

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia berkomitmen untuk berperan serta dalam mengurangi emisi gas rumah kaca dan beradaptasi terhadap dampak perubahan iklim global. Upaya ini sejalan dengan komitmen “Paris Agreement” yang disepakati Indonesia dalam konferensi *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) COP 21 pada tahun 2015 lalu. Dengan perjanjian ini maka Indonesia berkomitmen untuk turut serta mencegah kenaikan temperatur global sebesar dua derajat celcius dan berupaya membatasi kenaikan temperatur global sebesar 1,5 derajat celcius dibandingkan pada masa pra-industri.

Keseriusan pemerintah tersebut kemudian ditindaklanjuti dengan mengesahkan Undang-undang No. 16/2016 Tentang Pengesahan *Paris Agreement To The United Nations Framework Convention on Climate Change* (Persetujuan Paris Atas Konvensi Kerangka Kerja PBB Mengenai Perubahan Iklim). Dengan pengesahan UU ini maka pemerintah berupaya meningkatkan perlindungan wilayah Indonesia yang sangat rentan terhadap dampak perubahan iklim melalui mitigasi dan adaptasi. UU tersebut juga menstimulasi peningkatan komitmen nasional dalam upaya menurunkan emisi di berbagai sektor. Selain itu, juga memberi peluang kemudahan akses sumber pendanaan internasional, transfer teknologi, serta peningkatan kapasitas bagi implementasi aksi mitigasi dan adaptasi perubahan iklim.

Komitmen tersebut selanjutnya dituangkan ke dalam *Nationally Determined Contribution* (NDC) yang merupakan inti dari penerapan *Paris Agreement* yang disepakati dalam konferensi COP 21. NDC merupakan perwujudan upaya setiap negara untuk mengurangi emisi dan beradaptasi terhadap dampak perubahan iklim. NDC Indonesia menggambarkan transisi dan komitmen peningkatan aksi menuju pembangunan rendah

emisi dan berketahanan iklim periode 2015-2019 untuk menjadi landasan menentukan tujuan lebih ambisius pasca-2020.

Pada periode implementasi NDC pertama, yakni pada rentang 2020-2030, Indonesia memiliki target NDC yang terbagi dalam dua skenario. Pertama, *counter measure unconditional mitigation scenario* (CM1) yang merupakan mitigasi tanpa persyaratan yang melibatkan pihak luar. Skenario yang dilakukan sendiri oleh Indonesia ini memiliki target reduksi emisi sebesar 29 persen. Skenario kedua, *counter measure conditional mitigation* (CM2) yang merupakan mitigasi reduksi emisi dengan bantuan kerjasama internasional hingga sebesar 41 persen. *Baseline* emisi yang menjadi patokan dalam target NDC Indonesia tersebut adalah *output* emisi pada tahun 2010.

Tabel 1.1 Target NDC Indonesia Tahun 2030

No	Sector	GHG Emission Level 2010* Mton CO ₂ e	GHG Emission Level 2030 (Mton CO ₂ e)			GHG Emission Reduction (Mton CO ₂ e)				Annual Average Growth BAU (2010-2030)	Average Growth 2000-2012*
			BaU	CM1	CM2	% of Total BaU					
						CM1	CM2	CM1	CM2		
1	Energy*	453.2	1,669	1,355	1,271	314	398	11%	14%	6.7%	4.50%
2	Waste	88	296	285	270	11	26	0.38%	1%	6.3%	4.00%
3	IPPU	36	69.6	66.85	66.35	2.75	3.25	0.10%	0.11%	3.4%	0.10%
4	Agriculture	110.5	119.66	110.39	115.86	9	4	0.32%	0.13%	0.4%	1.30%
5	Forestry**	647	714	217	64	497	650	17.2%	23%	0.5%	2.70%
TOTAL		1,334	2,869	2,034	1,787	834	1,081	29%	38%	3.9%	3.20%

Keterangan:

*) Termasuk fugitive emission (emisi lepas yang tidak dapat terkontrol)

***) Termasuk kebakaran gambut pada hutan

CM 1: Counter measure (unconditional mitigation scenario). Kondisi skenario tanpa persyaratan mitigasi yang dilakukan sendiri oleh Indonesia

CM2: Counter measure (conditional mitigation scenario). Kondisi skenario mitigasi dengan bantuan kerjasama internasional

Mton: Juta ton

BaU: Business as Usual

IPPU: Industrial processing and product use

Sumber: Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (MPV). Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim Direktorat Investarisasi GRK dan MPV 2020

Dalam target NDC terbaru tahun 2021 yang diunggah pemerintah Indonesia ke dalam situs dokumen UNFCCC menunjukkan rencana reduksi emisi GRK ke sejumlah sektor kegiatan. Ada lima sektor yang akan

direduksi emisinya hingga tahun 2030 nanti. Terdiri dari sektor energi; limbah; *Industrial processing and product use* (IPPU); pertanian; dan kehutanan. Dari kelima sektor ini diproyeksikan sektor energi akan mengalami lonjakan emisi terbesar. Sektor ini dalam skema *Business as Usual* (BaU) akan mengalami lonjakan emisi hampir empat kali lipatnya sehingga terjadi penambahan emisi hingga lebih dari 1.000 juta ton CO₂e dalam tempo dua dekade. Penambahan akumulasi emisi sektor energi ini merupakan yang terbesar di antara kelima sektor target reduksi NDC 2030. Jadi, energi akan menjadi salah satu sektor yang diprioritaskan untuk segera direduksi emisinya.

Berdasarkan data dari Laporan Inventarisasi GRK dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (MPV), Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) tahun 2018 menunjukkan ada 10 kategori bidang energi yang berkontribusi menyumbang emisi. Dari 10 kategori ini, penyumbang emisi terbesar berasal dari bidang pembangkitan panas dan kelistrikan. Bidang elektrifikasi ini menyumbang emisi GRK sebanyak 261.427 juta ton CO₂e atau hampir 44 persen dari total emisi bidang energi.

Tabel 1.2 Sumber Emisi Kunci Sektor Energi Tahun 2018

No	Kategori	Total GHG* Emission	Level (persen)
1	Main activity electricity and heat production	261,427	43.89
2	Transport	157,522	26.44
3	Manufacturing industries and construction	105,808	17.76
4	Residential	25,341	4.25
5	Fugitive from oil/natural gas	18,638	3.13
6	Petroleum refining	14,791	2.48
7	Other	7,031	1.18
8	Commercial/institutional	2,651	0.45
9	Fugitive from solid fuel	2,433	0.41
10	Coal processing	24	0.00
	Total	595,666	100.00

*) Juta ton CO₂e

Sumber: Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (MPV). Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim Direktorat Investarisasi GRK dan MPV 2020

Kontributor emisi berikutnya dari sektor energi diduduki bidang transportasi dengan total GRK sekitar 157 juta ton CO₂e atau sekitar 26 persen. Peringkat ketiga diduduki bidang industri manufaktur-konstruksi hampir 18 persen dengan emisi GRK sebanyak 105 juta ton CO₂e. Kategori lainnya, rata-rata berkontribusi menyumbang emisi masing-masing kurang dari 4 persen. Seperti kelompok hunian rumah tangga; gas buang minyak, gas alam, dan bahan bakar padat; pengolahan minyak; komersial; serta pengolahan batubara.

Dari uraian tersebut menunjukkan bahwa bidang pembangkitan panas dan listrik harus menjadi fokus utama dalam upaya mereduksi emisi GRK nasional. Pemerintah dan segenap *stakeholder* harus melakukan transisi energi pembangkitan yang lebih ramah lingkungan. Pasalnya, mayoritas pembangkitan energi listrik di Indonesia sekitar 85 persen masih bersumber dari energi fosil. Laporan dari Ditjen Ketenagalistrikan, Kementerian ESDM tahun 2020, menunjukkan pembangkit listrik secara nasional bersumber dari PLTD sebesar 6 persen, PLTG sekitar 28 persen, dan dari PLTU batubara kisaran 50 persen. Pembangkit listrik yang berasal dari sumber EBT tergolong masih kecil yakni kurang dari 15 persen. Komposisi demikian membuat bidang elektrifikasi menghasilkan emisi karbondioksida yang besar. Ditambah lagi emisi dari berbagai bidang kegiatan lainnya yang juga terus meningkat maka ancaman paparan polusi lingkungan di Indonesia juga semakin besar.

Tabel 1.3 Tren Perkembangan Pembangkitan Listrik Nasional

No	Jenis Pembangkitan	Kapasitas Pembangkitan (MW)					
		2015	2016	2017	2018	2019	2020
1	PLT EBT lain	1,780	1,831	1,913	2,090	2,195	2,206
2	PLTA/PLTMH	5,370	5,651	5,688	5,772	5,976	6,121
3	PLTP	1,438	1,533	1,808	1,948	2,131	2,131
4	PLTD	3,824	3,979	4,396	4,631	4,780	4,864
5	PLTG/GU/MG	15,890	17,070	17,660	18,926	19,860	20,762
6	PLTU/MT	26,448	28,352	30,768	31,587	34,737	36,668
	Eksisting	54,688	58,416	62,233	64,955	69,679	72,751

Sumber: Laporan kinerja ditjen ketenagalistrikan 2020, Kementerian ESDM

Untuk meredam laju emisi GRK tersebut, pemerintah sudah merencanakan sejumlah skenario mitigasi guna mereduksinya. Pertama, skenario dalam implementasi NDC hingga tahun 2030. Kedua, skenario visi jangka panjang Indonesia dalam rencana pembangunan yang rendah karbon dan berketahanan iklim. Pada skenario jangka panjang ini, pemerintah Indonesia menargetkan akan mulai menuju *Net Zero Emission* pada tahun 2050 dan pada tahun 2060 target emisi nol tersebut dapat tercapai.

Khusus untuk mereduksi emisi pembangkit listrik dalam skema NDC 2030, pemerintah dengan usahanya sendiri akan menyediakan pembangkit tenaga listrik batubara yang lebih bersih. Mendorong penyediaan atau mempertahankan PLTU batubara sekitar 75 persen berteknologi super kritikal dan ultra super kritikal. Selain itu, pemerintah juga akan berupaya menyediakan pembangkitan listrik dari sumber energi baru terbarukan (EBT). Pembangkit listrik EBT yang akan dikembangkan meliputi panas bumi, tenaga air, solar PV, turbin angin, biomassa, dan biofuel. Rencana pengembangan pembangkit EBT tersebut akan disesuaikan dengan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN 2021-2030.

Tabel 1.4 Target NDC Tahun 2030 Sektor Energi

No	Indicator	BAU	Mitigation Scenario 1 (CM 1)	Mitigation Scenario 2 (CM 2)
1	Efficiency in final energy consumption	Ineficiency in final energy consumption	75%	100%
2	Implementation of clean coal technology in power plants	0%		
3	Renewable energy in electricity production	Coal power plant	19.6 % (committed 7.4 GW based on RUPTL)	Electricity production of 132.74 TWh

No	Indicator	BAU	Mitigation Scenario 1 (CM 1)	Mitigation Scenario 2 (CM 2)
4	Implementation of biofuel in transportation sector	0%	90%	100%
5	Additional gas distribution lines (gas pipeline for residential and commercial sectors)	0%	100%	100%
6	Compressed Natural Gas consumption (CNG fuelling station)	0%	100%	100%

*) The total target to be achieved clean energy and energy efficiency programmes

***) 132.74 TWh is equivalent to 21.65 GW

CM 1: Counter measure (unconditional mitigation scenario). Kondisi skenario tanpa persyaratan mitigasi yang dilakukan sendiri oleh Indonesia

CM2: Counter measure (conditional mitigation scenario). Kondisi skenario mitigasi dengan bantuan kerjasama internasional

Sumber: *Updated Nationally Determined Contribution (NDC) Republic of Indonesia*.

Pada rentang tahun 2021-2030, pemerintah berencana menambah pembangkit listrik dari berbagai sumber energi sebesar 40.574 MW (MegaWatt). Bila dirinci satu per satu, pembangkit energi yang akan dikembangkan di Indonesia pada kurun satu dekade ke depan sedikit lebih banyak dari pembangkitan fosil. Sebanyak 20.922 MW atau sekitar 51 persen pembangkitan EBT akan dikembangkan dalam upaya mereduksi emisi dari sektor pembangkitan energi listrik.

Berdasarkan RPTUL 2021-2030, pengembangan pembangkitan listrik terbesar akan bertumpu pada sumber energi air. Pembangkit listrik tenaga air, PLTA dan pembangkit listrik mini dan mikro hidro, PLTM akan dikembangkan hingga sekitar 10 ribuan MW. Selanjutnya, disusul pengembangan tenaga surya (PLTS) sebesar 4.680 MW dan pembangkitan dari panas bumi (PLTP) sebesar 3.355 MW. Ketiga sumber energi EBT ini akan menguasai sekitar 88 persen pengembangan pembangkit listrik dari kelompok non fosil dalam rentang 10 tahun ke depan.

Untuk sumber EBT lainnya seperti angin, biomassa, dan yang lain juga tetap dikembangkan. Hanya saja, dengan besaran kapasitas terpasang yang jauh lebih kecil, yakni rata-rata kurang dari 1.000 MW.

Tabel 1.5 Kebutuhan Tambahan Pembangkit Listrik Total di Indonesia 2021-2030

No	Pembangkit	Jumlah (MW)
1	PLTU	10,519
2	PLTU MT	3,300
3	PLTP	3,355
4	PLTGU	3,844
5	PLTG/MG	1,984
6	PLTD	5
7	PLTM	1,118
8	PLTA	5,029
9	PS	4,243
10	PLTS	4,680
11	PLT lain	1,487
12	PLT EBT <i>base</i>	1,010
	Jumlah	40,574

Sumber: RPTUL PT PLN (Persero)

Selanjutnya, dalam rangka menuju *Net Zero Emission* pada tahun 2050, pemerintah Indonesia juga sudah merencanakan *Long Term Strategy on Low Carbon and Climate Resilience 2050* (LTS-LCCR 2050) di berbagai bidang seperti energi, limbah, IPPU, pertanian; dan kehutanan. Khusus bidang energi, pemerintah menargetkan bauran energi primer dari sektor EBT harus meningkat hingga 43 persen pada tahun 2050. Selain itu, juga menerapkan penggunaan teknologi yang berdampak signifikan menurunkan emisi GRK seperti *carbon capture and storage* (CSS) dan *bioenergy with carbon capture and storage* (BECCS). Sekitar 75 persen PLTU diperkirakan sudah dilengkapi CCS untuk menghasilkan emisi GRK yang rendah. Pengembangan PLTS dan PLTB akan semakin besar porsinya. Dengan kian masifnya pembangkitan EBT ini maka

pengembangan jaringan *smart micro grid* akan semakin dibutuhkan. Terutama di daerah “remote area”.

Tabel 1.6 Mitigasi *Long Term Strategy on Low Carbon and Climate Resilience 2050 (LTS-LCCR 2050) Sektor Energi*

<ul style="list-style-type: none"> - Bauran pembangkit listrik adalah: energi terbarukan (43%), batubara (38%), gas alam (10%) dan BECCS (8%). Energi terbarukan termasuk hidro, panas bumi, PV surya, biomassa, biofuel dan angin - Kapasitas terpasang campuran pembangkit listrik terbarukan adalah: solar PV 113 GW, hidro 68 GW, panas bumi 23 GW, tenaga angin 17 GW, biomassa 13 GW, biofuel 14 GW dan BECCS 23 GW dengan emisi negati - Pembangkit listrik sumber EBT bersifat intermiten sehingga perlu integrasi dengan sistem pasokan listrik yang stabil secara berkesinambungan (beban dasar) seperti pembangkit listrik tenaga batu bara. - Pembangkit listrik dengan 100% energi terbarukan di daerah terpencil akan membutuhkan Smart Micro Grid - Implementasi langkah-langkah efisiensi, dekarbonisasi listrik menggunakan energi terbarukan besar dan batubara dengan CCS/CCUS, dan penggunaan biofuel dalam transportasi akan memungkinkan sektor energi mencapai pengurangan emisi yang signifikan. Emisi di sektor energi akan menurun dari 1.030 Mton CO₂e pada tahun 2030 menjadi sekitar 572 Mton CO₂e pada tahun 2050.

Sumber: INDONESIA *Long-Term Strategy For Low Carbon And Climate Resilience 2050*, KLHK

Dalam tahapan skema mitigasi yang tertuang dalam NDC 2030 dan LCCP 2050 tersebut menunjukkan bahwa Indonesia serius dalam upaya mereduksi emisi GRK. Salah satu fokus utamanya dalam dua tahapan itu adalah mendorong transisi sistem energi pada pembangkitan listrik. Bidang ini harus dimitigasi sesegera mungkin karena besarnya kontribusi emisi yang mencapai kisaran 44 persen dari total emisi di Indonesia.

Hal yang menarik dari skenario NDC 2030 dan LTS-LCCR 2050 itu adalah belum dilibatkannya pembangkitan energi nuklir dalam rencana mitigasi tersebut. Nuklir tampaknya menjadi sumber energi baru yang sepertinya dihindari oleh pemerintah. Padahal, dalam Peraturan Pemerintah No. 14/2015 Tentang Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional (RIPIN) tahun 2015-2035 disebutkan bahwa industri pembangkit

listrik tenaga nuklir (PLTN) akan dikembangkan pada tahun 2020-2024 dan 2025-2035.

Pada periode 2020-2035, direncanakan akan berdiri pabrik pengolahan logam tanah jarang sebagai produk bahan baku untuk PLTN. Pemerintah akan memfasilitasi pembangunan pabrik bahan bakar nuklir dari Uranium atau unsur lainnya. Selain itu, pemerintah juga berencana mengembangkan fasilitas PLTN yang efisien dengan teknologi keselamatan tinggi.

Hanya saja, rencana tersebut tampaknya masih jauh realisasinya. Terbukti dalam NDC 2030 dan LTS-LCCR 2050, kata “nuklir” belum ada dalam rencana mitigasi emisi itu. Bahkan, dalam skenario jangka panjang sekalipun hingga tahun 2050 nuklir nihil kehadirannya. Pemerintah tampak lebih memprioritaskan sumber EBT lainnya di luar nuklir. Bisa jadi, hal ini diselaraskan dengan Peraturan Pemerintah Nomor 79/2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) dan Peraturan Presiden No. 22/2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN).

Kedua kebijakan pemerintah itu menyebutkan pemanfaatan energi nuklir akan dipertimbangkan setelah pemanfaatan sumber energi baru dan energi terbarukan sudah dimaksimalkan. Energi nuklir dimanfaatkan dengan mempertimbangkan keamanan pasokan energi nasional dalam skala besar; mengurangi emisi karbon; dan tetap mendahulukan potensi EBT sesuai nilai keekonomiannya; serta dipertimbangkan sebagai pilihan terakhir dengan memperhatikan faktor keselamatan secara ketat. Jadi, secara tidak langsung menyebutkan bahwa PLTN bisa jadi tidak akan terwujud di Indonesia apabila sumber pembangkitan EBT yang lain dapat terus dioptimalkan pengembangannya.

Padahal, menurut laporan BATAN (BRIN), Indonesia memiliki potensi bahan baku nuklir berupa Uranium dan Thorium. Diperkirakan potensi Uranium di Indonesia mencapai kisaran 82 ribu ton dan Thorium sekitar 143 ribu ton. Kedua jenis mineral energi ini sumber dayanya tersebar di tiga wilayah di Indonesia, yakni di Pulau Kalimantan, Bangka Belitung,

dan Sulawesi. Jadi, dengan opsional PLTN sebagai pilihan terakhir maka sumber daya yang dimiliki Indonesia tersebut menjadi sia-sia tidak termanfaatkan. Setidaknya hingga saat ini.

Tabel 1.7 Pembangkitan Listrik di Dunia

Indicator	Electrical Capacity (GW)					Shares (%)		
	2019	2020	2030	2040	2050	2020	2030	2050
Total capacity	7,484	7,795	14,933	26,384	33,415	100	100	100
Renewables	2,707	2,994	10,293	20,732	26,568	38	69	80
Solar PV	603	737	4,956	10,980	14,458	9	33	43
Wind	623	737	3,101	6,525	8,265	9	21	25
Hydro	1,306	1,327	1,804	2,282	2,599	17	12	8
Bioenergy	153	171	297	534	640	2	2	2
of which BECCS			28	125	152		0	0
CSP	6	6	73	281	426	0	0	1
Geothermal	15	15	52	98	126	0	0	0
Marine	1	1	11	32	55	0	0	0
Nuclear	415	415	515	730	812	5	3	2
Hydrogen-based			139	1,455	1,867		1	6
Fossil fuels with CCUS	0	1	81	312	394	0	1	1
Coal with CCUS	0	1	53	182	222	0	0	1
Natural gas with CCUS			28	130	171		0	1
Unabated fossil fuels	4,351	4,368	3,320	1,151	577	56	22	2
Coal with CCUS	2,124	2,117	1,192	432	158	27	8	0
Natural gas with CCUS	1,788	1,829	1,950	679	495	23	13	1
Oil	440	422	178	39	25	5	1	0
Battery storage	11	18	585	2,005	3,097	0	4	9

Sumber: "Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector", International Energy Agency (IEA)

Kondisi Indonesia yang cenderung menghindari nuklir itu cukup berbeda dengan kondisi sejumlah negara lainnya yang condong untuk mengoptimalkan pengembangan nuklir di masa mendatang. Berdasarkan laporan "Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector" yang diterbitkan oleh International Energy Agency (IEA), memperkirakan kapasitas terpasang PLTN akan terus meningkat. Pada tahun 2020, kapasitas listrik dari nuklir di dunia mencapai besaran 415 GW. Pada tahun

2030, diperkirakan kapasitasnya akan bertambah sekitar 24 persen menjadi sekitar 515 GW. Pada tahun 2050, melonjak lagi sekitar 1,5 kali lipatnya menjadi 812 GW. Kapasitas pembangkitan nuklir ini pada tahun 2030 dan 2050 hanya mengusai sekitar 2-3 persen pembangkitan energi listrik yang ada di seluruh dunia. Besaran ini relatif sangat kecil secara global. Meskipun demikian, nuklir memiliki keandalan pasokan energi yang tergolong tinggi di dunia. Dengan *share* kapasitas yang relatif kecil itu, ternyata seluruh reaktor PLTN mampu menghasilkan suplai energi hingga kisaran 8-10 persen kebutuhan listrik dunia. Artinya, nuklir mampu menghasilkan *output* energi yang besar meskipun dengan kapasitas yang kecil.

Kapasitas faktor atau daya mampu yang dihasilkan PLTN tersebut sangat tinggi dan terbesar di antara pembangkit lainnya. Rata-rata di sejumlah negara seperti Amerika, Uni Eropa, China, dan India besaran kapasitas faktor pada tahun 2020 berkisar antara 70-90 persen dari daya maksimal. Besaran ini sangat tinggi bila dibandingkan dengan pembangkit jenis lainnya. Pembangkit batubara berkisar antara 20-60 persen; pembangkit gas 40-55 persen; Solar PV tidak lebih dari 21 persen; dan pembangkit tenaga listrik dari angin berkisar 25-42 persen.

Meskipun memiliki daya mampu yang besar, biaya operasi dan perawatan PLTN dan sekaligus biaya bahan bakar serta emisi yang dihasilkannya jauh lebih rendah dari pembangkitan fosil. Biayanya berkisar 25-30 dolar AS/MWh atau lebih murah dari biaya PLTU dan PLTG yang rata-rata berkisar 35-90 dolar AS/MWh. Hanya saja, bila dibanding pembangkitan EBT biaya PLTN lebih mahal. Biaya operasional pembangkitan EBT rata-rata kurang dari 25 dolar AS/MWh. Jadi, biaya perawatan reaktor PLTN berada di level menengah di antara pembangkitan fosil dan EBT.

Perbedaan biaya tersebut menyebabkan *levelised cost of electricity* (LCOE) atau rata-rata biaya pada nilai saat ini dari pembangkitan listrik yang dihasilkan oleh suatu aset selama masa pakainya menjadi tinggi.

Namun, posisinya tetap sama, yakni LCOE PLTN berada di antara pembangkitan fosil dan EBT. Dengan kata lain, PLTN sangat kompetitif bila dibandingkan dengan pembangkit fosil dalam segi pembiayaan operasional hingga masa dekomisioning.

Tabel 1.8 Biaya Teknologi Pembangkit Listrik Berdasarkan Wilayah

Country	Financing	Capital costs			Capacity factor			Fuel, CO2 and O&M			LCOE		
	rate (%)	(\$/kWh)			(%)			(\$/MWh)			(\$/MWh)		
	All	2020	2030	2050	2020	2030	2050	2020	2030	2050	2020	2030	2050
United States													
Nuclear	8.0	5,000	4,800	4,500	90	80	75	30	30	30	105	110	110
Coal	8.0	2,100	2,100	2,100	20	n.a	n.a	90	170	235	220	n.a	n.a
Gas CCGT	8.0	1,000	1,000	1,000	55	25	n.a	50	80	105	70	125	n.a
Solar PV	3.7	1,140	620	420	21	22	23	10	10	10	50	30	20
Wind onshore	3.7	1,540	1,420	1,320	42	43	44	10	10	10	35	35	30
Wind offshore	4.5	4,040	2,080	1,480	42	46	48	35	20	15	115	60	40
European Union													
Nuclear	8.0	6,600	5,100	4,500	75	75	70	35	35	35	150	120	115
Coal	8.0	2,000	2,000	2,000	20	n.a	n.a	120	205	275	250	n.a	n.a
Gas CCGT	8.0	10,000	1,000	1,000	40	20	n.a	65	95	120	100	150	n.a
Solar PV	3.2	790	460	340	13	14	14	10	10	10	55	35	25
Wind onshore	3.2	1,540	1,420	1,300	29	30	31	15	15	15	55	45	40
Wind offshore	4.0	3,600	2,020	1,420	51	56	59	15	10	5	75	40	25
China													
Nuclear	7.0	2,800	2,800	2,500	80	80	80	25	25	25	65	65	60
Coal	7.0	800	800	800	60	n.a	n.a	75	135	195	90	n.a	n.a
Gas CCGT	7.0	560	560	560	45	35	n.a	75	100	120	90	115	n.a
Solar PV	3.5	750	400	280	17	18	19	10	5	5	40	25	15
Wind onshore	3.5	1,220	1,120	1,040	26	27	27	15	10	10	45	40	40
Wind offshore	4.5	2,840	1,560	1,000	34	41	43	25	15	10	95	45	30
India													
Nuclear	7.0	2,800	2,800	2,800	70	70	70	30	30	30	75	75	75
Coal	7.0	1,200	1,200	1,200	50	n.a	n.a	35	50	75	65	n.a	n.a
Gas CCGT	7.0	700	700	700	55	50	n.a	45	45	50	55	60	n.a
Solar PV	5.8	580	310	220	20	21	21	5	5	5	35	20	15
Wind onshore	5.8	1,040	980	940	26	28	29	10	10	10	50	45	40
Wind offshore	6.6	2,980	1,680	1,180	32	37	38	25	15	10	130	70	45

Sumber: "Net Zero by 2050 A Roadmap for the Global Energy Sector", International Energy Agency (IEA)

Salah satu kendala utama dalam pengembangan PLTN secara global adalah biaya investasi pada masa awal. Di sejumlah negara nilai biaya modanya bervariasi. Di negara maju seperti Amerika dan Uni Eropa setidaknya mencapai dari 5.000 dollar AS/kW. Untuk *emerging country* seperti China dan India biaya modalnya jauh lebih rendah sekitar 2.800 dollar AS/kW. Biaya modal PLTN ini merupakan yang terbesar di antara semua jenis pembangkitan. Nilainya berkali lipat dari biaya modal pembangkit fosil ataupun EBT yang umumnya tidak lebih dari 3.000 dollar AS/kW. Nilainya

akan sangat timpang bila dibandingkan dengan biaya modal pembangkitan solar PV yang rata-rata tidak lebih dari 1.000 dollar AS/kW. Besarnya biaya investasi PLTN tersebut salah satunya karena syarat standar keselamatan yang tinggi dari regulator. Konstruksi reaktor harus kokoh dan aman, serta berteknologi mutakhir yang berbiaya mahal.

Besarnya biaya investasi awal dan juga biaya operasional yang relatif besar dari PLTN tersebut sejatinya sebanding dengan kualitas produksi energi yang dihasilkan. Memiliki daya mampu yang besar serta minim emisi. Berdasarkan pengujian IAEA, emisi yang dihasilkan PLTN hanya berkisar 9-21 gram CO₂/kWh. Berbeda jauh dengan pembangkit yang menggunakan energi fosil seperti batubara, minyak bumi atau solar, dan gas alam yang menghasilkan GRK per kWh listrik sebesar 974 gr CO₂; 962 mg SO₂; dan 700 mg NO_x. Perbedaan *output* emisi itu menyebabkan PLTN di seluruh dunia mampu mereduksi CO₂ setidaknya mencapai 2 gigaton setahun. Wilayah yang mulai merasakan dampak reduksi emisi nuklir ini sebagian besar adalah negara-negara maju.

Oleh sebab itu, menurut IEA, pada masa transisi menuju *Net Zero Emission* pada tahun 2050, pembangkit rendah karbon seperti PLTA dan PLTN sangat dibutuhkan untuk menopang keberhasilan target reduksi emisi itu. Kedua jenis pembangkit ini memiliki stabilitas sistem kelistrikan sangat baik yang belum dapat tersaingi oleh pembangkit EBT jenis lainnya.

Dengan memiliki PLTN maka upaya mereduksi emisi GRK menjadi relatif lebih mudah. Negara bersangkutan dapat secara perlahan-lahan mengurangi operasional pembangkitan energi fosil dan mengantikannya dengan pembangkit EBT yang lebih ramah lingkungan. Pada masa transisi ini, PLTN memiliki peranan vital untuk menjaga pasokan energi tetap stabil kepada seluruh konsumen. Baik itu sektor rumah tangga, industri, ataupun jasa.

Negara-negara yang memiliki PLTN sebagian besar sudah mencapai puncak emisi GRK-nya beberapa tahun silam. Ada pula yang sedang berada pada masa titik kulminasi emisi GRK. Namun, ada juga yang

sedang pada masa peningkatan emisi GRK. Negara yang sudah melewati fase puncak emisi atau sedang berada di titik puncak emisi biasanya adalah negara-negara maju yang memiliki tingkat pendapatan per kapita penduduk yang tergolong tinggi. Selain itu, kontributor utama pertumbuhan ekonomi negara bersangkutan biasanya disokong oleh sektor jasa atau sedang berada pada masa transisi dari industri ke jasa.

Untuk negara yang sedang berada dalam tren peningkatan emisi biasanya adalah negara yang sedang giat meningkatkan pertumbuhan ekonomi dari sektor industri. Pada fase industrialisasi ini maka potensi menghasilkan emisi GRK sangatlah tinggi. Oleh sebab itu, dengan mengembangkan PLTN harapannya laju emisi dapat diredam. Selain itu, pasokan energi tetap terjaga keandalannya karena tingginya stabilitas sistem elektrifikasi dari reaktor PLTN. Dengan kata lain, PLTN sangat ramah lingkungan dan sekaligus mampu menopang kemajuan ekonomi secara optimal.

Berdasarkan data dari International Atomic Energy Agency (IAEA) tahun 2019, setidaknya ada 30 negara yang sudah memiliki reaktor PLTN. Negara tersebut bervariasi kondisi perekonomiannya bila dilihat dari struktur pendapatan per kapita penduduknya. Berdasarkan klasifikasi Bank Dunia berdasarkan pendapatan masyarakat maka terdapat empat kategori negara. *Low income* dengan pendapatan rata-rata per kapita tidak lebih dari 1.035 dollar AS; *lower middle income* berkisar 1.036 dollar AS - 4.045 dollar AS; *upper middle income* antara 4.046 dollar AS - 12.535 dollar AS; dan *high income* di atas 12.535 dollar AS per kapita. Dari 30 negara pemilik reaktor itu, 18 di antaranya atau sekitar 60 persen adalah negara maju. Delapan negara lain atau sekitar 27 persen adalah negara *upper middle income*. Sisanya, sekitar 13 persen atau sebanyak 4 negara merupakan negara *kelas lower middle income*.

Dari rincian tersebut selanjutnya dapat dikategorisasikan menjadi dua kelompok, yakni *developed countries* atau negara maju berpenghasilan tinggi dan *emerging market countries* yang kelompok penghasilannya dari

tingkat bawah hingga menengah. Negara maju pemilik reaktor PLTN ada 18 negara dan negara *emerging market* ada 12 negara.

Berdasarkan data emisi GRK dari Bank Dunia pada tahun 2010-2018, mayoritas negara maju pemilik PLTN sebesar 88 persen sudah memasuki fase penurunan emisi GRK. Hanya 2 negara saja yang masih meningkat jumlah emisinya. Negara tersebut adalah Kanada dan Korea Selatan. Sebaliknya, untuk negara *emerging market* hampir semuanya sedang mengalami peningkatan emisi, kecuali Bulgaria dan Ukraina.

Diskripsi antara pendapatan per kapita dan tren emisi tersebut tampak seperti menggambarkan bentuk kurva lingkungan, *The environmental Kuznets curve* (EKC) yang secara teoritis membahas hubungan antara peningkatan kesejahteraan terhadap kerusakan lingkungan. EKC memperlihatkan bahwa degradasi lingkungan akan meningkat dengan bertambahnya pendapatan per kapita. Namun, setelah mencapai titik puncak tertentu maka degradasi lingkungan akan menurun dan tingkat pendapatan tetap terus naik. Dengan pendapatan yang membaik maka ada sebagian dari pendapatan tersebut digunakan untuk memperbaiki lingkungan.

Oleh sebab itu, tidak heran apabila negara-negara maju berpenghasilan tinggi sebagian besar berhasil dalam upaya mereduksi emisi GRK-nya. Bahkan, sebagian besar negara tersebut saat ini kian masif lagi dalam upaya bertransisi menggunakan energi bersih secara totalitas demi menjaga kelestarian lingkungan. Berbeda halnya dengan negara *emerging market* yang saat ini berada pada fase yang cenderung boros menggunakan energi fosil guna mendorong pertumbuhan ekonomi. Dampaknya, emisi sedang mengalami fase peningkatan. Hal demikian juga terjadi pada masa lalu negara-negara maju ketika sedang giat merintis kemajuan perekonomian. Namun, ketika fase kemakmuran sudah tercapai maka lambat laun emisi yang dihasilkan direduksi. Bukan mustahil hal ini juga akan terjadi pada negara-negara *emerging market* pada masa mendatang.

Melihat adanya tren kemajuan ekonomi dan keberhasilan pengembangan PLTN untuk mereduksi emisi di negara-negara maju, maka sejumlah negara pada level ekonomi di bawahnya berupaya untuk mengikuti jejak tersebut. Membangun suplai energi ramah lingkungan guna menyokong pembangunan perekonomian berkelanjutan yang tidak merusak alam.

Keputusan memiliki reaktor PLTN sejumlah negara yang tingkat kesejahteraannya di bawah negara maju tersebut perlu untuk dikaji lebih dalam lagi. Apakah keputusan membangun PLTN itu sejalan dengan kemajuan ekonomi dan juga mampu mereduksi emisi secara signifikan. Apabila memang berdampak positif bagi kedua hal tersebut maka mandat yang disampaikan dalam KEN dan RUEN yang menempatkan nuklir sebagai opsi terakhir perlu untuk ditinjau ulang.

Tabel 1.9 Kondisi Ekonomi dan Emisi Negara Pemilik Reaktor PLTN

No	Negara	Pendapatan/kapita (dollar AS/tahun)	Kategori Pendapatan	Tren Emisi 2010-2018 (kilo ton CO ₂ e)
1	United Kingdom	40,285	High income	-15,374
2	United States	63,544	High income	-51,446
3	Canada	43,242	High income	4,921
4	France	38,625	High income	-4,748
5	Japan	40,113	High income	-6,241
6	Korea, Rep.	31,489	High income	7,076
7	Belgium	44,594	High income	-1,625
8	Czech Republic	22,762	High income	-1,431
9	Finland	49,041	High income	-2,271
10	Germany	45,724	High income	-7,923
11	Hungary	15,899	High income	-186
12	Netherlands	52,304	High income	-2,499
13	Romania	12,896	High income	-328
14	Slovak Republic	19,157	High income	-306
15	Slovenia	25,180	High income	-220
16	Spain	27,057	High income	-1,864
17	Sweden	51,926	High income	-1,516
18	Switzerland	86,602	High income	-966
19	United Arab	43,103	High income	4,685

No	Negara	Pendapatan/kapita (dollar AS/tahun)	Kategori Pendapatan	Tren Emisi 2010-2018 (kilo ton CO ₂ e)
20	China	10,500	Upper middle	230,361
21	Russian Federation	10,127	Upper middle	3,049
22	Argentina	8,442	Upper middle	1,159
23	Armenia	4,267	Upper middle	151
24	Belarus*	6,411	Upper middle	-270
25	Brazil	6,797	Upper middle	3,748
26	Bulgaria	9,976	Upper middle	-465
27	Turkey*	8,538	Upper middle	14,481
28	Kazakhstan**	9,056	Upper middle	-390
29	Mexico	8,347	Upper middle	400
30	South Africa	5,091	Upper middle	1,018
31	Ukraine	3,727	Lower middle	-10,511
32	Iran, Islamic Rep.	2,283	Lower middle	9,800
33	India	1,901	Lower middle	96,151
34	Pakistan	1,194	Lower middle	8,469
35	Bangladesh*	1,969	Lower middle	4,023

Pendapatan/ kapita tahun 2020. (*) Reaktor dalam tahap konstruksi; (**) Tidak terdapat data

Sumber: Data diolah dari IAEA dan World Bank

Opsi pembangkitan nuklir layak untuk diteliti lebih dalam guna memberikan alternatif pilihan pada instrumen kebijakan pemerintah terkait reduksi emisi dan kemajuan ekonomi. Mimpi Indonesia menjadi salah satu negara maju di dunia pada tahun 2045 tentu saja memerlukan suplai energi yang besar agar mampu menggerakkan segenap sektor perekonomian. Suplai energi ini seoptimal harus ramah lingkungan agar sejalan dengan semangat pembangunan berkelanjutan (SDGs) yang rendah emisi karbon.

Selain ramah lingkungan, upaya reduksi emisi tersebut merupakan bentuk nyata dari upaya pertahanan negara yang menganut sistem pertahanan semesta guna mencapai tujuan nasional. Tujuan nasional terdiri dari empat hal, yakni melindungi segenap bangsa Indonesia dan seluruh tumpah darah Indonesia; memajukan kesejahteraan umum; mencerdaskan kehidupan bangsa; serta ikut melaksanakan ketertiban dunia yang berdasarkan kemerdekaan, perdamaian abadi dan keadilan

sosial. Upaya dalam mereduksi emisi itu berkaitan erat dengan tujuan nasional itu.

Ada sejumlah alasan yang mengaitkan antara emisi dengan tujuan nasional tersebut. Pertama, dalam UU no. 16/2016 disebutkan bahwa pada tahun 2050 diperkirakan akan terjadi kenaikan muka air laut setinggi 35-40 cm dari posisi tahun 2000. Selanjutnya, pada tahun 2100 muka air laut bertambah tinggi lagi mencapai 175 cm akibat mencairnya es di kutub utara dan selatan akibat pemanasan global yang tidak terkendali. Indonesia sebagai negara kepulauan terbesar di dunia sangat rentan terhadap ancaman perubahan iklim tersebut. Pasalnya, sebagai besar ibu kota provinsi dan sekitar 65 persen penduduk Indonesia tinggal di wilayah pesisir sehingga sangat rentan terhadap perubahan iklim yang mendorong kenaikan muka air laut itu. Akibatnya, daratan kian menyempit karena wilayah pesisir sebagian mulai terendam air laut, wilayah hunian akan bergeser, rusaknya ekosistem pesisir, perubahan tata guna lahan, mengikis areal persawahan di daerah pesisir, dan sebagainya.

Kedua, dalam Buku Putih Pertahanan Indonesia 2015, perubahan iklim akibat emisi CO₂ dikategorikan sebagai ancaman akibat perkembangan lingkungan strategis yang melanda di seluruh dunia. Perubahan iklim global berpengaruh pada lingkungan kehidupan manusia yang berdampak secara langsung maupun tidak langsung pada kebutuhan dasar umat manusia. Terutama pada sektor pangan, air, kesehatan, dan energi. Perubahan iklim secara tidak langsung akan berpengaruh pada masalah keamanan. Tidak terpenuhinya kebutuhan dasar hidup manusia akan menyebabkan terganggunya ketahanan dan kemampuan beradaptasi terhadap lingkungan yang dapat mengarah kepada kerawanan. Hal ini juga berpengaruh terhadap dinamika politik, perekonomian, krisis air dan pangan, munculnya berbagai penyakit pandemik, migrasi penduduk, dan berbagai konflik. Artinya, perubahan iklim dalam memicu banyak persoalan baik di dalam lingkup masyarakat, pemerintahan, negara, hingga

internasional. Emisi CO₂ harus direduksi secepat mungkin agar potensi ancaman yang terjadi di masa mendatang dapat dihindari.

Oleh sebab itu, dalam upaya mitigasi emisi dan sekaligus transisi menuju optimalisasi sumber daya EBT di Indonesia maka pembangunan reaktor PLTN layak untuk dipertimbangkan. Apalagi, Indonesia sudah memiliki pengalaman mengelola tiga reaktor riset. Reaktor Triga 2000 di Bandung, reaktor Kartini di Yogyakarta, dan reaktor GA. Siwabessy di Serpong. Tertua, adalah reaktor Triga yang dimulai diresmikan pengoperasiannya sejak tahun 1965. Indonesia juga memiliki SDM yang kian terampil di bidang energi atom yang berada di bawah naungan Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) atau Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) serta Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN). Dari sisi bahan baku, Indonesia juga memiliki sumber daya Uranium dan Thorium yang cukup berlimpah. Pemerintah pun sejak era 80-an juga sudah melakukan beberapa kali studi ke sejumlah lokasi yang akan dilakukan pengembangan PLTN. Seperti di Muria, Banten, Bangka Belitung, Kalimantan Barat, dan Kalimantan Timur. Sejumlah uraian ini menunjukkan bahwa Indonesia sejatinya sudah memiliki kemampuan dan kesiapan dalam membangun reaktor PLTN. Hanya saja, untuk implementasi proyek PLTN tersebut memerlukan keberanian dan ketegasan dan pemerintah.

Berdasarkan fakta-fakta empirik tersebut, peneliti akan melakukan riset secara ekonometrika terkait dampak pengembangan reaktor PLTN dan kemajuan ekonomi terhadap reduksi emisi di negara *emerging market*. Negara yang digunakan sebagai sampel penelitian ini adalah Brazil, Rusia, India, China, Afrika Selatan, dan Meksiko. Oleh sejumlah lembaga konsultan global seperti *Goldman Sachs Asset Management* dan *Pricewaterhouse Coopers* (PwC) negara-negara tersebut diperkirakan akan menjadi negara maju di masa depan bersaing dengan negara makmur kelompok G-7.

Jadi, langkah sejumlah negara *emerging market* tersebut dalam mereduksi emisi CO₂ dengan mengoperasikan PLTN menarik untuk

dianalisa lebih lanjut. Keberhasilan negara-negara maju dalam mengakselerasi reduksi emisi dengan menggunakan PLTN dan sekaligus mendorong perekonomian nasional diduga juga akan dapat terwujud di negara *emerging market*. Dengan pengujian hipotesa EKC maka dapat membuktikan dugaan itu.

Selain meneliti negara *emerging market* tersebut, penelitian ini juga akan melakukan riset terkait emisi yang dihasilkan oleh konsumsi energi di Indonesia. Keterkaitan Indonesia dengan negara *emerging market* yang diteliti itu karena Indonesia merupakan salah satu negara yang diprediksi juga akan menjadi negara maju di masa depan. Bersaing dengan Brazil, Rusia, India, China, Afrika Selatan, dan Meksiko. Oleh sebab itu, pilihan konsumsi energi di negara *emerging market* tersebut dapat sebagai pijakan bagi pemerintah Indonesia dalam memilih sumber energi yang tepat untuk dikembangkan produksinya sekaligus mampu mereduksi emisi di masa mendatang.

Hasil riset dari negara *emerging market* dan Indonesia itu akan digunakan sebagai dasar penelitian berikutnya mengenai formulasi kebijakan yang sebaiknya diambil oleh pemerintah Indonesia dengan mempertimbangkan saran, masukan, dan pendapat dari sejumlah pihak terkait opsi nuklir (PLTN) dalam menuju *Net Zero Emission*. Pihak yang dilibatkan dalam penelitian kebijakan ini adalah Kementerian ESDM, DEN, BAPETEN, BRIN (OTRN), organisasi energi nuklir (HIMNI), pengamat/peneliti energi nuklir, dan akademisi. Dengan menggali informasi dan diskusi dengan narasumber dari sejumlah instansi tersebut maka diharapkan akan menghasilkan sejumlah prioritas kepentingan pemerintah dalam menuju NZE 2060 serta prioritas tindakan yang perlu dilakukan negara dalam pengembangan PLTN dalam upaya menuju NZE 2060.

1.2 Identifikasi Masalah

Masalah utama yang diidentifikasi dalam penelitian ini adalah belum dimasukkannya rencana pembangunan reaktor PLTN secara resmi di

Indonesia dalam menuju *Net Zero Emission* (NZE) global hingga tahun 2050 nanti. Padahal, dalam proyeksi reduksi emisi global yang diterbitkan IEA nuklir masih akan dikembangkan untuk menuju NZE. Berdasarkan data IAEA tahun 2019, sebagian besar negara pemilik reaktor PLTN terus berupaya menambah reaktor baru hingga sekarang. Termasuk sejumlah negara *emerging market*.

Oleh sebab itu, peneliti ingin melihat seberapa besar pengaruh sejumlah variabel bebas seperti pendapatan per kapita, produksi energi nuklir, konsumsi energi baru terbarukan (EBT), dan konsumsi energi fosil terhadap emisi CO₂ (GRK) di sejumlah negara *emerging market*.

Peneliti juga menguji seberapa besar pengaruh sejumlah variabel energi seperti konsumsi energi fosil, konsumsi energi hidro (PLTA), dan konsumsi energi dari EBT terhadap emisi CO₂ di Indonesia.

Hasil pengujian regresi dari negara *emerging market* dan di Indonesia itu akan digunakan sebagai dasar pijakan untuk menggali informasi dan data dari intitusi yang berkaitan dengan formulasi kebijakan di bidang energi dan nuklir di Indonesia. Dengan demikian, peneliti dapat menghasilkan sejumlah formulasi atau rekomendasi yang relatif baik guna mendukung prioritas kepentingan pemerintah Indonesia dalam menuju NZE Indonesia 2060 sekaligus kriteria pengembangan PLTN di Indonesia dalam upaya menuju NZE 2060.

1.3 Pembatasan Masalah

Penelitian ini difokuskan pada sejumlah negara *emerging market* yang memiliki reaktor PLTN. Negara tersebut adalah Brazil, Rusia, India, China, Afrika Selatan, dan Meksiko. Dipilihnya negara tersebut sebagai sampel karena negara-negara itu adalah representasi dari negara *emerging country* yang diproyeksi akan menjadi negara maju pada tahu ke depan.

Pada tahun 2001, *Goldman Sachs Asset Management*, memperkenalkan terminologi BRIC yang terdiri dari Brazil, Rusia, India, dan China sebagai negara yang memiliki pasar yang bertumbuh pesat dan

ukuran ekonominya cukup besar sehingga dapat mempengaruhi situasi global. Pada tahun 2010, South Africa menyusul masuk dalam kelompok tersebut atas sponsor China sehingga berubah menjadi BRICS. Pada tahun 2011, Goldman Sachs membuat istilah "*growth market*" untuk menyebut pasar potensial di delapan negara dunia, yakni BRICS plus Meksiko, Korsel, Turki, dan Indonesia. Korsel saat ini sudah masuk dalam kategori negara maju.

Tabel 1.10 Negara *Emerging Market* Pemilik Reaktor PLTN

No	Negara	Reaktor Beroperasi		Reaktor Baru		Suplai Listrik PLTN		Pendapatan (dollar AS/kapita)	Kategori
		(Unit)	(Gwe)	(unit)	(Gwe)	TWh	Persentase		
1	Brazil	2	1.88	1	1.34	13.2	2.1	6,797	Upper middle income
2	Rusia	38	28.57	3	3.459	201.8	20.6	10,127	Upper middle income
3	India	22	6.25	7	4.82	40.4	3.3	1,928	Lower middle income
4	China	50	47.528	13	12.565	344.7	4.9	10,435	Upper middle income
5	Afrika Selatan	2	1.86			11.6	5.9	5,656	Upper middle income
6	Meksiko	2	1.55			10.9	4.9	8,329	Upper middle income

Sumber: IAEA dan World Bank

Selain dari Goldman Sachs, ada lagi proyeksi dari perusahaan konsultan internasional *Pricewaterhouse Coopers* (PwC). PwC menyatakan bahwa pada tahun 2050 nanti, perekonomian negara G-7 (Amerika, Jepang, Jerman, Perancis, Inggris, Kanada, dan Italia) akan dikalahkan oleh perekonomian negara *emerging market* yang berkembang pesat. Negara ini berjuduk E-7 yang terdiri dari Brazil, Russia, India, dan China (BRIC) ditambah dengan Meksiko, Indonesia, dan Turki.

Dari semua negara *emerging market* yang diproyeksikan tersebut hampir seluruhnya sudah mengoperasikan reaktor PLTN. Turki merupakan salah satu negara kelompok "*growth market*" atau "E-7" yang sedang dalam tahap pembangunan reaktor. Beberapa tahun ke depan PLTN di Turki sudah dalam fase *Commercial Operation Date (COD)*. Jadi, hanya tinggal Indonesia saja yang saat ini tidak atau belum mengembangkan reaktor PLTN di negaranya.

Dari uraian tersebut maka peneliti ingin melihat pengaruh pengembangan reaktor PLTN di sejumlah negara *emerging market* yang diproyeksikan akan menjadi negara maju di masa depan. Negara yang

sudah mengoperasikan PLTN dalam kategorisasi ini adalah BRICS plus Meksiko.

Variabel yang diambil dari masing-masing negara tersebut dalam penelitian ini terdiri dari:

- a. Emisi karbondioksida (CO₂).
- b. Pendapatan per kapita (GDP).
- c. Produksi energi nuklir (NUC).
- d. Konsumsi energi dari EBT (RE).
- e. Konsumsi energi dari fosil (FE).

Energi dari EBT merupakan gabungan dari semua jenis EBT. Energi fosil merupakan gabungan dari minyak bumi, gas, dan batubara. Tahun yang dipergunakan dalam analisa data panel ini mulai tahun 2000-2019.

Untuk memperkuat hasil riset di negara-negara *emerging market*, peneliti juga melakukan pengujian sejumlah variabel konsumsi energi terhadap emisi CO₂ di Indonesia. Variabel yang diambil untuk pengujian ini terdiri dari:

- a. Emisi karbondioksida (CO₂);
- b. Konsumsi energi dari fosil (FE);
- c. Konsumsi energi dari hidro (PLTA); dan
- d. Konsumsi energi dari EBT (RE)

Energi Fosil yang digunakan dalam penelitian ini merupakan gabungan dari minyak bumi, gas, dan batubara. Energi dari EBT merupakan gabungan dari semua jenis EBT kecuali PLTA. Pemisahan jenis energi EBT dan PLTA ini merupakan hasil pengujian model melalui metode asumsi klasik sehingga merekomendasikan kedua variabel ini harus terpisah. Apabila EBT dan PLTA disatukan dalam satu jenis energi (EBT) maka akan mengalami kendala dalam pengujian asumsi klasik sehingga hasil regresi tidak dapat diinterpretasikan secara statistik.

Jadi, EBT dalam model penelitian ini terdiri dari semua jenis EBT kecuali PLTA. PLTA dalam model ini terdiri dari semua jenis energi yang bersumber dari hidro baik itu skala besar ataupun kecil. Tahun yang

dipergunakan dalam analisa data *time series* di Indonesia ini mulai tahun 2000-2020.

Penelitian ini juga berfokus pada langkah atau formulasi kebijakan yang diambil pemerintah saat ini terkait dengan rencana menuju NZE Indonesia 2060 beserta opsi pengembangan nuklir sebagai pilihan terakhir. Peneliti akan meminta pendapat dari sejumlah pihak yang kredibel terkait kebijakan pemerintah tersebut. Pihak yang akan dilibatkan sebagai narasumber penelitian ini adalah:

- a. Ditjen EBTKE, Kementerian ESDM.
- b. BAPETEN.
- c. Dewan Energi Nasional (DEN).
- d. Organissasi Riset Tenaga Nuklir (OTRN), BRIN.
- e. Organisasi Tenaga Nuklir (HIMNI).
- f. Pengamat energi nuklir.
- g. Akademisi.

1.4 Rumusan Masalah

Sejumlah hal yang menjadi rumusan masalah dalam penelitian ini ada beberapa hal:

- a. Bagaimanakah pengaruh pendapatan per kapita (GDP); produksi energi nuklir dari PLTN (NUC); konsumsi energi dari EBT (RE); dan konsumsi energi dari fosil (FE) terhadap emisi CO₂ di negara *emerging market*?
- b. Apakah terjadi skenario *Environmental Kuznets Curve* (EKC) di negara *emerging market* tersebut?
- c. Bagaimanakah pengaruh konsumsi energi dari dari fosil (FE); konsumsi energi dari hidro (PLTA); dan konsumsi energi dari EBT (RE) terhadap emisi CO₂ di negara Indonesia?
- d. Bagaimanakah formulasi kebijakan pemerintah Indonesia dalam menuju NZE Indonesia 2060 sekaligus kriteria

pengembangan PLTN di Indonesia dalam upaya menuju NZE 2060.

1.5 Tujuan Penelitian

- a. Mengukur besaran pengaruh variabel pendapatan per kapita (GDP); produksi energi dari PLTN (NUC); konsumsi energi dari EBT (RE); dan konsumsi energi dari fosil (FE) terhadap variabel emisi CO₂ di negara *emerging market*.
- b. Untuk melihat hipotesis EKC di negara *emerging market* yang memiliki reaktor PLTN.
- c. Mengukur besaran pengaruh variabel konsumsi energi fosil (FE); konsumsi energi hidro (PLTA); dan konsumsi energi dari EBT (RE) terhadap emisi CO₂ di negara Indonesia
- d. Menganalisis pendapat dari sejumlah narasumber yang berkompeten di bidang energi dan nuklir guna merumuskan formulasi kebijakan terkait prioritas kepentingan pemerintah dalam menuju *Net Zero Emission* (NZE) 2060 sekaligus kriteria pengembangan PLTN di Indonesia dalam upaya menuju NZE 2060

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat secara teoritis dan praktis sehingga dapat menjadi bahan kajian yang dapat terus dikembangkan dan dianalisa lebih baik lagi.

1.6.1 Manfaat Teoritis

- a. Secara akademis, penelitian ini diharapkan mampu memberikan gambaran teoritis tentang penggunaan energi bersih dalam mendorong pertumbuhan ekonomi. Peneliti berupaya menyajikan riset yang menggambarkan perkembangan energi bersih di sejumlah negara *emerging*

market untuk dijadikan pijakan secara akademik dalam mendorong optimalisasi SDA nuklir di Indonesia.

- b. Penelitian ini juga berupaya menjaring pendapat dari sejumlah narasumber ahli di bidang energi guna menghasilkan solusi atau formulasi kebijakan terbaik dalam upaya menciptakan pembangunan berkelanjutan (SDGs) yang rendah emisi karbon.
- c. Dengan menggunakan berbagai pendekatan yang terukur secara akademik maka diharapkan penelitian ini dapat menjadi bahan referensi untuk pengembangan riset berikutnya. Terutama penelitian yang terkait dengan isu lingkungan, energi, nuklir, EBT, dan kemajuan perekonomian yang rendah emisi.
- d. Selain itu, penelitian terkait nuklir ini dapat digunakan sebagai dasar mengembangkan analisa lebih lanjut terkait upaya pertahanan negara. Reduksi emisi yang besar dari pembangkitan nuklir sejalan kaidah kepentingan nasional yang berupaya mendorong pembangunan nasional berkelanjutan, berwawasan lingkungan, dan berketahanan nasional berdasarkan wawasan nusantara.

1.6.2 Manfaat Praktis

Sejumlah manfaat praktis dari penelitian ini antara lain:

- a. Bagi pemerintah Indonesia, hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai dasar pertimbangan formulasi kebijakan dalam melibatkan pengembangan reaktor PLTN dalam upaya menciptakan pembangunan berkelanjutan (SDGs) yang rendah emisi karbon.
- b. Bagi Universitas Pertahanan, hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai bentuk implementasi Tri Dharma Perguruan Tinggi.

- c. Bagi masyarakat dan civitas akademika, hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai bahan referensi untuk menambah wawasan dan ilmu pengetahuan tentang pentingnya transisi menuju energi bersih yang andal. Pembangunan nasional tetap stabil naik, tetapi menghasilkan emisi karbon yang terus menurun.
- d. Bagi peneliti, riset ini merupakan salah satu bentuk implementasi ilmu pengetahuan yang akan digunakan dalam pekerjaan profesional. Hasil riset ini sebagian akan dipublikasikan ke media massa sebagai bentuk upaya peneliti dalam menggalang kesadaran bersama akan arti pentingnya transisi energi. Nuklir (PLTN) layak menjadi opsi pilihan untuk direalisasikan pemanfaatannya sebagai sumber energi yang andal dan rendah emisi.