



Journal of Applied Mechanical Engineering and Green Technology

Journal homepage: <http://ojs.pnb.ac.id/index.php/JAMETECH>
p-ISSN: 2655-9145; e-ISSN: 2684-8201

Mencapai target penurunan emisi gas rumah kaca yang lebih ambisius di Indonesia

Wayan Gede Santika^{1*}

¹Politeknik Negeri Bali, Bukit Jimbaran, Indonesia
*Email: wayan.santika@pnb.ac.id

Abstrak

Dunia internasional menyangkan target penurunan emisi gas rumah kaca Indonesia yang kurang ambisius dan sangat tidak mencukupi untuk mencapai target Kesepakatan Paris. Penelitian ini bermaksud mendapatkan cara-cara untuk mencapai penurunan emisi yang lebih ambisius melebihi target nasional pada sektor energi. Untuk itu, simulasi kebutuhan energi nasional hingga tahun 2030 berdasarkan Rencana Umum Energi Nasional dilakukan menggunakan software LEAP. Optimasi juga dilakukan untuk memenuhi kebutuhan listrik nasional dengan mengutamakan pembangkit-pembangkit dengan biaya produksi listrik paling murah. Selanjutnya, LEAP memperkirakan emisi gas rumah kaca dari pembakaran bahan bakar pada sisi pembangkit listrik dan sisi demand energi non-listrik. Hasil menunjukkan bahwa target penurunan emisi nasional dapat dicapai dengan sangat mudah, yang menunjukkan bahwa target nasional tersebut kurang ambisius. Optimasi penyediaan energi berdasarkan biaya termurah menunjukkan bahwa penambahan kapasitas pembangkit menggunakan energi terbarukan dapat dilakukan bahkan dengan biaya yang jauh lebih murah daripada menggunakan pembangkit berbahan bakar batubara. Skenario ini menghasilkan emisi yang jauh lebih rendah. Penelitian ini juga mendapatkan bahwa penurunan emisi yang lebih jauh juga dimungkinkan dengan memperluas konversi energi fosil ke energi bersih hingga ke sektor-sektor lainnya, terutama penggunaan energi non-listrik di sektor industri dan transportasi.

Kata kunci: Kesepakatan Paris, NDC, emisi, gas rumah kaca, LEAP

Abstract: *The international community considers Indonesian emission reduction targets unambitious to meet the Paris Agreement target. This study is aimed at finding options to achieve more ambitious emission reduction in the Indonesian energy sector beyond the nationally determined contributions. It simulated national energy demand by 2030 by means of LEAP software. Least-cost optimisation in the power sector was also conducted to find the cheapest way to generate electricity. LEAP also estimates greenhouse gas emissions of the energy sector. Results show that the national emission reduction target will be achieved very easily. The least-cost optimisation shows that renewable electricity can be generated cheaper than fossil-fueled electricity. This scenario emits lower greenhouse gases to the environment. This study also found that a more ambitious emission reduction is possible by addressing energy consumption in other sectors, especially non-electricity consumption in the industrial and transport sectors.*

Keywords: *Paris Agreement, nationally determined contributions, emissions, greenhouse gasses, LEAP*

Penerbit © P3M Politeknik Negeri Bali

1. Pendahuluan

Pada bulan Juli 2021 Indonesia telah menyampaikan perubahan terhadap kontribusi nasional terhadap penurunan emisi gas rumah kaca (GRK), biasa disebut sebagai *nationally determined contribution* (NDC). Semua negara harus menyampaikan perubahan NDC ini setiap lima tahun dengan harapan agar negara-negara tersebut menargetkan penurunan emisi GRK dalam negeri yang lebih ambisius. Sayangnya perubahan NDC yang disampaikan Indonesia tidak menargetkan penurunan emisi yang lebih ambisius. Indonesia masih menargetkan penurunan emisi GRK sebesar 29% (tanpa syarat) atau 41% (dengan syarat bantuan luar negeri) dibandingkan

total emisi pada skenario acuan (skenario *business as usual*, BAU).

Di sektor energi, target ini diterjemahkan menjadi 11% atau 15,5% dari emisi GRK acuan [1]. Indonesia memperkirakan emisi GRK acuan sektor energi sebesar 1669 megaton CO₂e pada tahun 2030 dan berjanji menurunkannya menjadi 1335 megaton CO₂e (tanpa syarat) atau 1227 megaton CO₂e (bersyarat). Padahal emisi GRK acuan Pemerintah Indonesia ini berdasarkan estimasi permintaan energi yang terlalu tinggi, jauh melampaui estimasi demand energi dari studi-studi lainnya. Pemerintah memperkirakan demand energi sebesar 16,6 miliar GJ pada tahun 2030 pada skenario BAU [2].

Sebagai pembandingan, studi BPPT memperkirakan penggunaan energi sebesar 8,9 miliar GJ pada tahun 2030 [3]. BPPT juga memperkirakan emisi GRK sebesar 1052 megaton CO_{2e} pada tahun 2030 pada skenario acuan (BAU). Ini berarti Indonesia akan mencapai target NDC-nya dengan sangat mudah (tanpa perlu usaha sama sekali).

Senada dengan itu, The climate Action Tracker (CAT) juga menilai bahwa perkiraan konsumsi energi Pemerintah Indonesia berlebihan dan target NDC Indonesia akan sangat mudah dicapai [4]. CAT juga menilai bahwa target NDC Indonesia sangat tidak mencukupi untuk menjaga pemanasan global kurang dari 2°C rata-rata suhu permukaan bumi jaman pra-industri, apalagi untuk mencapai target 1,5 °C Kesepakatan Paris (*Paris Agreement*).

Penelitian ini bertujuan untuk mencari pilihan-pilihan terbaik dalam mengurangi emisi GRK sektor energi secara lebih ambisius di Indonesia. Untuk itu, kami melakukan simulasi kebutuhan (demand) energi nasional hingga tahun 2030, *least-cost optimisation* pada sektor kelistrikan, dan estimasi emisi GRK nasional hingga 2030. Simulasi kebutuhan energi akan memberikan gambaran pertumbuhan kebutuhan energi hingga 2030, baik berupa energi fosil ataupun energi terbarukan. Optimasi *least-cost* pada sektor kelistrikan dapat digunakan untuk mendapatkan pilihan pembangkit listrik yang terbaik berdasarkan biaya produksi listrik termurah. Dari simulasi kebutuhan energi nasional dan pemilihan pembangkit listrik termurah ini, emisi GRK nasional dapat diperkirakan.

2. Metode

Simulasi dan optimasi dilakukan menggunakan *Low Emission Analysis Platform* (LEAP). LEAP adalah sebuah software yang biasa digunakan untuk melakukan kajian permintaan energi, kelistrikan dan emisi GRK yang dikembangkan oleh Stockholm Environment Institute [5].

Tiga skenario dibuat untuk dibandingkan, yaitu skenario Acuan, skenario RUEN, dan skenario Optimasi. Demand energi mengacu pada Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) [2] dan diterapkan pada semua skenario. Yang berbeda dari skenario-skenario ini adalah pada sisi pembangkitnya. Skenario acuan mengasumsikan penggunaan pembangkit yang sudah ada untuk memenuhi kebutuhan listrik di Indonesia dan tambahan kebutuhan daya dipenuhi secara proporsional. Skenario RUEN diambil dari asumsi-asumsi dan target-target kelistrikan RUEN. Sementara itu, skenario optimasi didasarkan pada opsi *least-cost optimisation* yang disediakan oleh LEAP.

2.1. Asumsi-asumsi dan Sumber Data

Berikut ini adalah beberapa asumsi dan sumber data:

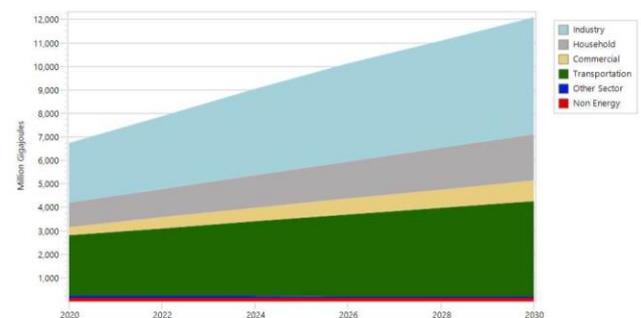
- *Discount rate*: 5,8% (berdasarkan rata-rata *discount rates* dari tahun 2014 hingga 2017 [6]).
- Kebutuhan energi: diambil dari matriks target RUEN [2] dan Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia [7, 8].
- Kerugian-kerugian transmisi dan distribusi listrik: 9,77% pada tahun 2018 [9] menjadi 7,5% pada tahun 2030 [10] untuk skenario RUEN dan optimasi.
- Kerugian transformasi pada kilang minyak, kilang gas, dan tambang batubara secara berurutan sebesar

1,96%, 1,0005%, dan 1,93% (dihitung dari data kementerian [11]).

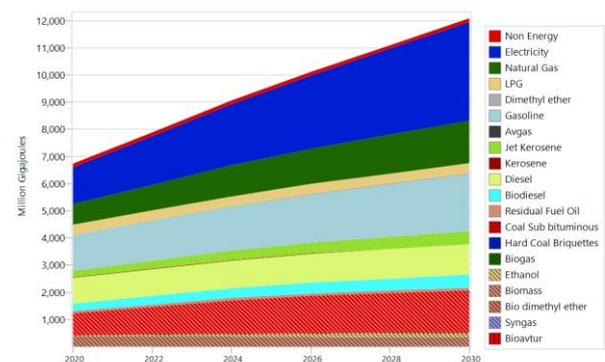
- Kurva beban listrik: diambil dari PLN [12].
- *Planning reserve margin* kelistrikan: 30%.
- Karakteristik dari teknologi pembangkit listrik termasuk efisiensi, *maximum availability*, biaya kapital, biaya tetap dan tidak tetap untuk operasi dan perawatan pembangkit, *capacity credit*, *lifetime*, dan biaya bahan bakar diambil dari berbagai sumber [7, 13-17].
- Environmental effects: diambil dari IPCC Tier 1 yang disediakan oleh LEAP.

3. Hasil dan Pembahasan

Gambar 1 dan 2 menunjukkan perkiraan RUEN atas kebutuhan energi nasional hingga 2030 menurut sektor dan sumber energi. Kebutuhan energi nasional akan meningkat dari 6,74 miliar GJ pada tahun 2020 menjadi 12,08 miliar GJ sepuluh tahun kemudian. Sektor industri akan menjadi pemakai energi terbesar disusul sektor transportasi. Demand energi terbesar pada tahun 2030 akan berupa permintaan listrik, yaitu hingga 3,63 miliar GJ (30% dari seluruh demand). Hal ini disebabkan oleh target konsumsi listrik per kapita yang sangat ambisius, sebesar 7 MWh pada tahun 2050. Permintaan terhadap bensin, gas alam, batubara dan diesel juga cukup besar, yaitu 17,1%, 12,92%, 12,92%, dan 9,33% (berurutan).



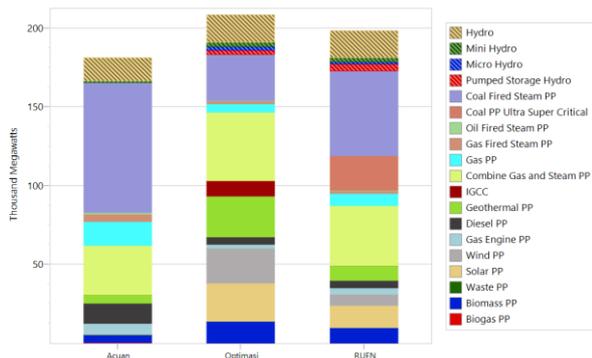
Gambar 1. Perkiraan RUEN atas kebutuhan energi nasional hingga 2030, menurut sektor



Gambar 2. Perkiraan RUEN atas kebutuhan energi nasional hingga 2030, menurut sumber energi

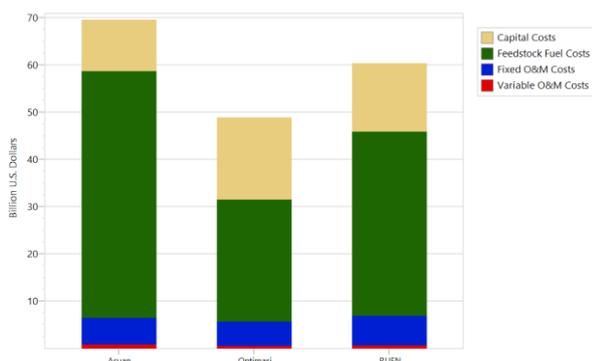
Gambar 3 menunjukkan estimasi kapasitas listrik nasional pada tahun 2030. Untuk memenuhi ambisi konsumsi listrik per kapita yang sangat besar di masa

depan, kapasitas pembangkit listrik harus ditambah hingga hampir tiga kali lipat kapasitas tahun 2020, menjadi sebesar 181,07 GW, 198,3 GW, dan 208,14 GW sesuai skenario acuan, RUEN, dan optimasi (secara berurutan). Tanpa perubahan kebijakan kelistrikan, pemenuhan kebutuhan listrik pada skenario acuan akan didominasi oleh pembangkit batubara dan gas alam. Pada skenario RUEN, kebutuhan listrik masih akan dipenuhi secara dominan oleh pembangkit batubara dan gas alam, namun terlihat juga peningkatan pembangkit dengan sumber energi terbarukan, termasuk hidropower, tenaga matahari, angin, dan biomasa.



Gambar 3. Perkiraan kapasitas pembangkit listrik tahun 2030 menurut skenario yang berbeda

Optimasi biaya yang dilakukan LEAP pada skenario optimasi menganjurkan penggunaan pembangkit energi terbarukan yang lebih banyak, terutama pembangkit panas bumi, matahari, angin, hidropower, dan biomasa. Hal ini menunjukkan bahwa pembangkitan listrik dengan energi terbarukan sudah lebih murah (*cost-effective*) dibandingkan dengan menggunakan tenaga fosil (dalam hal ini batubara).



Gambar 4. Perkiraan biaya produksi listrik sesuai kebutuhan listrik tahun 2030

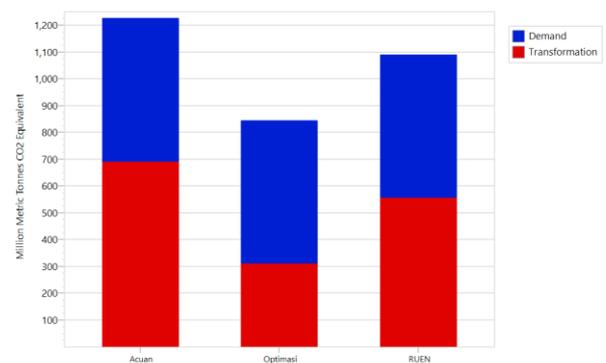
Optimasi *least-cost* yang dilakukan LEAP memastikan bahwa biaya produksi listrik pada tahun 2030 menjadi paling rendah dibandingkan skenario RUEN dan acuan. Gambar 4 menunjukkan bahwa tanpa kebijakan yang menekankan penggunaan energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan listrik nasional biaya produksi listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik tahun 2030 dapat mencapai 69,55 miliar dolar amerika (skenario acuan). Biaya bahan bakar akan mendominasi keseluruhan biaya produksi listrik pada skenario acuan ini. Peningkatan

penggunaan pembangkit terbarukan akan memperbesar biaya modal pembangunan pembangkit, namun secara bersamaan menurunkan secara drastis biaya bahan bakar, seperti ditunjukkan pada skenario RUEN dan optimasi. Total biaya produksi listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik tahun 2030 untuk skenario RUEN dan optimasi jauh lebih rendah dari total biaya produksi listrik skenario acuan. Mengingat kebutuhan listrik diset sama untuk semua skenario, maka biaya produksi listrik per kWh paling rendah didapatkan dengan menerapkan skenario optimasi yang menekankan penggunaan pembangkit terbarukan yang lebih banyak.

Tabel 1. Persentase sumber energi listrik pada tahun 2030

%	Acuan	Optimasi	RUEN
Terbarukan	12.82	46.18	27.55
Gas alam	28.06	29.55	22.66
Batubara	51.66	24.26	48.55
Minyak bumi	7.46	-	1.24
Total	100	100	100

Tabel 1 menunjukkan bahwa listrik dapat dibangkitkan dengan energi terbarukan hingga 46% lebih, bahkan dengan biaya produksi yang lebih murah (skenario optimasi) pada tahun 2030. Produksi listrik dari batubara pun dapat ditekan hingga hanya 24,26%. Bandingkan dengan skenario acuan dan RUEN yang masih memproduksi listrik dari batubara sekitar 50% dari total produksi listrik.



Gambar 5. Perkiraan emisi GRK pada sektor energi pada tahun 2030 di sisi non-listrik (demand) dan pembangkit listrik (*transformation*), menurut skenario acuan, optimasi, dan RUEN

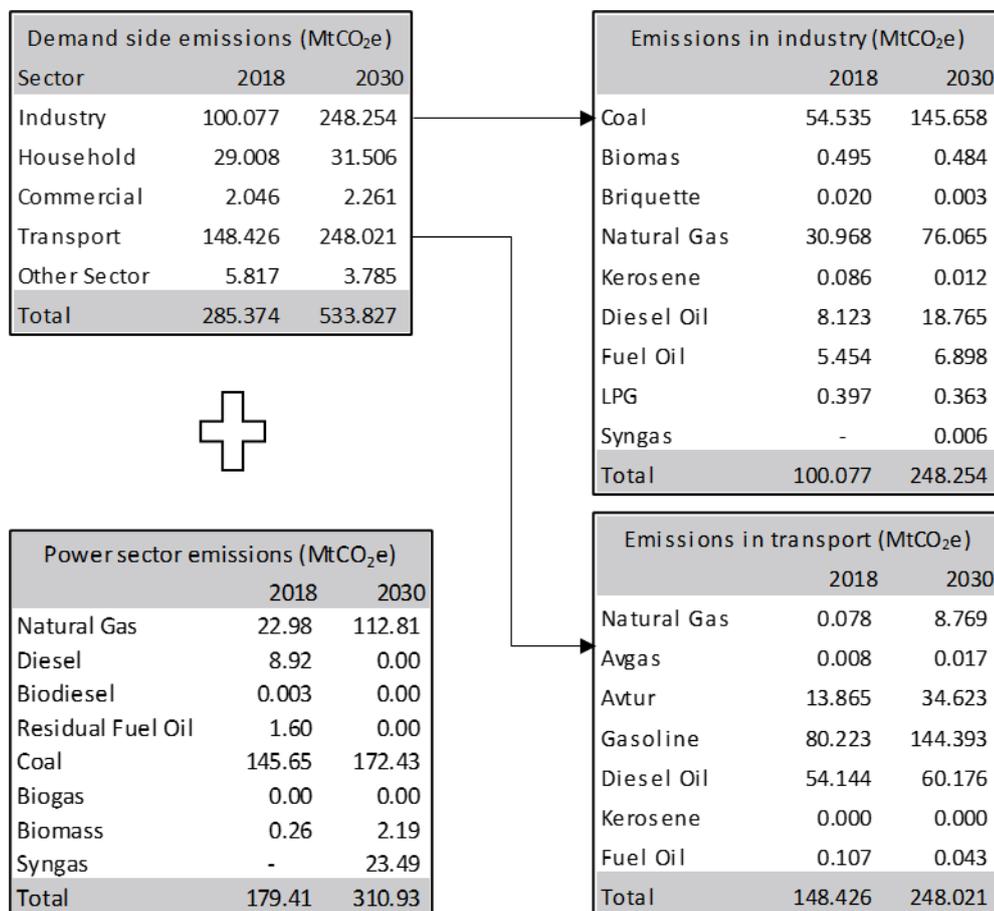
Seperti ditunjukkan pada Gambar 5, skenario acuan yang didominasi pembangkit fosil akan menghasilkan emisi GRK terbesar (1225,6 megaton CO₂e) pada tahun 2030. Emisi GRK yang besar ini disumbangkan oleh pembakaran bahan bakar fosil yang jauh lebih besar pada sektor pembangkit listrik. Karena ketiga skenario didasarkan pada demand energi yang sama, maka emisi karena penggunaan energi non-listrik di sisi demand akan menunjukkan nilai yang sama pada semua skenario. Pembangkitan listrik dengan dominasi energi terbarukan pada skenario optimasi memastikan emisi karbon pada pembangkit listrik (*transformation*) paling rendah, sehingga total emisi GRK skenario ini adalah 844,76 megaton CO₂e.

Sementara itu, skenario RUEN akan menghasilkan emisi GRK sebesar 1090,56 megaton CO₂e pada tahun 2030.

Total emisi GRK ketiga skenario di atas lebih kecil dari target-target NDC nasional Indonesia sebesar 1335 megaton CO₂e (tanpa syarat) atau 1227 megaton CO₂e (bersyarat). Hal ini menunjukkan bahwa Indonesia akan mencapai target-target NDC-nya tanpa perlu melakukan usaha apapun pada sektor energinya selain menerapkan RUEN pada kebutuhan energi non-listriknnya. Kami mengusulkan revisi asumsi-asumsi RUEN untuk mendapatkan nilai konsumsi energi yang lebih mendekati kenyataan.

Lagipula, dengan menerapkan skenario optimasi, yaitu meningkatkan persentase energi terbarukan pada sisi pembangkit listrik (yang otomatis menurunkan persentase pembangkit uap berbahan bakar batubara), Indonesia dapat menurunkan emisi GRKnya hingga 844,76 megaton CO₂e

(63,3% dari target NDC tanpa syaratnya). Pencapaian penurunan emisi GRK menjadi sebesar 63,3 % dari target NDC inipun hanya menysasar sektor kelistrikan. Penurunan emisi yang lebih besar dapat dicapai dengan memperluas cakupan analisa hingga ke sisi demand energi. Gambar 6 menampilkan sumber-sumber emisi GRK di Indonesia menurut skenario optimasi. Konsumsi energi non-listrik pada sisi demand masih mendominasi dengan perkiraan emisi sebesar 533,8 megaton CO₂e pada tahun 2030. Sektor kelistrikan sendiri menghasilkan emisi yang lebih kecil, yaitu sebesar 310.9 megaton CO₂e. Emisi energi non-listrik di sisi demand sebagian besar akan disumbangkan oleh sektor industri dan sektor transport pada tahun 2030. Emisi GRK di sektor industri terutama disebabkan oleh pembakaran batubara dan gas alam. Sementara itu, emisi di sektor transportasi utamanya karena pembakaran bensin dan minyak diesel.



Gambar 6. Sumber-sumber emisi GRK di sektor energi menurut skenario optimasi

Jadi, untuk menurunkan emisi lebih rendah lagi, selain harus menghentikan pembangunan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang pasti berbahan bakar batubara dan mulai mempersiapkan PLTU-PLTU yang masih beroperasi, Indonesia juga harus melakukan konversi energi yang lebih luas di sektor industri (misalnya dengan mengganti batubara dengan bahan bakar lain yang lebih ramah lingkungan) dan sektor transportasi (misalnya dengan konversi kendaraan bensin dan diesel ke kendaraan listrik dan biodiesel). Selain itu, langkah-langkah penghematan energi (konservasi energi) juga dapat

dilakukan sehingga konsumsi energi, baik listrik dan non-listrik, dapat dikurangi. Namun demikian, kajian konservasi energi berada di luar jangkauan penelitian ini.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mendapatkan cara untuk menurunkan emisi GRK Indonesia menjadi jauh lebih rendah dari target NDC dan RUEN. Pada sektor kelistrikan, penurunan emisi ini dapat dilakukan dengan menaikkan ambisi pembangunan pembangkit listrik energi terbarukan, terutama pembangkit listrik tenaga air,

matahari, angin, panas bumi, dan biomasa, serta menghentikan pembangunan baru PLTU (batubara). Hal ini bahkan dapat dicapai dengan biaya keseluruhan yang lebih rendah (dengan metode optimasi *least-cost*). Dengan cara ini, emisi dapat diturunkan hingga hanya 63% dari target NDC tanpa syarat. Ini menegaskan kembali bahwa listrik dapat diproduksi dengan energi terbarukan bahkan dengan biaya lebih murah daripada menggunakan PLTU (batubara). Selanjutnya, penurunan emisi GRK yang lebih ambisius dari itu dapat dilakukan dengan memperluas cakupan konversi energi hingga ke sektor-sektor lainnya, terutama sektor industri dan sektor transportasi. Penggunaan energi fosil pada sektor-sektor ini sebaiknya segera diganti dengan energi lain yang lebih bersih.

Daftar Pustaka

- [1] GOI, "Updated Nationally Determined Contribution: Republic of Indonesia," Jakarta: Pemerintah Indonesia, 2021. Available at: <https://drive.google.com/file/d/1BrAgnLuvPqJqAnkDyIiD4xFghNHfKAOM/view>.
- [2] MEMR, "Rencana Umum Energi Nasional (National Energy General Plan)," Jakarta: Ministry of Energy and Mineral Resources, 2017.
- [3] BPPT, "Indonesia Energy Outlook 2019," Agency for the Assessment and Application of Technology (BPPT), 2019.
- [4] CAT. (2019). *Country summary: Indonesia*. Available at: <https://climateactiontracker.org/countries/indonesia/>. Accessed on 10 August 2020.
- [5] C. G. Heaps. (2020). *LEAP: The Low Emissions Analysis Platform*. Available at: <https://leap.sei.org/default.asp?action=introduction>.
- [6] M. M. El Rayess, A. Halstead, J. Harris, M. J. Ralyea, and A. F. Tieman, *Indonesia's Public Wealth: A Balance Sheet Approach to Fiscal Policy Analysis*. International Monetary Fund, 2019.
- [7] MEMR, "Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2018 (Final Edition)," Jakarta: Ministry of Energy and Mineral Resources, 2019.
- [8] MEMR, "Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2018," Jakarta: Ministry of Energy and Mineral Resources, 2018.
- [9] MEMR, "Electricity Statistics 2018," Jakarta: Ministry of Energy and Mineral Resources, 2019.
- [10] MEMR, "Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional 2019-2038 (2019-2038 National Electricity Plan)," Jakarta: Ministry of Energy and Mineral Resources, 2019.
- [11] MEMR, "Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2016," Ministry of Energy and Mineral Resources, 2016. Available at: <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-handbook-of-energy-economic-statistics-of-indonesia-2016-lvekpnc.pdf>.
- [12] PLN, "Evaluasi operasi sistem Jawa-Bali 2018 (2018 evaluation of the Jawa-Bali power system)," Jakarta: Perusahaan Listrik Negara, 2019.
- [13] Hongli Clean Energy Technologies. (2016). *Hongli Clean Energy Technologies Corp. Reports Fiscal Year 2016 Q1 Financial Results*. Available at: https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1099290/000114420415065404/v424108_ex99-1.htm.
- [14] IEA, "World Energy Outlook 2018," International Energy Agency, 2019.
- [15] K. Handayani, Y. Krozer, and T. Filatova, "From fossil fuels to renewables: An analysis of long-term scenarios considering technological learning," *Energy policy*, vol. 127, pp. 134-146, 2019.
- [16] NEC, "Technology Data for the Indonesian Power Sector: Catalogue for Generation and Storage of Electricity," Jakarta: National Energy Council, 2017.
- [17] NEC, "Indonesia Energy Outlook 2016," Jakarta: National Energy Council, 2016.