}_{t-1} \\ &+ \beta_5 \ln \text{Oil}_{t-1} + \beta_6 \ln \text{RGDP}_{t-1} \\ &+ \beta_7 (\ln \text{RGDP})^2_{t-1} \\ &+ \sum_{a=1}^m \alpha_a \Delta \ln \text{CO}_2_{t-a} \\ &+ \sum_{b=1}^n \alpha_b \Delta \ln \text{Hydro}_{t-b} \\ &+ \sum_{c=1}^o \alpha_c \Delta \ln \text{Coal}_{t-c} \\ &+ \sum_{d=1}^p \alpha_d \Delta \ln \text{NGas}_{t-d} \\ &+ \sum_{e=1}^q \alpha_e \Delta \ln \text{Oil}_{t-e} \\ &+ \sum_{f=1}^r \alpha_f \Delta \ln \text{RGDP}_{t-f} \\ &+ \sum_{g=1}^r \alpha_g \Delta (\ln \text{RGDP})^2_{t-g} + \varepsilon_t \end{aligned} \quad \dots(2)$$

Keterangan:

- $\beta_0$  = Intersep,
- $\beta, \alpha$  = Koefisien,
- $a$  sampai  $f$  = Lag,
- $\Delta$  = first difference.

Model *Restricted Error Correction Model* (RECM) menunjukkan pengaruh jangka pendek atau elastisitas jangka pendek, yang diestimasi dari Persamaan 3.

$$\begin{aligned} \Delta \ln \text{CO}_2_t &= \delta_1 + \sum_{a=1}^m \alpha_a \Delta \ln \text{CO}_2_{t-a} \\ &+ \sum_{b=1}^n \alpha_b \Delta \ln \text{Hydro}_{t-b} \\ &+ \sum_{c=1}^o \alpha_c \Delta \ln \text{Coal}_{t-c} \\ &+ \sum_{d=1}^p \alpha_d \Delta \ln \text{NGas}_{t-d} \\ &+ \sum_{e=1}^q \alpha_e \Delta \ln \text{Oil}_{t-e} \\ &+ \sum_{f=1}^r \alpha_f \Delta \ln \text{RGDP}_{t-f} \\ &+ \sum_{g=1}^r \alpha_g \Delta (\ln \text{RGDP})^2_{t-g} + \varphi \text{ECT}_{t-1} \\ &+ \varepsilon_t \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

- $\delta_1$  = Intersep

Koefisien  $\text{ECT}_{t-1}$  menunjukkan nilai kecepatan penyesuaian dari ketidakseimbangan. Koefisien tersebut harus negatif dan signifikan secara statistik (Khan et al., 2019). Nilai tersebut diestimasi dengan menggunakan residu persamaan jangka panjang pada Persamaan 4.

$$\begin{aligned} \ln \text{CO}_2_t &= \beta_0 + \beta_1 \ln \text{CO}_2_t \\ &+ \beta_2 \ln \text{Hydro}_t \\ &+ \beta_3 \ln \text{Coal}_t \\ &+ \beta_4 \ln \text{NGas}_t \\ &+ \beta_5 \ln \text{Oil}_t \\ &+ \beta_6 \ln \text{RGDP}_t \\ &+ \beta_7 (\ln \text{RGDP})^2_t \\ &+ \sigma_t \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

- $\sigma_t$  = Error term

Model estimasi ARDL dievaluasi dengan menggunakan berbagai uji diagnostik. Uji Breusch Godfrey Lagrange Multiplier ( $\chi^2$  LM) digunakan untuk menguji keberadaan masalah korelasi serial atau autokorelasi. Stabilitas dari model estimasi ARDL dievaluasi dengan menggunakan uji *cumulative sum* (CUSUM) dan *cumulative*

*sum of squares* (CUSUMSQ) (Khan et al., 2019).

## 2. Evaluasi Hipotesis *Environmental Kuznet Curve* (EKC) dalam Konteks Energi Terbarukan di Indonesia

Berdasarkan Persamaan 4, evaluasi hipotesis EKC dilakukan dengan mempertimbangkan nilai parameter dari PDB per kapita beserta signifikansinya. Hipotesis EKC terbukti apabila  $\beta_5 > 0$  dan  $\beta_6 < 0$  dalam jangka pendek maupun panjang (Ahmad et al., 2021). Selanjutnya, titik balik pada kurva EKC ditentukan oleh  $(-\beta_5 / 2 \beta_6)$  dan  $\exp(-\beta_5 / 2 \beta_6)$  yang merepresentasikan nilai moneterinya.

### Jenis dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder *time series*, yaitu emisi CO<sub>2</sub>, produksi listrik dari PLTA, konsumsi bahan bakar fosil dari batu bara, minyak bumi, dan gas alam, serta PDB Indonesia dalam bentuk per kapita dari tahun 2000-2018. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan data pada setiap variabel. Rincina variabel dan sumber data disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rincian variabel dan sumber data

No	Variabel	Definisi (satuan pengukuran)	Sumber
1	$LnCO_{2t}$	Emisi CO <sub>2</sub> (metrik ton per kapita)	World Bank
2	$LnHydro_t$	Total produksi listrik dari PLTA (kWh per kapita)	KESDM dan BPS Indonesia
3	$LnCoal_t$	Total konsumsi batu bara (BOE per kapita)	KESDM dan BPS Indonesia
4	$LnNGas_t$	Total konsumsi gas alam (BOE per kapita)	KESDM dan BPS Indonesia
5	$LnOil_t$	Total konsumsi minyak olahan (BOE per kapita)	KESDM dan BPS Indonesia
6	$LnRGDP_t$	PDB riil per kapita (konstan 2010 USD)	World Bank
7	$(LnRGDP)^2_t$	PDB riil per kapita (konstan 2010 USD)	World Bank

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengaruh jangka pendek dan panjang produksi listrik dari PLTA serta konsumsi batu bara, gas alam, dan minyak bumi terhadap emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia

Pengaruh Jangka Pendek dan Panjang Produksi Listrik dari PLTA, serta Konsumsi Batu Bara, Gas Alam, dan Minyak Bumi terhadap Emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia Pengaruh konsumsi batu bara, gas alam, dan minyak bumi serta produksi listrik dari PLTA di Indonesia terhadap emisi CO<sub>2</sub> dapat diketahui dalam jangka pendek maupun panjang. Uji praestimasi model ARDL menunjukkan bahwa semua variabel sudah stasioner pada *first difference*, terdapat kointegrasi, *lag* optimal sebesar satu, dan model stabil pada taraf nyata 5%. Hasil estimasi pengaruh jangka pendek dan panjang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil estimasi model jangka pendek dan panjang

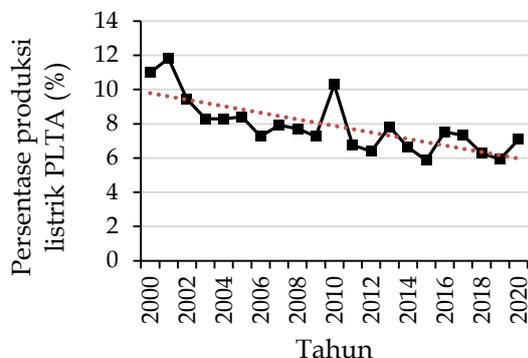
Variabel independen	Nilai koefisien	
	Jangka pendek	Jangka panjang
LnCoal	0.115 ***	0.082 ***
LnOil	0.463 ***	0.328 ***
LnRGDP	-9.617 ***	-6.805 **
(LnRGDP) <sup>2</sup>	0.670 ***	0.474 ***
LnHydro	-0.062 *	-0.044 *
LnNGas	0.023	0.016
ECTt-1	-1.413 ***	
C		24.838 **

Sumber: Hasil olah data (2022)

Keterangan: \*\*\*, \*\*), dan \*) signifikan pada taraf nyata 1 persen, 5 persen, dan 10 persen

Tabel 2 menunjukkan nilai elastisitas dari konsumsi batu bara ( $LnCoal$ ), minyak bumi ( $LnOil$ ), gas alam ( $LnNGas$ ), produksi listrik dari PLTA ( $LnHydro$ ), dan PDB ( $LnRGDP$  dan  $(LnRGDP)^2$ ) dalam bentuk per kapita terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita ( $LnCO_2$ ). Contohnya, elastisitas konsumsi batu bara per kapita memiliki arti bahwa kenaikan konsumsi batu bara per kapita sebesar 1% akan meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> sebesar 0.115% dan 0.082% dalam jangka pendek dan panjang, *ceteris paribus*. Dari keenam nilai elastisitas tersebut, elastisitas konsumsi gas alam per kapita terhadap emisi CO<sub>2</sub> per kapita merupakan satu-satunya yang tidak signifikan dalam jangka pendek dan panjang.

Sejauh perkembangan produksi listrik dari PLTA, baik perkiraan elastisitas jangka pendek dan jangka panjang menegaskan peningkatan produksi listrik dari PLTA meningkatkan kualitas lingkungan. Namun, nilai elastisitas produksi listrik pada jangka panjang dari PLTA terhadap emisi CO<sub>2</sub> (LnHydro) menunjukkan nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan jangka pendek (Tabel 2). Kondisi ini pun terjadi di Brazil yang mengembangkan PLTA pada bauran energinya (Zambrano-Monserrate et al., 2016). Di Indonesia, hal ini dapat disebabkan oleh persentase produksi listrik dari PLTA yang menurun dari tahun 2000-2020 karena peningkatan jumlah produksi listrik dari PLTU, sedimentasi, serta lamanya waktu dan mahal biaya pembangunan yang menurunkan kontribusi PLTA pada penurunan emisi CO<sub>2</sub> di jangka panjang (Gambar 1). Persentase produksi listrik yang dihasilkan oleh PLTU mendominasi produksi listrik Indonesia. Sementara itu, sedimentasi akan menurunkan output listrik, produksi, dan pendapatan energi seperti di PLTA Lamajan di Bandung (Wild & Loucks, 2014).



Gambar 1. Persentase produksi listrik dari PLTA tahun 2000-2020  
(Sumber: KESDM (2019) dan KESDM (2020))

PLTA berkontribusi paling besar pada bauran EBT di tahun 2021. Kapasitas terpasang PLTA meningkat dari 6141 MW menjadi 6602 MW di tahun 2020 dan 2021 sehingga kontribusi EBT di tahun 2021 menjadi 11.7%. Capaian tersebut masih jauh dari target bauran EBT sebesar 23% di tahun 2025. Menurut DJEBTKE (2021), terdapat satu unit PLTA yang mengalami pergeseran

waktu *Commercial Operation Date* (COD) yang awalnya direncanakan akhir tahun 2021 menjadi 2022, yaitu PLTA Jatigede (2 x 55 MW). Walau demikian, kapasitas terpasang PLTA pada tahun 2021 masih jauh dari potensi PLTA yang Indonesia miliki, yaitu sekitar 75.091 MW sehingga sisa potensi yang masih belum terealisasi untuk berkontribusi dalam bauran energi adalah sebesar 68.489 MW (Perpres, 2017).

Sebaliknya, konsumsi bahan bakar fosil seperti batu bara berpotensi meningkatkan emisi CO<sub>2</sub>. Pada penelitian ini, pengaruh tersebut lebih rendah daripada minyak bumi dan lebih tinggi dari gas alam pada jangka pendek dan panjang. Hal ini disebabkan oleh konsumsi batu bara meningkat setiap tahunnya hingga melebihi gas alam di tahun 2019 namun lebih rendah dari minyak bumi. Selain itu, potensi emisi CO<sub>2</sub> batu bara lebih tinggi daripada gas alam, yaitu sebesar 1.816 t CO<sub>2</sub> per ton (KLH, 2012). Pengaruh ini diprediksi akan menurun pada jangka panjang karena adanya teknologi untuk mengurangi konsumsi batu bara. Sektor ketenagalistrikan mengembangkan *co-firing*, yaitu pembakaran dua bahan bakar yang berbeda, batu bara dan biomassa, secara bersamaan yang telah diterapkan di 27 lokasi PLTU di tahun 2021 dan akan meningkat hingga 52 unit di tahun 2024, contohnya PLTU Ketapang (DJEBTKE, 2021). Di sektor industri, *co-processing* dapat menurunkan emisi CO<sub>2</sub> dari industri semen dengan penggunaan bahan bakar alternatif, contohnya substitusi batu bara dengan biomassa oleh PT Semen Indonesia. Kedua teknologi ini dapat berkontribusi pada penurunan bauran batu bara yang masih tinggi dibandingkan dengan target baurannya, yaitu 37.19% di tahun 2021 dari 30% di tahun 2025. Hal ini berbeda dengan penelitian Khan et al., (2019) di Pakistan.

Konsumsi minyak bumi terhadap emisi CO<sub>2</sub> memiliki pengaruh jangka pendek dan panjang yang lebih tinggi dibandingkan batu bara. Walaupun potensi emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh batu bara lebih besar dibandingkan dengan minyak bumi, konsumsi energi final Indonesia didominasi oleh minyak bumi sekitar 46%-73% (KLH, 2012). Pengaruh ini diprediksi akan

menurun pada jangka panjang seperti di Peru (Zambrano-Monserrate et al., 2018). Di Indonesia, Kondisi ini terjadi karena adanya penurunan produksi minyak bumi sebesar 4.9% per tahun karena sumur produksi yang sudah tua, sumur baru yang terbatas, dan lokasi sumber daya di daerah perbatasan (BPPT, 2021). Selain itu, adanya sumber energi alternatif ramah lingkungan seperti bahan bakar nabati (BBN) untuk mengurangi bauran minyak bumi. Bauran minyak bumi pada tahun 2021 masih 32.24% lebih besar dibandingkan dengan target bauran minyak bumi di tahun 2025 yang harus lebih rendah dari 25% (DJEBTKE, 2021).

Berbeda dengan gas alam, konsumsi gas alam tidak signifikan dalam meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> pada jangka pendek dan panjang. Hal ini disebabkan oleh dua faktor, yaitu jumlah konsumsi dari gas alam cenderung stabil dari tahun 2000 hingga tahun 2020 dan potensi emisi CO<sub>2</sub> gas alam lebih rendah dibandingkan dengan batu bara, yaitu sebesar  $59.186 \times 10^{-6} \text{ t CO}_2.\text{SCF}^{-1}$  untuk gas alam dan  $1.816 \text{ t CO}_2$  per ton untuk batu bara (KLH, 2012). Gas bumi memiliki target minimum sebesar 22% di tahun 2025 dan 24% di tahun 2050. Pada tahun 2021 capaian gas bumi dalam bauran energi hanya sampai 18.87%, artinya masih lebih rendah dibandingkan target gas alam dalam bauran energi tahun 2025 (DJEBTKE, 2021).

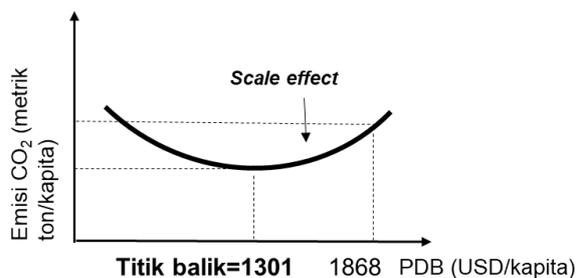
Estimasi elastisitas juga mengungkapkan bahwa pertumbuhan ekonomi Indonesia berpotensi dalam menghasilkan *trade off* antara ekonomi dan lingkungan. Hal ini terlihat pada koefisien  $\ln RGDP$  dan  $(\ln RGDP)^2$  yang bertanda negatif dan positif (lihat Tabel 2). Koefisien  $\ln RGDP$  dan  $(\ln RGDP)^2$  memiliki arti bahwa kenaikan dari PDB akan memicu kenaikan emisi CO<sub>2</sub> baik dalam jangka pendek maupun panjang. Pertumbuhan ekonomi membutuhkan peningkatan produksi secara konsisten yang kemudian menimbulkan kerusakan lingkungan melalui emisi yang dihasilkan (Marsiglio & Privileggi, 2021). Di sisi lain, kelestarian lingkungan juga berperan penting dalam kegiatan ekonomi karena emisi cenderung akan mengurangi jumlah output yang dapat dihasilkan perekonomian.

Adanya hubungan jangka panjang pada penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat penyesuaian pada jangka panjang yang dilihat dari koefisien  $ECT_{t-1}$  (Tabel 2). Koefisien ECT tersebut memiliki arti bahwa ketidakseimbangan periode sebelumnya terkoreksi sebesar 141.3% pada periode berikutnya. Artinya, model akan menyesuaikan pada kecepatan 141.3% dan akan memakan waktu sekitar 7 bulan (yaitu  $1/1.413=0.708$ ) untuk menyesuaikan ke keseimbangan. Interpretasi tersebut mengacu pada Dankumo et al., (2019) dan Wang et al., (2021).

Hasil estimasi keseluruhan menunjukkan bahwa pengaruh konsumsi batu bara dan minyak bumi terhadap emisi CO<sub>2</sub> diprediksi lebih rendah pada jangka panjang dibandingkan jangka pendek di Indonesia karena adanya pengaruh dari implementasi teknologi bersih untuk mengurangi konsumsi batu bara dan menurunnya ketersediaan minyak bumi. Konsumsi gas alam berpotensi dalam meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> namun tidak signifikan pada jangka pendek dan panjang karena tingkat konsumsinya paling rendah. Pengaruh produksi listrik dari PLTA pada emisi CO<sub>2</sub> diprediksi lebih rendah di jangka panjang karena semakin menurunnya kontribusi PLTA pada produksi listrik di Indonesia serta keberlanjutan PLTA yang semakin terancam karena kerusakan lingkungan seperti sedimentasi, kekeringan, bencana alam, dan lainnya.

#### Evaluasi hipotesis *Environmental Kuznets Curve* (EKC) dalam konteks energi baru terbarukan (EBT) Indonesia

Hipotesis EKC tidak terbukti di Indonesia karena hasil estimasi parameter pada Tabel 2 menunjukkan nilai  $\alpha_5$  dan  $\alpha^6$  adalah sebesar -9.617 dan 0.671 dalam jangka pendek serta - 6.805 dan 0.474 dalam jangka panjang. Hasil ini menunjukkan hubungan yang berbentuk U antara emisi CO<sub>2</sub> dan PDB di Indonesia dengan titik balik sebesar 7.171 (USD 1301) dalam jangka pendek dan panjang (Lihat Gambar 2). Titik ini lebih rendah dari nilai maksimum pendapatan dalam periode penelitian, yaitu 7.532 (USD 1868). Artinya, emisi CO<sub>2</sub> akan meningkat secara monoton seiring dengan meningkatnya PDB.



Gambar 3. Hasil estimasi EKC dalam jangka pendek dan panjang

Hipotesis EKC berpotensi tidak terbukti apabila pertumbuhan ekonomi menjadi pemicu dalam degradasi lingkungan. Saat ini, pertumbuhan ekonomi Indonesia meningkat namun juga meningkatkan masalah sosial dan lingkungan karena ekspansi industri berbasis sumber daya alam, seperti tambang, energi, pertanian, dan kehutanan. Kondisi ini menunjukkan Indonesia masih dalam *scale effect*, artinya eksploitasi sumber daya alam dalam proses produksi yang mengarah pada perusakan alam (Acaravci & Akalin, 2017). Sesuai dengan penjelasan jalur pertumbuhan EKC yang membutuhkan sumber daya secara intensif dan menimbulkan biaya lingkungan yang besar (Gill et al., 2018).

Dalam sektor energi, emisi CO<sub>2</sub> berpotensi akan terus meningkat apabila ketergantungan Indonesia terhadap bahan bakar fosil masih dominan dibandingkan dengan EBT dan inefisiensi dalam konsumsi energi. Pada periode tahun 2013-2020, intensitas energi Indonesia menunjukkan tren yang terus meningkat. Beberapa penyebab kondisi tersebut adalah kebijakan subsidi energi baik listrik maupun BBM yang memicu pemborosan energi karena tidak optimal penggunaannya dan ekspansi sektor industri menyumbang tingginya intensitas energi. Pada tahun 2020, ketergantungan pada bahan bakar fosil masih tinggi. Untuk mengurangi hal tersebut, pengembangan EBT contohnya PLTA menjadi salah satu solusi. Namun, pengembangan PLTA memiliki beberapa kelemahan dibandingkan dengan jenis EBT yang lain seperti biaya pembangunan bendungan yang sangat mahal, mempengaruhi ekosistem sungai, dan tantangan apabila terjadi kekeringan (Bagher et al., 2015).

PLTA masih menjadi jenis EBT dengan target terbesar dalam penambahan kapasitas di tahun 2021. Menurut (DJEBTKE, 2021), target tersebut adalah sebesar 400 MW dengan realisasi di triwulan empat baru mencapai 350 MW. Di tahun 2021, terdapat dua PLTA yang sudah Commercial Operation Date (COD), yaitu PLTA Malea (90 MW) serta PLTA Poso Peaker 2nd Expansion Unit 1 & 2 (130 MW). Namun, pembangunan PLTA Malea sempat terhambat di tahun 2020 karena banjir bandang di lokasi proyek. Walaupun penambahan kapasitas PLTA dilakukan, realisasinya masih rendah dari target penambahan kapasitas PLTA tahunan Indonesia sehingga masih harus terus ditingkatkan untuk percepatan bauran EBT dan membantu Indonesia mencapai titik balik dari kurva EKC atau pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan.

Hasil evaluasi menunjukkan Indonesia masih belum mencapai tingkat PDB riil per kapita yang berpotensi untuk menurunkan kerusakan lingkungan dalam hal ini emisi CO<sub>2</sub>. Aktivitas ekonomi terus dilakukan dengan tidak mempertimbangkan dampak terhadap sekitar sehingga timbul eksternalitas negatif terhadap lingkungan dan memburuknya kondisi sosial, contohnya ketergantungan yang tinggi pada bahan bakar fosil. Kondisi ini menunjukkan Indonesia masih dalam posisi *scale effect*. Pemerintah harus terus berupaya untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi yang lebih berkelanjutan agar ekspansi ekonomi mencapai titik balik yang diperkirakan, salah satunya dengan meningkatkan bauran EBT dengan PLTA. Namun, kendala geologis, biaya, teknologi, dan lahan menghambat pengembangan PLTA di Indonesia meskipun dengan meningkatkan produksi listrik dari PLTA terbukti dapat mengurangi pelepasan emisi CO<sub>2</sub> ke atmosfer. Pengembangan ini diharapkan terus berjalan dalam jangka panjang dengan berbagai strategi untuk mengatasi kendala dalam meningkatkan bauran EBT dalam bauran nasionalnya.

## KESIMPULAN

Pengaruh konsumsi batu bara dan minyak bumi terhadap emisi CO<sub>2</sub> diprediksi lebih

rendah pada jangka panjang dibandingkan jangka pendek di Indonesia karena adanya implementasi teknologi bersih untuk meningkatkan efisiensi konsumsi batu bara dan semakin langkanya ketersediaan minyak bumi. Konsumsi gas alam tidak signifikan dalam meningkatkan emisi CO<sub>2</sub> pada jangka pendek dan panjang karena tingkat konsumsinya paling rendah dibandingkan batu bara dan minyak bumi. Pengaruh produksi listrik dari PLTA pada emisi CO<sub>2</sub> diprediksi lebih rendah di jangka panjang karena semakin menurunnya kontribusi PLTA pada produksi listrik di Indonesia serta keberlanjutan PLTA yang semakin terancam karena kerusakan lingkungan seperti sedimentasi, kekeringan, dan lainnya.

Indonesia belum mencapai tingkat pertumbuhan ekonomi berkelanjutan karena aktivitas ekonomi yang merusak lingkungan serta inkonsistensi kebijakan terhadap perlindungan lingkungan. Indonesia akan segera mencapai titik balik pertumbuhan ekonomi berkelanjutan apabila pemerintah melakukan ekspansi ekonomi yang diiringi kebijakan terkait lingkungan yang konsisten dengan konsep *green economy*, khususnya kebijakan terkait EBT untuk meningkatkan bauran EBT dengan PLTA.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Acaravci, A., & Akalin, G. (2017). Environment-economic growth nexus: A comparative analysis of developed and developing countries. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 7(5), 34-43.
- Ahmad, M., Jabeen, G., & Wu, Y. (2021). Heterogeneity of pollution haven/halo hypothesis and Environmental Kuznets Curve hypothesis across development levels of Chinese provinces. *Journal of Cleaner Production*, 285(xxxx), 124898. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124898>
- Ali, M. U., Gong, Z., Ali, M. U., Wu, X., & Yao, C. (2021). Fossil energy consumption, economic development, inward FDI impact on CO<sub>2</sub> emissions in Pakistan: Testing EKC hypothesis through ARDL model. *International Journal of Finance and Economics*, 26(3), 3210-3221. <https://doi.org/10.1002/ijfe.1958>
- [BPPT] Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. (2021). *Outlook Energi Indonesia 2021* (E. Hilmawan, I. Fitriana, A. Sugiyono, & Adiarso (Eds.)). Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- [Bappenas] Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. (2014). *Prakarsa Strategis Pengembangan Konsep Green Economy*. Badan Perencanaan Pembangunan Nasional.
- Bagher, A. M., Vahid, M., Mohsen, M., & Parvin, D. (2015). Hydroelectric Energy Advantages and Disadvantages. *American Journal of Energy Science*, 2(2), 17-20.
- Dankumo, A. M., Ishak, S., Oluwaseyi, Z. A., & Onisanwa, I. D. (2019). Does Okun's law explain the relationship between economic growth and unemployment in Nigeria? *Jurnal Ekonomi Malaysia*, 53(3). <https://doi.org/10.17576/JEM-2019-5303-12>
- [DEN] Dewan Energi Nasional. (2019). *Indonesia Energy Outlook 2019* (S. Abdurrahman, M. Pertiwi, & Walujanto (Eds.)). DEN.
- [DJPPPI] Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim. (2017). *Strategi Implementasi NDC* (N. Masripatin (Ed.)). Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim. [http://ditjenppi.menlhk.go.id/reddpl us/images/adminppi/dokumen/strategi\\_implementation\\_ndc.pdf](http://ditjenppi.menlhk.go.id/reddpl us/images/adminppi/dokumen/strategi_implementation_ndc.pdf)
- [DJEBTKE] Direktorat Jenderal Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi. (2021). *Laporan Kinerja Ditjen EBTKE 2021 Final*. KESDM.
- Dutu, R. (2016). Challenges and policies in Indonesia's energy sector. *Energy Policy*, 98, 513-519. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.09.009>
- Gill, A. R., Viswanathan, K. K., & Hassan, S. (2018). The Environmental Kuznets Curve (EKC) and the environmental problem of the day. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(August 2016), 1636-1642.

- <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.247>
- Gokmenoglu, K., Azin, V., & Taspinar, N. (2015). The relationship between industrial production, GDP, inflation, and oil price: The case of Turkey. *Procedia Economics and Finance*, 25(May), 497–503. [https://doi.org/10.1016/s2212-5671\(15\)00762-5](https://doi.org/10.1016/s2212-5671(15)00762-5)
- Jumhur, J. (2020). Penerapan autoregressive distributed lag dalam memodelkan pengaruh inflasi, pertumbuhan ekonomi, dan FDI terhadap pengangguran di Indonesia. *Jurnal Ekonomi Bisnis Dan Kewirausahaan*, 9(3), 250. <https://doi.org/10.26418/jebik.v9i3.41332>
- [KESDM] Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral. (2017). *Kajian Penggunaan Faktor Emisi Lokal (Tier 2) dalam Kajian Inventarisasi GRK Sektor Energi* (Issue Cetakan Pertama). Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral.
- [KESDM] Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral. (2019). *Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2019*. KESDM.
- [KESDM] Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral. (2020). *Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2020*. KESDM.
- [KLH] Kementerian Lingkungan Hidup. (2012). *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional: Metodologi Penghitungan Tingkat Emisi GRK Sektor Pengadaan dan Penggunaan Energi*. Kementerian Lingkungan Hidup.
- Khan, M. K., Teng, J. Z., & Khan, M. I. (2019). Effect of energy consumption and economic growth on carbon dioxide emissions in Pakistan with dynamic ARDL simulations approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(23), 23480–23490. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05640-x>
- Marsiglio, S., & Privileggi, F. (2021). On the economic growth and environmental trade-off: a multi-objective analysis. *Annals of Operations Research*, 296(1–2), 263–289. <https://doi.org/10.1007/s10479-019-03217-y>
- Murshed, M., Alam, R., & Ansarin, A. (2021). The environmental Kuznets curve hypothesis for Bangladesh: the importance of natural gas, liquefied petroleum gas, and hydropower consumption. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(14), 17208–17227. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11976-6>
- Ozatac, N., Gokmenoglu, K. K., & Taspinar, N. (2017). Testing the EKC hypothesis by considering trade openness, urbanization, and financial development: the case of Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(20), 16690–16701. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9317-6>
- [Perpes 2017] Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) (pp. 67–69). (2017).
- [PLN] Perusahaan Listrik Negara. (2021). Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) 2021-2030. In *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik 2021-2030*. Perusahaan Listrik Negara.
- Pesaran, M. H., Shin, Y., & Smith, R. J. (2001). Bounds testing approaches to the analysis of level relationships. *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), 289–326. <https://doi.org/10.1002/jae.616>
- Ridzuan, A. R., Albani, A., Latiff, A. R. A., Mohamad, M. I., & Murshidi, M. H. (2020). The impact of energy consumption based on fossil fuel and hydroelectricity generation towards pollution in Malaysia, Indonesia and Thailand. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10(1), 215–227. <https://doi.org/10.32479/ijeeep.8140>
- Tahseen, S., & Karney, B. W. (2017). Reviewing and critiquing published approaches to the sustainability assessment of hydropower. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 225–234. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.031>

- Wang, X. G., Yan, L., & Zhao, X. G. (2021). Tackling the ecological footprint in china through energy consumption, economic growth and CO2 emission: an ARDL approach. *Quality and Quantity*, 88. <https://doi.org/10.1007/s11135-021-01128-4>
- Wild, T. B., & Loucks, D. P. (2014). Managing flow, sediment, and hydropower regimes in the Sre Pok, Se San, and Se Kong Rivers of the Mekong basin. *Water Resources Research*, 50(6), 5141-5157. <https://doi.org/10.1002/2014WR015457>
- Zambrano-Monserrate, M. A., Silva-Zambrano, C. A., Davalos-Penafiel, J. L., Zambrano-Monserrate, A., & Ruano, M. A. (2018). Testing environmental Kuznets curve hypothesis in Peru: The role of renewable electricity, petroleum and dry natural gas. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(March 2016), 4170-4178. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.11.005>
- Zambrano-Monserrate, M. A., Valverde-Bajaña, I., Aguilar-Bohórquez, J., & Mendoza-Jiménez, M. (2016). Relationship between economic growth and environmental degradation: Is there evidence of an EKC for Brazil. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 6(2), 208-216. <https://www.econjournals.com/index.php/ijeeep/article/view/1850>