

Hubungan Kausalitas Konsumsi Energi Hydropower, Emisi Karbon Dioksida dan Pertumbuhan Ekonomi pada Negara-negara G20

Nuriah Alfisyahri¹⁾, Syafruddin Karimi²⁾, Endrizal Ridwan³⁾

Universitas Andalas, Padang 25163, Tel: +62-751-71181, Fax: +62-751-71085,

nalfisyahri@gmail.com¹

ABSTRAK: Penelitian ini menganalisis bagaimana hubungan kausalitas konsumsi energi hydropower, Produk Domestik Bruto dan emisi karbon dioksida pada negara-negara anggota G20 (Group of Twenty). Data yang digunakan adalah kuantitatif dan time series dari tahun 1989-2016 dengan sampel seluruh anggota G20 kecuali Arab Saudi. Data penelitian ini berasal dari World Development Indicators World Bank 2016 dan BP Statistical Reviews of World Energy 2017. Metode yang digunakan yaitu Granger causality dan panel VECM untuk mendapatkan hasil kausalitas jangka pendek maupun jangka panjang. Hasil uji kausalitas menunjukkan bahwa ada kausalitas dua arah konsumsi energi hydropower dan Produk Domestik Bruto pada jangka pendek di Indonesia, emisi karbon dioksida dan Produk Domestik Bruto pada jangka panjang di India dan Jepang, serta emisi karbon dioksida dan konsumsi hydropower di Brazil dan India pada jangka pendek, serta Prancis pada jangka panjang. Secara umum Negara-negara G20 memiliki kausalitas satu arah pada setiap variabel kecuali pada Argentina, Australia, Jepang, Korea Selatan, Inggris, dan Amerika Serikat pada jangka pendek, kemudian China, Indonesia, dan Inggris pada jangka panjang.

Kata Kunci: *Konsumsi energi hydropower, G20, kausalitas, VECM*

ABSTRACT: *This study analyzes how the causality of hydropower energy consumption, Gross Domestic Product and carbon dioxide emissions in the G20 (Group of Twenty) member countries. The data used are quantitative and time series from 1989-2016 with a sample of all G20 members except Saudi Arabia. The data of this study came from World Development Indicators World Bank 2016 and BP Statistical Reviews of World Energy 2017. The method used is Granger causality and VECM panels to obtain short-term and long-term causality results. Causality test results show that there is a two-way causality of hydropower energy consumption and Gross Domestic Product in the short run in Indonesia, carbon dioxide emissions and Gross Domestic Product in the long run in India and Japan, and carbon dioxide emissions and hydropower consumption in Brazil and India in the short run, as well as France in the long run. In general, G20 countries have one-way causality on each variable except for Argentina, Australia, Japan, South Korea, the United Kingdom, and the United States in the short run, then China, Indonesia, and the UK in the long run.*

Keywords: *Hydropower energy consumption, G20, causality, VECM*

PENDAHULUAN

Energi menjadi hal penting bagi keberlangsungan hidup semua manusia yang ada di muka bumi ini, karena energi dan kehidupan memiliki hubungan yang sangat erat. Dalam kehidupan sehari-hari, kita sebagai manusia sangatlah membutuhkan energi, baik itu energi minyak atau energi listrik. Menurut data *BP Statistical Review of World Energy 2017* memperlihatkan bahwa konsumsi energi dunia tahun 1965-2016 didominasi oleh energi tidak terbarukan seperti minyak, gas, dan batu bara. Sumber energi tidak terbarukan ini rata-rata digunakan diatas 20% dari total konsumsi energi didunia, sedangkan sumber energi terbarukan seperti hydropower dan sumber energi terbarukan lainnya hanya 6% dan 1% dari total konsumsi energi dunia.

Penggunaan energi yang bersumber dari energi tidak terbarukan dapat meningkatkan emisi karbon dioksida atau (CO₂). Sedangkan penghasil emisi CO₂ terbesar berada di Negara yang merupakan anggota G20 (*Group of Twenty*) yaitu Amerika, Uni Eropa, dan China. Secara persentase tahun 1965-2016 Amerika menghasilkan emisi CO₂ terbesar yaitu sebesar 25%, diikuti Uni Eropa 20%, dan China 16% (*BP Statistical Review of World Energy 2017*).

Pada negosiasi iklim *Conference of Parties (COP)* ke-21 dari *United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)* yang berlangsung pada tanggal 30 November hingga 13 Desember 2015 di Paris melahirkan suatu kesepakatan yang mengikat (*legally binding*) yang disebut dengan Kesepakatan Paris atau *Paris Agreement* berkenaan tentang perubahan iklim. Kesepakatan Paris ditujukan untuk meningkatkan kemampuan adaptasi terhadap dampak negatif dari perubahan iklim, sehingga tercipta daerah ketahanan iklim dan daerah rendah emisi tanpa mengancam produksi pangan dan siap memberikan pendanaan bagi pembangunan wilayah rendah emisi dan berketahanan iklim. Sampai saat ini, 195 negara telah meratifikasi Kesepakatan Paris. Kesepakatan Paris ini merupakan kesepakatan mengikat pertama sejak *Protocol Kyoto* pada pertemuan COP ke-3 (Kompasiana, 2018).

Selain itu dalam KTT G20 ke-12 di Hamburg, Jerman pada tahun 2017 juga membahas tentang efisiensi energi tidak terbarukan dan meningkatkan upaya menangkal perubahan iklim sebagai salah satu dari 19 point hasil perundingan (Bisnis.com, 2017). Pembahasan tersebut sangat penting dan pengaruhnya akan sangat besar jika terlaksana dengan baik karena negara-negara anggota G20 yaitu Argentina, Brazil, China, India, Indonesia, Meksiko, Rusia, Arab Saudi, Afrika Selatan, Turki, Australia, Kanada, Prancis, Jerman, Italia, Jepang, Korea Selatan, Inggris, Amerika Serikat, dan Uni Eropa yang mewakili 85% dari PDB global, mengkonsumsi lebih dari 80% dari total energi dunia yang dihasilkan, dan bertanggung jawab atas 75% dari total emisi CO₂ (WDI, 2016).

Berdasarkan paparan diatas, maka perlunya penelitian pada studi ini dengan tujuan menganalisis bagaimana hubungan kausalitas konsumsi energi hydropower, Produk Domestik Bruto dan emisi karbon dioksida pada negara-negara anggota G20 (*Group of Twenty*).

TINJAUAN LITERATUR DAN HIPOTESIS

Hubungan Konsumsi Energi Hydropower

Beberapa studi yang pernah dilakukan untuk menguji hubungan antara konsumsi energi hydropower dengan aspek ekonomi dan lingkungan yaitu Bildirici (2016) melakukan pengujian tentang hubungan antara polusi lingkungan, pertumbuhan ekonomi dan konsumsi energi hydropower pada Negara-negara G7 pada periode 1961-2013 dengan menggunakan metode MS-VAR dan MS-Granger Causality. Pada penelitian ini ditemukan adanya kausalitas Granger dua arah antara emisi karbon dioksida dan pertumbuhan ekonomi pada masa krisis dan saat masa tingginya pertumbuhan juga terdapat kausalitas pada emisi karbon dioksida terhadap pertumbuhan ekonomi. Hasil dari model tersebut yaitu adanya kausalitas dua arah antara konsumsi energi hydropower terhadap pertumbuhan ekonomi secara umum, dan pada beberapa Negara G7 emisi karbon dioksida granger terhadap konsumsi energi hydropower dan juga pada konsumsi energi hydropower terhadap emisi karbondioksida.

Bildirici (2015) juga meneliti hubungan antara polusi lingkungan, pertumbuhan ekonomi dan konsumsi energi tenaga air untuk Austria, Belgia, Denmark, Finlandia, Prancis, dan Jerman pada tahun 1970–2011. Kemudian Islandia, Italia, Irlandia, Portugal, Spanyol, Swedia, dan

Swiss pada periode 1981 – 2011. Sedangkan Turki dan Inggris selama periode 1961-2011. Dia menemukan hubungan sebab akibat dua arah antara pertumbuhan ekonomi dan konsumsi energi tenaga air untuk semua negara selain Austria, Jerman dan Inggris. Dia juga menemukan kausalitas searah berjalan dari konsumsi energi tenaga air ke pertumbuhan ekonomi untuk Austria dan kausalitas searah berjalan dari pertumbuhan ekonomi ke konsumsi energi tenaga air untuk Jerman. Sedangkan untuk Inggris, ia tidak menentukan hubungan sebab akibat.

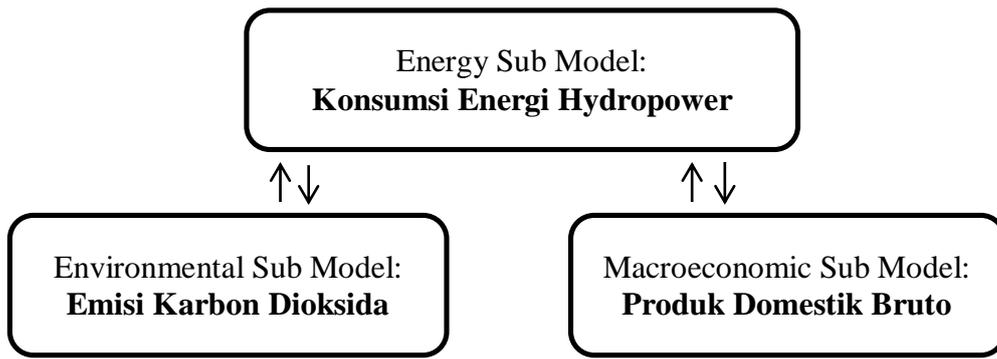
Demikian pula, Ohler dan Fetters (2014) menganalisis hubungan sebab akibat antara pertumbuhan ekonomi dan pembangkit listrik dari sumber terbarukan yaitu biomassa, panas bumi, hidroelektrik, surya, limbah, dan angin. Dengan menggunakan panel Error Correction Model (ECM) di 20 negara OECD di seluruh negara OECD pada periode 1990–2008. Mereka menemukan biomassa, pembangkit listrik tenaga air, limbah dan sumber energi angin menunjukkan hubungan ekuilibrium jangka panjang yang positif dengan pertumbuhan PDB. Dalam jangka pendek, pembangkit listrik tenaga air menunjukkan dampak Granger positif terbesar yang menyebabkan pertumbuhan PDB.

Solarin dan Ozturk (2010) menganalisis hubungan antara konsumsi listrik tenaga air dan pertumbuhan ekonomi di tujuh negara Amerika Latin yaitu Argentina, Brasil, Chili, Kolombia, Ekuador, Peru dan Venezuela. Mereka menemukan kausalitas dua arah jangka panjang antara konsumsi listrik tenaga air dan pertumbuhan ekonomi di Argentina dan Venezuela dan kausalitas searah dari konsumsi listrik tenaga air ke pertumbuhan ekonomi di Brasil, Chili, Kolombia, Ekuador dan Peru.

Apergis et al. (2016) menganalisis hubungan jangka panjang dan kausal antara konsumsi listrik tenaga air dan pertumbuhan ekonomi untuk panel 10 negara konsumen listrik tenaga air terbesar yaitu Brasil, Kanada, Cina, Prancis, India, Jepang, Norwegia, Swedia, Turki dan Amerika Serikat pada periode 1965–2012. Mereka menggunakan tes Bai dan Perron untuk kointegrasi dan menemukan bahwa PDB riil per kapita dan konsumsi listrik tenaga air per kapita tampaknya terkointegrasi di sekitar intersep yang rusak. Mereka juga menggunakan model estimasi STR VECM panel non-linear. Menurut hasil kausalitas Granger dari model ini, mereka menemukan bukti kausalitas searah berjalan dari PDB riil per kapita ke hidroelektrik per kapita baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang untuk periode pra-1988. Selain itu, untuk periode pasca-1988 mereka menemukan bukti kausalitas dua arah antara konsumsi energi hidroelektrik per kapita dan PDB riil per kapita baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang.

KERANGKA PENELITIAN

Berdasarkan landasan teori dan penelitian sebelumnya, maka dapat digambarkan sebuah kerangka analisis yang dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1.
Kerangka Analisis

METODE PENELITIAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder, dengan lokasi penelitian adalah Negara-negara yang tergabung dalam G-20 (*Group of Twenty*) yang di bagi menjadi dua bagian yaitu negara maju dan negara berkembang. Seluruh Negara G20 menjadi objek penelitian kecuali Arab Saudi yang tidak memiliki sumber energi hydropower dikarenakan kondisi geografis daerah yang minim sumber air. Data-data ini menggunakan data panel dari 19 negara dan *Time Series* dari tahun 1989 sampai dengan 2016. Data sekunder diperoleh dari World Development Indicators World Bank (WDI World Bank) dan BP Statistical Review of World Energy 2017.

Table 1 .

Daftar Negara G20 (*Group of Twenty*)

Negara	
Berkembang	Negara Maju
Argentina	Australia
Brazil	Kanada
China	Prancis
India	Jerman
Indonesia	Italia
Meksiko	Jepang
Rusia	Korea Selatan
Afrika Selatan	Inggris
Turki	Amerika Serikat
	Uni Eropa

Catatan: Arab Saudi tidak masuk daftar karna tidak ada data hydropower energy

Metode yang digunakan yaitu melakukan tes hubungan Kausalitas antara tiga variabel yaitu Produk Domestik Bruto (GDP), Konsumsi Energi Hydropower (HEC), dan Emisi Karbondioksida (CDE).

Tabel 2.
Data, Sumber Data, dan Satuan Variabel Penelitian

No	Data	Sumber Data	Satuan
1.	Produk Domestik Bruto (GDP)	<i>World Development Indicators World Bank (WDI World Bank) 2016</i>	<i>US Dollar (US\$) Konstan 2010</i>
2.	Konsumsi Energi Hydropower (HEC)	<i>BP Statistical Review of World Energy 2017</i>	<i>Million tonnes oil equivalent (Mtoe)</i>
3.	Emisi Karbon Dioksida (CDE)	<i>BP Statistical Review of World Energy 2017</i>	<i>Million tonnes oil equivalent (Mtoe)</i>

Tahapan Model Penelitian

Penelitian ini diuji dalam tiga tahap. Pertama, menguji urutan integritas pada setiap variabel. Selanjutnya, menggunakan tes panel cointegration untuk memeriksa hubungan jangka panjang antar variabel. Yang terakhir, menggunakan tes *panel causality* untuk mengavaluasi kointegrasi jangka pendek dan arah kausalitas antar variabel. Hasil ini kemudia di dibandingkan dengan VECM konvensional.

- Tes Panel Unit Root

Perkembangan terakhir dalam literatur menunjukkan bahwa tes akar unit berbasis panel memiliki kekuatan yang lebih tinggi daripada uji akar unit berdasarkan seri waktu individual. Tes akar unit panel yang baru dikembangkan termasuk Breitung (2000), Hadri (2000), Levin et al. (LLC) (2002), dan Im et al. (IPS) (2003). Mari kita perhatikan model autoregresif berikut ini

$$y_{it} = \rho_i y_{it-1} + \delta_i X_{it} + \varepsilon_{it}, \tag{1}$$

Dimana $i = 1, 2, \dots, N$ mewakili negara-negara yang diamati selama periode $t = 1, 2, \dots, T$, X_{it} adalah variabel eksogen dalam model termasuk efek tetap atau tren individual, ρ_i adalah koefisien autoregresif, dan ε_{it} adalah proses stasioner. Jika $\rho_i < 1$, y_i dikatakan tren-stasioner lemah. Di sisi lain, jika $\rho_i = 1$, maka y_i berisi root unit. Tes LLC, Breitung, dan Hadri mengasumsikan bahwa ε_{it} adalah IID $(0, \sigma_\varepsilon^2)$ dan $\rho_i = \rho$ untuk semua i . Ini menyiratkan bahwa koefisien y_{it-1} adalah homogen di semua unit cross-section panel dan bahwa proses individual secara cross-section independen. Pesaran dan Smith (1995) menekankan pentingnya parameter heterogenitas dalam model data panel dinamis dan menganalisis bias yang berpotensi berat yang dapat timbul dari memasukkannya dengan cara yang tidak pantas.

Jadi kami mengadopsi tes IPS yang memungkinkan untuk koefisien heterogen dari y_{it-1} . Ini adalah proposisi yang lebih masuk akal karena heterogenitas bisa muncul dari kondisi ekonomi yang berbeda dan tingkat perkembangan di masing-masing negara. IPS mengusulkan rata-rata uji Dickey-Fuller (ADF) yang diperluas yaitu,

$\varepsilon_{it} = \sum_{j=1}^p \varphi_{ij} \varepsilon_{it-j} + u_{it}$, sementara memungkinkan untuk order yang berbeda dari korelasi serial. Mensubstitusikan ekspresi ini menjadi persamaan (1), kita dapatkan

$$y_{it} = \rho_i y_{it-1} + \sum_{j=1}^p \varphi_{ij} \varepsilon_{it-j} + X_{it} \delta_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

dimana ρ_i adalah jumlah kelambanan dalam regresi ADF. Hipotesis nol adalah bahwa setiap seri dalam panel berisi root unit, yaitu $H_0: \rho_i = 1$ untuk semua i . Hipotesis alternatif adalah bahwa setidaknya satu dari seri individu dalam panel stasioner, yaitu $H_1: \rho_i < 1$ untuk setidaknya satu i . IPS mendefinisikan statistik t -bar sebagai rata-rata dari statistik ADF individu

$$t = 1/N \sum_{i=1}^N t_{\rho_i}, \quad (3)$$

di mana t_{ρ_i} adalah t-statistik individu untuk menguji $H_0: \rho_i = 1$ untuk semua i dalam persamaan (2). Statistik t -bar telah terbukti terdistribusi secara normal di bawah H_0 dan nilai kritis untuk nilai-nilai yang diberikan dari N dan T disediakan dalam Im et al. (2003).

- Tes Panel Kointegrasi

Jika dilihat dari uji akar unit bahwa variabel terintegrasi dari satu order, maka langkah selanjutnya adalah menerapkan analisis kointegrasi untuk menentukan apakah ada hubungan jangka panjang di antara mereka. Hal ini dilakukan dengan menerapkan pendekatan kemungkinan maksimum Johansen dan Juselius (1992) untuk mengidentifikasi jumlah hubungan kointegrasi antara ketiga variabel yang menarik. Model empiris untuk tes ini didasarkan pada persamaan berikut:

$$gdp_{it} = \alpha_i + \delta_t + \beta_{hec_{it}} + \gamma_{cde_{it}} + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

di mana gdp , hec , dan cde adalah variabel dari Produk Domestik Bruto, konsumsi energi hydropower, dan emisi karbon dioksida, dan α dan δ adalah negara dan fixed effects, masing-masing. Dengan panel dinamis yang mengandung dimensi cross-section, prosedur Johansen cenderung tidak layak dan oleh karena itu metode kointegrasi panel lebih tepat.

Dalam studi ini, kami menggunakan metode Pedroni (1999, 2000) karena memungkinkan heterogenitas antar anggota panel. Ia mempertimbangkan tujuh statistik uji yang berbeda, empat yang didasarkan pada penggabungan residu regresi sepanjang dimensi dalam panel, dan tiga lainnya didasarkan pada pengumpulan residu regresi sepanjang dimensi panel. Dalam kedua kasus, pendekatan dasar adalah pertama untuk memperkirakan hubungan cointegrating yang dihipotesiskan secara terpisah untuk setiap anggota panel dan kemudian mengumpulkan residu yang dihasilkan untuk melakukan tes panel.

- Tes Kausalitas dan VECM

Prosedur yang dijelaskan di atas hanya mampu menunjukkan apakah variabel tersebut saling terintegrasi dan hubungan jangka panjang ada di antara keduanya. Untuk mengidentifikasi arah kausalitas, diperkirakan VECM berbasis panel dan menggunakannya untuk melakukan uji kausalitas Granger pada hubungan konsumsi energi, PDB, emisi karbon dioksida. Ini dilakukan menggunakan prosedur Engle dan Granger (1987). Pada langkah pertama, diperkirakan model jangka panjang yang

ditentukan dalam Persamaan (4) untuk mendapatkan estimasi residual. Selanjutnya, diperkirakan model kausalitas Granger dengan istilah koreksi kesalahan dinamis berdasarkan Holtz-Eakin et al. (1988). Model empiris diwakili oleh 3-persamaan VECM berikut.

$$\Delta gdp_{it} = \theta_{1j} + \sum_{k=1}^m \theta_{11ik} \Delta gdp_{it-k} + \sum_{k=1}^m \theta_{12ik} \Delta hec_{it-k} + \sum_{k=1}^m \theta_{13ik} \Delta cde_{it-k} + \lambda_{1i} \varepsilon_{it-1} + u_{it}, \tag{5a}$$

$$\Delta hec_{it} = \theta_{2j} + \sum_{k=1}^m \theta_{21ik} \Delta hec_{it-k} + \sum_{k=1}^m \theta_{22ik} \Delta gdp_{it-k} + \sum_{k=1}^m \theta_{23ik} \Delta cde_{it-k} + \lambda_{2i} \varepsilon_{it-1} + u_{2it}, \tag{5b}$$

$$\Delta cde_{it} = \theta_{3j} + \sum_{k=1}^m \theta_{31ik} \Delta hec_{it-k} + \sum_{k=1}^m \theta_{32ik} \Delta gdp_{it-k} + \sum_{k=1}^m \theta_{33ik} \Delta cde_{it-k} + \lambda_{3i} \varepsilon_{it-1} + u_{3it}, \tag{5c}$$

di mana Δ menunjukkan difference pertama dan k adalah panjang lag optimal yang ditentukan oleh Kriteria Schwarz Bayesian. Menggunakan spesifikasi dalam persamaan (5) memungkinkan kita untuk menguji kausalitas jangka pendek dan jangka panjang. Misalnya, dalam konsumsi energi jangka pendek tidak menyebabkan pertumbuhan ekonomi Granger jika dan hanya jika semua koefisien θ_{12ik} sama dengan nol dalam persamaan (5a). Dalam kasus sebaliknya, pertumbuhan ekonomi tidak menyebabkan konsumsi energi Granger jika dan hanya jika semua koefisien θ_{22ik} sama dengan nol dalam Persamaan (5b). Tes kausalitas jangka pendek antara variabel lain juga dapat dilakukan dengan cara yang sama. Kehadiran atau ketiadaan kausalitas jangka panjang dapat ditetapkan dengan menguji signifikansi menggunakan t -test pada koefisien λ , dari istilah koreksi kesalahan, ε_{it-1} dalam persamaan (5a) - (5c). Akhirnya, kami melakukan tes gabungan ε_{it-1} dan istilah interaktif masing-masing untuk memeriksa kausalitas yang kuat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Unit Root

Prosedur pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini yang pertama yaitu uji unit root pada level dan 1^{st} difference dilakukan untuk menentukan apakah masing-masing variabel stasioner atau non-stasioner. Dengan mengikuti prosedur standar pengujian unit root yaitu menggunakan Augmented Dickey Fuller (ADF) tes yang dikembangkan oleh Dickey dan Fuller (1979). Tes Augmented Dickey-Fuller digunakan untuk menentukan tingkat atau derajat integrasi variabel dan juga untuk mengoreksi urutan serial korelasi yang lebih tinggi dengan menambahkan dari segi perbedaan lag. Tabel berikut akan menunjukkan hasil uji unit root untuk setiap variable.

Table 3.
Hasil dari Uji ADF unit root

Variabel	Seluruh Sampel		Negara Berkembang		Negara Maju	
	1st Level	1st Difference	1st Level	1st Difference	1st Level	1st Difference
Gdp	1.00(6)	140.91*(5)	0.91(6)	59.86*(5)	0.09(6)	81.05*(5)
Hec	12.36(6)	495.19*(5)	3.46(6)	221.76*(5)	8.90(6)	273.43*(5)
Cde	39.00(6)	252.32*(5)	11.91(6)	89.03*(5)	27.08(6)	163.29*(5)

Catatan: Angka dalam tanda kurung adalah level lag maksimum yang ditentukan oleh *Schwarz Bayesian Criterion*.

* Menunjukkan signifikan pada level 5%.

Sumber: Hasil Olahan Data EViews8

Dari tabel 3, dapat dijelaskan bahwa variabel gdp, hec, dan cde tidak stasioner pada tingkat level disemua jenis sampel yaitu pada Seluruh sampel, Negara berkembang, dan Negara maju. Namun, setelah mengambil *1st difference* gdp, hec, dan cde stasioner. Oleh karena itu, disimpulkan bahwa semua seri tidak stasioner pada level dan terintegrasi pada order pertama.

Uji Kointegrasi

Setelah menetapkan bahwa Produk Domestik Bruto (GDP), Konsumsi Energi Hydropower (HEC) dan Emisi Karbondioksida (CDE) adalah I (1), kita selanjutnya melanjutkan untuk menguji apakah ada hubungan jangka panjang di antara mereka. Di sini, kami melaporkan hasil uji panel heterogen Pedroni serta tes Johansen untuk masing-masing negara untuk perbandingan.

Table 4 .

Hasil dari Tes Johansen's cointegration

Negara	H0	Trace Stat	Negara	H0	Trace Stat
Argentina	None*	28.79	Australia	None*	34.59
	At most 1*	12.93		At most 1	14.46
Brazil	None*	29.82	Kanada	None*	28.48
	At most 1	12.00		At most 1	11.10
China	None*	25.96	Prancis	None*	43.61
	At most 1	11.39		At most 1	18.38
India	None*	34.11	Jerman	None*	46.63
	At most 1	11.46		At most 1	16.11
Indonesia	None*	24.92	Italia	None*	25.12
	At most 1	9.90		At most 1	10.67
Meksiko	None	20.00	Jepang	None*	24.93
	At most 1	7.93		At most 1	8.58
Rusia	None*	36.24	Korea Selatan	None*	33.68
	At most 1*	12.59		At most 1	9.96
Afrika Selatan	None*	35.36	Inggris	None*	26.30
	At most 1*	14.57		At most 1	6.29

Turki	None*	28.03	Amerika Serikat	None*	48.89
				At most	
	At most 1	7.23		1*	13.62
			Uni Eropa	None*	28.84
				At most 1	10.61

Catatan: * menunjukkan signifikansi pada level 5%; Nilai kritis diambil dari MacKinnon et al. (1999).
Sumber: Hasil Olahan Data EViews8

Hasil tes Johansen pada Tabel 4 menunjukkan bahwa 18 dari 19 negara, hipotesis nol dari tidak ada kointegrasi dapat ditolak pada tingkat signifikansi 5%. Di dalam kelompok Negara berkembang, Meksiko tidak menunjukkan hubungan jangka panjang.

Table 5.

Hasil dari Pedroni residual cointegration tests

Test statistic	Full sampel	Negara Berkembang	Negara Maju
Panel v	57.21*	8.64*	57.41*
Panel ρ	-2.41*	-3.57*	-0.76
Panel pp	-5.56*	-7.30*	-2.20*
Panel ADF	-5.18*	-0.70	-5.49*
Group ρ	1.81	1.77	0.83
Group pp	-2.04*	-0.08	-2.73*
Group ADF	-4.21*	0.32	-6.10*

Catatan: * Menunjukkan signifikansi pada level 5%

Sumber: Hasil Olahan Data EViews8

Hasil tes kointegrasi panel di sisi lain dilaporkan dalam Tabel 5. Berdasarkan tabel di atas dapat dilihat bahwa memiliki nilai tes signifikansi 5%, hal ini berarti H_0 ditolak dan H_1 diterima atau dengan kata lain, variabel-variabel yang digunakan memiliki hubungan dalam jangka panjang, kecuali pada Group ρ secara bersamaan pada seluruh jenis sampel.

Hasil Kausalitas

Dari pengujian data diatas, semua variabel telah memenuhi persyaratan stasioneritas data uji ADF dimana, stasioner pada tingkat *first difference*. Oleh karena semua variabel data sudah stasioner pada tingkat *first difference*, maka dapat dilakukan langkah selanjutnya dalam estimasi VECM, dan uji kausalitas.

Model Vector Error Correction (VEC) adalah generalisasi multivariat model ECM. Model VAR dirancang untuk digunakan pada rangkaian/deret waktu yang tidak stasioner, dikenal sebagai cointegrated. Spesifikasi model VEC terdiri dari hubungan co-integrasi, sehingga diasumsikan bahwa secara ekonomi menyatu dengan hubungan jangka panjang. Di sisi lain, ini juga memungkinkan untuk penyesuaian dinamika jangka pendek. Pada pengujian kointegrasi menunjukkan bahwa ada hubungan

ekuilibrium jangka panjang atau ada kointegrasi antara semua variabel pada I^{st} difference, sehingga kita dapat menggunakan model VECM untuk memperkirakan variable. Tabel berikut akan menunjukkan hasil estimasi VECM:

Table 6 .
Hasil Uji Panel Vector Error Correction Model (Panel VECM)

Variabel	Seluruh Sampel		Negara Berkembang		Negara Maju	
	Jangka Pendek	Jangka Panjang	Jangka Pendek	Jangka Panjang	Jangka Pendek	Jangka Panjang
hec-gdp	26.34*	2.28*	18.17*	3.75*	12.02*	1.45**
gdp-hec	66.27*	0.99	13.59*	0.63	2.46	0.35
cde-gdp	17.66*	1.95*	0.66	-1.36**	4.21	2.18*
gdp-cde	19.90*	-0.16	13.82*	0.04	4.98**	1.41**
cde-hec	4.57	1.60**	25.39*	0.47	3.68	-0.62
hec-cde	72.48*	1.26	25.45*	4.30*	4.25	1.47**

Catatan: *menunjukkan signifikansi $\alpha= 5\%$; ** menunjukkan signifikansi pada $\alpha= 10\%$

Sumber: Hasil Olahan Data EViews8

Dari hasil uji panel VECM pada table 6 dapat menunjukkan bahwa pada jangka pendek terjadi kausalitas dua arah antara variabel HEC (Konsumsi Energy Hydropower) dan GDP (Produk Domestik Bruto) pada Seluruh sampel dan Negara berkembang, namun pada negara maju hanya terjadi kausalitas satu arah yaitu HEC terhadap GDP. Sedangkan pada jangka panjang ketiga jenis sampel yaitu Seluruh sampel, Negara Berkembang, dan Negara Maju terdapat kausalitas satu arah dari HEC terhadap GDP. Sedangkan variabel GDP secara statistik tidak ada kausalitas terhadap HEC pada ketiga sampel.

Variabel CDE (Emisi Karbondioksida) dan GDP (Produk Domestik Bruto) terdapat kausalitas dua arah pada kelompok semua sampel pada jangka pendek dan Negara maju pada jangka panjang. Pada jangka panjang variabel CDE dan GDP terdapat kausalitas satu arah pada kelompok seluruh sampel dan Negara berkembang. Pada jangka pendek Negara berkembang dan Negara maju bersama-sama memiliki kausalitas satu arah dari GDP ke CDE.

Variabel CDE (Emisi Karbondioksida) dan HEC (Konsumsi Energi Hydropower) memiliki kausalitas dua arah pada kelompok Negara berkembang pada jangka pendek, sedangkan kausalitas satu arah pada variabel CDE terhadap HEC hanya pada kelompok seluruh sampel secara positif. Sedangkan variabel HEC secara satu arah kausalitas terhadap CDE pada jangka panjang di kelompok Negara Berkembang dan Negara Maju, sedangkan pada sampel keseluruhan pada jangka pendek.

Hasil Individual Kausalitas

Uji kausalitas dilakukan untuk mengetahui apakah suatu variabel endogen dapat diperlakukan sebagai variabel eksogen. Uji kausalitas dapat dilakukan dengan berbagai metode diantaranya metode *Granger's Causality* dan *Error Correction Model Causality*. Pada penelitian ini, digunakan metode *Granger's Causality*. *Granger's Causality* digunakan untuk menguji adanya hubungan kausalitas antara dua variabel.

Table 7 .
Perbandingan Hasil Kausalitas Per Negara

Negara	Jangka Pendek	Jangka Panjang
Argentina		$\Delta gdp \rightarrow \Delta hec$
	$\Delta hec \rightarrow \Delta gdp$	$\Delta gdp \rightarrow \Delta hec$
Brazil	$\Delta cde \leftrightarrow \Delta hec$	$\Delta cde \rightarrow \Delta hec$
	$\Delta gdp \rightarrow \Delta hec$	
	$\Delta cde \rightarrow \Delta gdp$	
China	$\Delta cde \rightarrow \Delta hec$	
	$\Delta gdp \rightarrow \Delta hec$	
	$\Delta cde \rightarrow \Delta gdp$	$\Delta cde \leftrightarrow \Delta gdp$
India	$\Delta cde \leftrightarrow \Delta hec$	$\Delta cde \rightarrow \Delta hec$
	$\Delta hec \leftrightarrow \Delta gdp$	
Indonesia	$\Delta cde \rightarrow \Delta hec$	
		$\Delta hec \rightarrow \Delta gdp$
Meksico	$\Delta cde \rightarrow \Delta hec$	$\Delta gdp \rightarrow \Delta cde$
		$\Delta hec \rightarrow \Delta gdp$
Rusia	$\Delta cde \rightarrow \Delta gdp$	$\Delta cde \rightarrow \Delta gdp$
Afrika Selatan		$\Delta hec \rightarrow \Delta gdp$
	$\Delta gdp \rightarrow \Delta hec$	$\Delta hec \rightarrow \Delta gdp$
Turki	$\Delta cde \rightarrow \Delta hec$	$\Delta cde \rightarrow \Delta gdp$
		$\Delta hec \rightarrow \Delta gdp$
Australia		$\Delta cde \rightarrow \Delta gdp$
		$\Delta hec \rightarrow \Delta gdp$
Kanada	$\Delta gdp \rightarrow \Delta hec$	$\Delta hec \rightarrow \Delta cde$
		$\Delta gdp \rightarrow \Delta hec$
Prancis	$\Delta gdp \rightarrow \Delta hec$	$\Delta cde \leftrightarrow \Delta hec$
Jerman	$\Delta gdp \rightarrow \Delta cde$	$\Delta hec \rightarrow \Delta cde$
		$\Delta cde \rightarrow \Delta gdp$
Italia	$\Delta cde \rightarrow \Delta hec$	$\Delta hec \rightarrow \Delta cde$
Jepang		$\Delta cde \leftrightarrow \Delta gdp$
Korea Selatan		$\Delta gdp \rightarrow \Delta hec$
Inggris		
		$\Delta gdp \rightarrow \Delta hec$
		$\Delta gdp \rightarrow \Delta cde$
Amerika Serikat		$\Delta hec \rightarrow \Delta cde$
		$\Delta gdp \rightarrow \Delta hec$
Uni Eropa	$\Delta cde \leftrightarrow \Delta hec$	$\Delta hec \rightarrow \Delta cde$

Sumber: Hasil Olahan Data Eviews8 untuk tes Genger dan VECM.

Dari hasil pengujian kausalitas per Negara pada table 7, kita mengetahui hubungan timbal-

balik/ kausalitas sebagai berikut yaitu variabel HEC (Konsumsi Energy Hydropower), memiliki kausalitas satu arah terhadap GDP (Produk Domestik Bruto) dalam jangka pendek hanya pada Negara Brazil. Pada jangka panjang yaitu Negara Meksiko, Rusia, Afrika Selatan, Turki, Australia, dan Kanada. Sedangkan variabel GDP memiliki kausalitas satu arah terhadap HEC dalam jangka pendek pada Negara China, India, Turki, Kanada, dan Prancis, dan pada jangka panjang yaitu Argentina, Brazil, Prancis, Korea Selatan, Amerika, dan Uni Eropa. Sedangkan HEC dan GDP memiliki kausalitas dua arah pada jangka pendek pada Negara Indonesia dan tidak ada pada jangka panjang.

Variabel CDE (Emisi Karbondioksida), memiliki kausalitas satu arah terhadap GDP (Produk Domestik Bruto) pada jangka pendek yaitu pada Negara China, India, dan Rusia, serta pada jangka panjang yaitu Rusia, Turki, Australia, Italia, dan Jepang. Sedangkan variabel GDP tidak memiliki kausalitas satu arah terhadap CDE dalam jangka pendek namun, memiliki kausalitas satu arah dalam jangka panjang pada Negara Meksiko dan Amerika Serikat. Pada jangka pendek secara timbal balik atau kausalitas dua arah variabel CDE dan GDP pada Negara India dan Jepang., sedangkan pada jangka panjang tidak ada.

Variabel CDE (Emisi Karbondioksida), memiliki kausalitas satu arah terhadap HEC (Konsumsi Energi Hydropower) pada jangka pendek yaitu pada Negara Brazil, China, India, Indonesia, Meksiko, Turki, Italy dan Uni Eropa, pada jangka panjang yaitu pada Negara India dan Prancis. Sedangkan variabel HEC, memiliki kausalitas satu arah terhadap CDE hanya pada jangka panjang yaitu pada Negara Kanada, Italia, Amerika, dan Uni Eropa. Dan secara timbal balik atau kausalitas kedua variabel CDE dan HEC saling mempengaruhi pada jangka pendek pada Negara Uni Eropa.

SIMPULAN

Menurut hasil analisis konsumsi energi hydropower terdapat kausalitas dua arah terhadap Produk Domestik Bruto pada jangka pendek terdapat pada data panel seluruh sampel dan pada individu pada Negara Indonesia. Kausalitas satu arah antara konsumsi energi hydropower secara panel pada jangka pendek terdapat pada Negara berkembang dan Negara maju, sedangkan pada hasil individu pada Negara Brazil. Pada jangka panjang terdapat pada panel data yaitu seluruh sampel, Negara berkembang dan Negara Maju. Pada hasil individu pada Negara Meksiko, Rusia, Turki, Australia, dan Kanada.

Produk Domestik Bruto dalam jangka pendek terdapat kausalitas satu arah terhadap konsumsi energi hydropower pada Negara China, India, Turki, Kanada, dan Prancis, sedangkan pada jangka panjang terdapat pada Negara Argentina, Brazil, Prancis, Korea Selatan, Amerika Serikat, dan Uni Eropa.

Emisi karbon dioksida terdapat kausalitas dua arah terhadap Produk Domestik Bruto pada jangka pendek pada kelompok panel seluruh sampel dan pada jangka panjang pada data panel Negara maju serta Negara India dan Jepang. Emisi karbon dioksida kausalitas satu arah terhadap Produk Domestik Bruto pada jangka pendek di Negara China, India, Rusia dan pada jangka panjang di Rusia, Turki, Australia dan Italia. Sebaliknya Produk Domestik Bruto terdapat kausalitas satu arah terhadap emisi karbon dioksida pada jangka pendek di kelompok panel Negara Berkembang, dan Negara Maju. Secara individu di Negara Jerman pada jangka pendek, dan Meksiko dan Amerika pada jangka panjang.

Emisi karbon dioksida terdapat kausalitas dua arah pada jangka pendek di kelompok panel

Negara berkembang dan secara individu pada Negara Brazil dan India, serta dalam jangka panjang pada Prancis. Emisi karbon dioksida kausalitas satu arah pada jangka pendek di Negara China, Indonesia, Meksiko, Turki, dan Uni Eropa dan dalam jangka panjang pada data panel seluruh sampel serta Negara Brazil dan India. Konsumsi energi hydropower terhadap emisi karbon dioksida kausalitas satu arah secara jangka pendek hanya pada data panel seluruh sampel, dan pada jangka panjang di kelompok Negara berkembang dan Negara maju, serta pada hasil individu pada Negara Kanda, Jerman, Italia, Amerika Serikat, dan Uni Eropa.

Jadi bisa disimpulkan bahwa secara general konsumsi energi hydropower, Produk Domestik Bruto, dan emisi karbon dioksida saling memiliki kausalitas atau hubungan sebab akibat satu sama lain di Negara-negara G20, sehingga kebijakan dan kesepakatan mengurangi efisiensi energi tidak terbarukan dan pengurangan emisi pada pertemuan UNFCC maupun KTT G20 akan memiliki sebab akibat yang berbeda setiap Negara.

Saran

Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan jenis sumber energi terbarukan lainnya seperti energi angin, solar energi, dan lainnya dengan objek penelitian yang berbeda, serta dengan metode yang berbeda agar dapat mengembangkan studi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Apergis N, Chang T, Gupta R, Ziramba E. 2016. Hydroelectricity consumption and economic growth nexus: evidence from a panel of ten largest Hydroelectricity consumers. *Renew Sustain Energy Rev* 62, 318–25.
- Bildirici M. 2015. Hydropower Energy Consumption, Environmental Pollution and Economic Growth. *J Energy Dev* 40(1–2), 189–208.
- Bildirici M. 2016. Environmental pollution, hydropower energy consumption and economic growth: Evidence from G7 countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- BP Statistical Review of World Energy Workbook. 2017.
- Breitung, J. (2000). The local power of some unit root tests for panel data. *Advances in Econometrics* 15, 161–177.
- Engle, R.F., Granger, C.W.J. 1987. Cointegration and error-correction: representation, estimation and testing. *Econometrica* 55, 251–276.
- Dickey dan Fuller. 1979. Times Series With Unit Root. *Journal of the American Statistical Association*.
- Firmansyah, Siti N. (2018). Paris Agreement. *Kompastiana*. <https://www.kompastiana.com/nurjanahfirmansyah/5a9270fccbe52373ae5a69f3/paris-agreement> [accessed 26.03.19]
- Hadri, K. 2000. Testing for stationarity in heterogeneous panel application. *Econometric Journal* 3, 148–161.
- Holtz-Eakin, D., Newey, W., Rosen, H. 1988. Estimating vector autoregressions with panel data. *Econometrica* 56, 1371–1395.

- Im, K.S., Pesaran, M.H., Shin, Y. 2003. Testing for unit roots in heterogeneous panels. *Journal of Econometrics* 115, 53–74.
- Johansen, S., Juselius, K. 1992. Testing structural hypotheses in a multivariate cointegration analysis of the purchasing power parity and the uncovered interest parity for the UK. *Journal of Econometrics* 53, 211–244.
- Levin, A., Lin, C.F., Chu, C. 2002. Unit root tests in panel data: asymptotic and finite sample properties. *Journal of Econometrics* 108, 1–24.
- MacKinnon, J.G., Haug, A.A., Michelis, L. 1999. Numerical distribution functions of likelihood ratio tests for cointegration. *Journal of Applied Econometrics* 14, 563–577.
- Ohler A, Fetters I. 2014. The causal relationship between renewable electricity generation and GDP growth: a study of energy sources. *Energy Econ* 43, 125–39.
- Pedroni, P. 1999. Critical values for cointegration tests in heterogeneous panels with multiple regressors. *Oxford Bulletin of Economic and Statistics* 61, 653–678.
- Pedroni, P. 2000. Fully modified OLS for heterogeneous cointegrated panels. *Advances in Econometrics* 15, 93–130.
- Pesaran, M.H., Smith, R.J. 1995. Long-run relationships from dynamic heterogeneous panels. *Journal of Econometrics* 68, 79–113.
- Solarin SA, Ozturk I. 2015. On the causal dynamics between hydroelectricity consumption and economic growth in Latin America countries. *Renew Sustain Energy Rev* 52, 1857–68.
- The World Bank. World Development Indicators (WDI). 2016. Available online: <http://databank.worldbank.org> [accessed 20.02.17].