

## BAB 4

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Deskripsi Data

##### 4.1.1 Kuantitatif Dengan Regresi Data Panel

Fungsi ekonometrika yang digunakan dalam penelitian di sejumlah negara *emerging market* pemilik reaktor PLTN adalah sebagai berikut:

$$\ln CO_{2it} = \alpha_i + \beta_0 \ln GDP_{it} + \beta_1 (\ln GDP_{it})^2 + \beta_2 \ln NUC_{it} + \beta_3 \ln RE_{it} + \beta_4 \ln FE_{it} + \varepsilon_{it} \dots\dots(4.1)$$

Dimana:

- i = Individu. i = 1,2,3,4.....N. Jumlah negara yang dijadikan sampel
- t = Waktu. t = 1,2,3,4.....T. Data yang digunakan tahun 2000-2019
- $\alpha$  = Konstanta parameter estimasi
- $\beta_0 - \beta_4$  = Koefisien *intersep* masing variabel
- $\ln CO_{2it}$  = Emisi karbondioksida untuk negara i pada tahun t
- $\ln GDP$  = Pendapatan perkapita nasional untuk negara i pada tahun t
- $(\ln GDP)_{it}^2$  = GDP per kapita kuadrat untuk negara i pada tahun t
- $\ln NUC_{it}$  = Suplai energi nuklir untuk negara i pada tahun t
- $\ln RE_{it}$  = Konsumsi energi dari sumber EBT untuk negara i pada tahun t
- $\ln FE_{it}$  = Konsumsi energi dari sumber fosil (minyak bumi, gas, dan batubara) untuk negara i pada tahun t
- $\varepsilon_{it}$  = Error term

Sampel negara yang digunakan dalam penelitian ini adalah negara *emerging market* pemilik reaktor PLTN. Negara *emerging* yang dimasukkan dalam model ini adalah Brazil, Rusia, India, China, Afrika Selatan, dan Meksiko

**Tabel 4.1 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. Gwe: Giga Watt electric; TWh: Terawatt Hour

Hasil analisa regresi data panel dengan sampel sejumlah negara *emerging market* pemilik reaktor PLTN yang diprediksi akan menjadi negara maju menyaingi negara-negara G7 pada masa depan adalah sebagai berikut:

Model yang terpilih dalam pengujian regresi data panel adalah *Fixed Effect Model (FEM)*

**Tabel 4.2 Fixed Effect Model (FEM)**

Dependent Variable: CO2?

Method: Pooled Least Squares

Date: 12/17/21 Time: 16:24

Sample: 1 20

Included observations: 20

Cross-sections included: 6

Total pool (balanced) observations: 120

White diagonal standard errors & covariance (no d.f. correction)

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-1.029772	1.486178	-0.692900	0.4898
GDP?	0.125928	0.198410	0.634685	0.5270
GDP1?	-0.003038	0.007173	-0.423549	0.6727
NUC?	-0.039505	0.019356	-2.040919	0.0437
RE?	-0.025323	0.042181	-0.600332	0.5495
FE?	1.103657	0.061081	18.06868	0.0000
Fixed Effects (Cross)				
_BRAZIL--C	-0.041766			
_CHINA--C	-0.053616			
_INDIA--C	0.057402			
_MEXICO--C	-0.100288			
_RUSIA--C	-0.145484			
_SOUTHAFRICA--C	0.283752			

Effects Specification

Cross-section fixed (dummy variables)

R-squared	0.998480	Mean dependent var	20.73878
Adjusted R-squared	0.998341	S.D. dependent var	1.061324
S.E. of regression	0.043231	Akaike info criterion	-3.357324
Sum squared resid	0.203713	Schwarz criterion	-3.101804
Log likelihood	212.4394	Hannan-Quinn criter.	-3.253556
F-statistic	7161.268	Durbin-Watson stat	0.782943

Prob(F-statistic) 0.000000

Sumber: diolah oleh peneliti, 2021

#### 4.1.2 Kuantitatif Dengan Regresi Berganda dengan Data *Time Series*

Fungsi atau persamaan yang digunakan untuk melihat variabel penyebab emisi di Indonesia adalah sebagai berikut:

$$CO_2 = \alpha + \beta_1 FE + \beta_2 PLTA + \beta_3 RE + e \quad (4.2)$$

Dimana:

- CO<sub>2</sub> = Emisi GRK di Indonesia
- $\alpha$  = Konstanta parameter estimasi
- $\beta_1 - \beta_3$  = Koefisien intersep masing variabel
- FE = Konsumsi energi dari sumber fosil (minyak bumi, gas, dan batubara)
- PLTA = Produksi energi dari PLTA
- RE = Konsumsi energi dari sumber EBT dari berbagai jenis
- e = Error term

Data yang digunakan untuk melihat sumber penyebab emisi dari sektor energi di Indonesia diambil dari data tahun 2000-2020. Hasil analisa regresi berganda data *time series* di Indonesia adalah sebagai berikut:

**Tabel 4.3 Hasil regresi berganda data *time series***

Dependent Variable: CO<sub>2</sub>

Method: Least Squares

Date: 12/30/21 Time: 20:39

Sample: 2000 2020

Included observations: 21

White-Hinkley (HC1) heteroskedasticity consistent standard errors and covariance

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	89.22083	32.79030	2.720952	0.0145
FE	1.956988	0.394458	4.961214	0.0001
PLTA	-14.66823	13.53638	-1.083616	0.2937
RE	24.71918	6.771390	3.650533	0.0020
R-squared	0.963720	Mean dependent var	402.7905	
Adjusted R-squared	0.957318	S.D. dependent var	101.7527	
S.E. of regression	21.02167	Akaike info criterion	9.098628	

Sum squared resid	7512.484	Schwarz criterion	9.297585
Log likelihood	-91.53560	Hannan-Quinn criter.	9.141807
F-statistic	150.5280	Durbin-Watson stat	1.859068
Prob(F-statistic)	0.000000	Wald F-statistic	122.7957
Prob(Wald F-statistic)	0.000000		

Sumber: diolah oleh peneliti, 2021

#### 4.1.3 Kuasi Kualitatif Dengan *Quality Scorecard Deployment* (QSD).

Penelitian ini berfokus pada dua hal penting yaitu terkait prioritas kepentingan yang akan dilakukan pemerintah Indonesia dalam menuju *Net Zero Emission* (NZE) pada tahun 2060 sekaligus prioritas tindakan yang perlu dilakukan agar PLTN dapat dilibatkan dalam menuju NZE 2060.

Untuk mengukur prioritas kepentingan pemerintah Indonesia dalam menuju NZE 2060, peneliti akan meminta pendapat dari sejumlah narasumber dari Kementerian ESDM; Dewan Energi Nasional (DEN); dan Badan Pengawan Tenaga Nuklir (BAPETEN).

Untuk mengukur prioritas tindakan yang perlu dilakukan agar PLTN dapat dilibatkan dalam menuju NZE 2060, peneliti akan meminta pendapat dari sejumlah narasumber dari Organisasi Riset Tenaga Nuklir (ORTN) BRIN; Himpunan Masyarakat Nuklir Indonesia (HIMNI); pengajar atau akademisi; dan pengamat energi (peneliti nuklir).

## 4.2 Hasil Pengumpulan Data

### 4.2.1 Data Kuantitatif untuk Regresi Data Panel (Pool Data)

**Tabel 4.4 Data GDP per Kapita**

Negara	Tahun	GDP/kapita (dollar AS)
China	2000	959.37
	2001	1,053.11
	2002	1,148.51
	2003	1,288.64
	2004	1,508.67
	2005	1,753.42
	2006	2,099.23

<b>Negara</b>	<b>Tahun</b>	<b>GDP/kapita (dollar AS)</b>
China	2007	2,693.97
	2008	3,468.30
	2009	3,832.24
	2010	4,550.45
	2011	5,618.13
	2012	6,316.92
	2013	7,050.65
	2014	7,678.60
	2015	8,066.94
	2016	8,147.94
	2017	8,879.44
Rusia	2018	9,976.68
	2019	10,216.63
	2000	1,771.59
	2001	2,100.35
	2002	2,377.53
	2003	2,975.13
	2004	4,102.36
	2005	5,323.46
	2006	6,920.19
	2007	9,101.26
	2008	11,635.27
2009	8,562.81	
2010	10,675.00	
2011	14,311.08	
2012	15,420.87	
2013	15,974.64	
2014	14,095.65	
2015	9,313.01	
2016	8,704.90	
2017	10,720.33	
2018	11,287.36	
2019	11,497.65	
Brazil	2000	3,749.75
	2001	3,156.80
	2002	2,829.28
	2003	3,070.91
	2004	3,637.46
	2005	4,790.44
	2006	5,886.46
	2007	7,348.03
	2008	8,831.02
	2009	8,597.92

<b>Negara</b>	<b>Tahun</b>	<b>GDP/kapita (dollar AS)</b>
Brazil	2010	11,286.24
	2011	13,245.61
	2012	12,370.02
	2013	12,300.32
	2014	12,112.59
	2015	8,814.00
	2016	8,710.10
	2017	9,928.64
	2018	9,151.45
	2019	8,897.49
Mexico	2000	7,157.81
	2001	7,544.57
	2002	7,593.14
	2003	7,075.37
	2004	7,484.49
	2005	8,277.67
	2006	9,068.29
	2007	9,642.68
	2008	10,016.57
	2009	8,002.97
	2010	9,271.40
	2011	10,203.42
	2012	10,241.73
	2013	10,725.18
	2014	10,928.92
	2015	9,616.65
	2016	8,744.52
	2017	9,287.85
	2018	9,686.51
	2019	9,946.03
SouthAfrica	2000	3,032.44
	2001	2,666.48
	2002	2,502.28
	2003	3,751.28
	2004	4,833.63
	2005	5,383.66
	2006	5,602.01
	2007	6,095.62
	2008	5,760.81
	2009	5,862.80
	2010	7,328.62
	2011	8,007.48
	2012	7,501.66

<b>Negara</b>	<b>Tahun</b>	<b>GDP/kapita (dollar AS)</b>
SouthAfrica	2013	6,832.73
	2014	6,433.40
	2015	5,734.63
	2016	5,272.54
	2017	6,131.48
	2018	6,372.61
	2019	6,001.40
India	2000	443.31
	2001	451.57
	2002	470.99
	2003	546.73
	2004	627.77
	2005	714.86
	2006	806.75
	2007	1,028.33
	2008	998.52
	2009	1,101.96
	2010	1,357.56
	2011	1,458.10
	2012	1,443.88
	2013	1,449.61
	2014	1,573.89
	2015	1,605.61
	2016	1,732.55
	2017	1,980.67
	2018	1,996.92
2019	2,100.75	

Sumber: Bank Dunia

**Tabel 4.5 Data Emisi CO<sub>2</sub>**

<b>Negara</b>	<b>Tahun</b>	<b>Emisi CO<sub>2</sub> (MTCO<sub>2</sub>e)</b>
China	2000	3097.4
	2001	3253.5
	2002	3508.9
	2003	4065.5
	2004	4739.6
	2005	5407.4
	2006	5961.8
	2007	6473.3

China	2008	7351.8
	2009	7680.7
	2010	8145.8
	2011	8827.2
	2012	9,004.20
	2013	9,247.40
	2014	9,293.20
	2015	9,279.70
	2016	9,279.00
	2017	9,466.40
	2018	9,652.70
	2019	9,810.50
Rusia	2000	1474.4
	2001	1474.7
	2002	1465.9
	2003	1493.9
	2004	1488.2
	2005	1481.9
	2006	1537.7
	2007	1528.1
	2008	1,554.30
	2009	1,448.50
	2010	1,526.60
	2011	1,591.10
	2012	1,605.00
	2013	1,581.10
	2014	1,579.10
	2015	1,549.50
	2016	1,567.00
	2017	1,548.60
	2018	1,606.00
2019	1,595.70	
Brazil	2000	294.6
	2001	301.5
	2002	301.1
	2003	295.6
	2004	313.3
	2005	314.1

Brazil	2006	336.9
	2007	351.4
	2008	374.9
	2009	352.1
	2010	403.1
	2011	427.2
	2012	445.7
	2013	585.8
	2014	508
	2015	490.7
	2016	454.1
	2017	460.6
	2018	445.5
2019	449.9	
Mexico	2000	359.7
	2001	360.6
	2002	368.1
	2003	386.6
	2004	396.1
	2005	412.4
	2006	450.5
	2007	428.9
	2008	431.6
	2009	433
	2010	454.8
	2011	473
	2012	476.7
	2013	483.2
	2014	471.2
	2015	475.2
	2016	480.4
	2017	486.1
	2018	477.1
2019	459.8	
South Africa	2000	280.5
	2001	316.5
	2002	326.8
	2003	348.3

South Africa	2004	375.3
	2005	372.3
	2006	401.3
	2007	411.8
	2008	447.5
	2009	446.7
	2010	474.9
	2011	466.3
	2012	462.1
	2013	463.3
	2014	467.7
	2015	455.5
	2016	474.4
	2017	470.1
	2018	451.9
India	2000	889.8
	2001	904.9
	2002	934.7
	2003	959
	2004	1028.3
	2005	1075
	2006	1257.3
	2007	1365.5
	2008	1,466.90
	2009	1,594.40
	2010	1,652.10
	2011	1,730.00
	2012	1,844.50
	2013	1,930.00
	2014	2,083.80
2015	2,151.90	
2016	2,243.20	
2017	2,324.70	
2018	2,449.40	
2019	2,471.90	

Sumber: IEA dan BP Statistical Review

Tabel 4.6 Data Konsumsi Energi Fosil

Negara	Tahun	Oil (MTOE)	Natural gas (MTOE)	Coal (MTOE)	Jumlah Fosil (MTOE)
China	2000	224.2	22.1	737.1	983.4
	2001	228.4	24.7	751.9	1,005.0
	2002	247.5	26.3	794.9	1,068.7
	2003	271.7	30.5	936.3	1,238.5
	2004	318.9	36.9	1,125.0	1,480.8
	2005	326.8	43.5	1,318.2	1,688.5
	2006	351.2	52.2	1,445.5	1,848.9
	2007	369.3	65.6	1,598.5	2,033.4
	2008	376.0	75.6	1,679.0	2,130.6
	2009	388.2	83.2	1,740.8	2,212.2
	2010	18.99	3.92	73.22	96.13
exajoules	2011	19.68	4.87	79.71	104.26
	2012	20.63	5.43	80.71	106.77
	2013	21.54	6.19	82.44	110.17
	2014	22.39	6.78	82.49	111.66
	2015	24.24	7.01	80.94	112.19
	2016	25.06	7.54	80.21	112.81
	2017	26.2	8.69	80.59	115.48
	2018	27.06	10.22	81.11	118.39
	2019	27.94	11.1	81.79	120.83
Rusia	2000	129.7	318.6	105.2	553.5
	2001	128.6	329.6	102.4	560.6
	2002	129.9	330.9	103.0	563.8
	2003	130.1	346.4	104.0	580.5
	2004	126.2	350.4	99.9	576.5
	2005	126.1	354.6	94.6	575.3
	2006	130.3	373.5	97.0	600.8
	2007	130	379.8	93.9	603.7
	2008	133.9	374.4	100.7	609.0
	2009	128.2	350.7	92.2	571.1
exajoules	2010	5.77	15.26	3.79	24.82
	2011	6.16	15.68	3.94	25.78
	2012	6.26	15.43	4.12	25.81
	2013	6.3	15.3	3.79	25.39
	2014	6.6	15.2	3.67	25.47
	2015	6.34	14.71	3.86	24.91
	2016	6.48	15.14	3.74	25.36
	2017	6.46	15.52	3.51	25.49
	2018	6.56	16.36	3.63	26.55
	2019	6.72	16	3.57	26.29
Brazil	2000	91.5	8.5	12.5	112.5

Negara	Tahun	Oil (MTOE)	Natural gas (MTOE)	Coal (MTOE)	JumlahFosil (MTOE)
Brazil	2001	93.3	10.7	12.2	116.2
	2002	92	12.7	11.5	116.2
	2003	90.9	14.2	11.8	116.9
	2004	92	16.9	13.5	122.4
	2005	94.7	17.6	13.0	125.3
	2006	96	18.5	12.8	127.3
	2007	102.2	19.1	13.6	134.9
	2008	109.1	22.1	13.8	145.0
	2009	109.9	18.1	11.1	139.1
exajoules	2010	4.54	0.99	0.61	6.14
	2011	4.83	0.99	0.65	6.47
	2012	4.98	1.17	0.64	6.79
	2013	5.26	1.38	0.69	7.33
	2014	5.43	1.46	0.73	7.62
	2015	5.09	1.55	0.74	7.38
	2016	4.83	1.34	0.67	6.84
	2017	4.9	1.35	0.70	6.95
	2018	4.72	1.29	0.69	6.70
	2019	4.81	1.29	0.65	6.75
Mexico	2000	87.3	36.9	6.2	130.4
	2001	86.6	37.5	6.8	130.9
	2002	82.8	40.8	7.6	131.2
	2003	85	45.1	8.6	138.7
	2004	88.5	48.8	11.8	149.1
	2005	90.8	54.8	16.0	161.6
	2006	89.7	59.9	16.8	166.4
	2007	92	57.1	16.0	165.1
	2008	91.6	59.7	12.8	164.1
2009	88.5	65	12.5	166.0	
exajoules	2010	3.91	2.38	0.53	6.82
	2011	3.97	2.55	0.62	7.14
	2012	4.04	2.65	0.54	7.23
	2013	3.93	2.8	0.53	7.26
	2014	3.75	2.84	0.53	7.12
	2015	3.7	2.91	0.53	7.14
	2016	3.73	2.99	0.53	7.25
	2017	3.59	3.1	0.52	7.21
	2018	3.51	3.15	0.64	7.30
	2019	3.24	3.17	0.57	6.98
South Africa	2000	22	1.1	74.6	97.7
	2001	22.5	1.1	73.4	97.0
	2002	23.1	0.9	75.9	99.9
	2003	23.9	0.9	81.4	106.2

Negara	Tahun	Oil (MTOE)	Natural gas (MTOE)	Coal (MTOE)	Jumlah Fosil (MTOE)
South Africa	2004	24.7	1.9	86.9	113.5
	2005	24.8	2.8	80.1	107.7
	2006	25.3	3.1	81.5	109.9
	2007	26.6	3.1	83.6	113.3
	2008	25.7	3.4	93.3	122.4
	2009	24.2	3	93.8	121.0
exajoules	2010	1.08	0.15	3.89	5.12
	2011	1.1	0.15	3.79	5.04
	2012	1.13	0.16	3.70	4.99
	2013	1.15	0.15	3.70	5.00
	2014	1.13	0.15	3.75	5.03
	2015	1.25	0.16	3.52	4.93
	2016	1.2	0.13	3.78	5.11
	2017	1.19	0.14	3.72	5.05
	2018	1.19	0.16	3.53	4.88
	2019	1.17	0.15	3.64	4.96
India	2000	106.1	23.7	144.2	274.0
	2001	107.1	23.8	145.2	276.1
	2002	111.3	24.8	151.8	287.9
	2003	113.1	26.6	156.8	296.5
	2004	119.5	28.7	172.3	320.5
	2005	121.9	32.1	184.4	338.4
	2006	128.3	33.5	195.4	357.2
	2007	138.1	36.3	210.3	384.7
	2008	144.7	37.4	230.4	412.5
	2009	152.6	47.1	250.3	450.0
exajoules	2010	6.6	2.12	12.16	20.88
	2011	6.91	2.17	12.75	21.83
	2012	7.33	2.01	13.82	23.16
	2013	7.38	1.76	14.79	23.93
	2014	7.59	1.75	16.23	25.57
	2015	8.2	1.72	16.55	26.47
	2016	8.99	1.83	16.84	27.66
	2017	9.26	1.93	17.44	28.63
	2018	9.68	2.09	18.59	30.36
	2019	9.99	2.13	18.60	30.72

Sumber: IEA dan BP Statistical Review

**Tabel 4.7 Data Produksi Energi Nuklir (PLTN)**

Negara	Tahun	FixNuklir (MTOE)
China	2000	3.80

China	2001	4.00
	2002	5.70
	2003	9.80
	2004	11.40
	2005	12.00
	2006	12.40
	2007	14.10
	2008	15.50
	2009	15.90
	2010	16.72
	2011	19.35
	2012	21.73
	2013	24.60
	2014	29.14
	2015	37.26
	2016	46.10
	2017	53.26
	2018	63.06
	2019	74.28
	2020	77.62
Rusia	2000	29.50
	2001	31.00
	2002	32.10
	2003	33.60
	2004	32.70
	2005	33.40
	2006	35.40
	2007	36.20
	2008	36.90
	2009	37.00
	2010	38.22
	2011	38.45
	2012	39.41
	2013	37.98
	2014	39.65
	2015	42.51
	2016	42.51
	2017	43.71
	2018	43.71
	2019	44.43
2020	45.86	
Brazil	2000	1.40
	2001	3.20
	2002	3.10

Brazil	2003	3.00
	2004	2.60
	2005	2.20
	2006	3.10
	2007	2.80
	2008	3.20
	2009	2.90
	2010	3.34
	2011	3.58
	2012	3.58
	2013	3.34
	2014	3.34
	2015	3.10
	2016	3.34
	2017	3.34
	2018	3.34
	2019	3.34
2020	3.34	
Mexico	2000	1.90
	2001	2.00
	2002	2.20
	2003	2.40
	2004	2.10
	2005	2.40
	2006	2.50
	2007	2.40
	2008	2.20
	2009	2.40
	2010	1.43
	2011	2.15
	2012	1.91
	2013	2.63
	2014	2.15
	2015	2.63
	2016	2.39
2017	2.39	
2018	2.15	
2019	2.39	
2020	2.39	
SouthAfrica	2000	3.10
	2001	2.60
	2002	2.90
	2003	3.00
	2004	3.20

SouthAfrica	2005	2.70
	2006	2.40
	2007	2.70
	2008	3.10
	2009	3.10
	2010	3.10
	2011	2.87
	2012	2.87
	2013	3.10
	2014	3.10
	2015	2.63
	2016	3.34
	2017	3.10
	2018	2.39
	2019	2.87
2020	3.34	
India	2000	3.60
	2001	4.30
	2002	4.40
	2003	4.10
	2004	3.80
	2005	4.00
	2006	4.00
	2007	4.00
	2008	3.40
	2009	3.80
	2010	5.25
	2011	7.17
	2012	7.40
	2013	7.40
	2014	7.64
2015	8.36	
2016	8.12	
2017	8.12	
2018	8.36	
2019	9.55	
2020	9.55	

Sumber: IEA dan BP Statistical Review

**Tabel 4.8 Data Konsumsi Energi dari EBT (*Renewable Energy*)**

Negara	Tahun	Hidro (MTOE)	RE (MTOE)	JumlahRE	FixRE (MTOE)
China	2000	50.30	0.70	51.00	51.00
	2001	62.80	0.80	63.60	63.60

Negara	Tahun	Hidro (MTOE)	RE (MTOE)	JumlahRE	FixRE (MTOE)
China	2002	65.20	0.80	66.00	66.00
	2003	64.20	0.90	65.10	65.10
	2004	80.00	1.00	81.00	81.00
	2005	89.80	1.10	90.90	90.90
	2006	98.60	1.50	100.10	100.10
	2007	109.80	1.90	111.70	111.70
	2008	144.10	3.60	147.70	147.70
	2009	139.30	6.90	146.20	146.20
	2010	6.68	0.77	7.45	177.94
	2011	6.42	1.05	7.47	178.42
	2012	8.00	1.36	9.36	223.56
	2013	8.38	1.81	10.19	243.38
	2014	9.71	2.23	11.94	285.18
	2015	10.15	2.64	12.79	305.48
	2016	10.44	3.44	13.88	331.52
	2017	10.49	4.61	15.10	360.66
	2018	10.73	5.81	16.54	395.05
	2019	11.34	6.75	18.09	432.07
	2020	11.74	7.79	19.53	466.47
	Rusia	2000	37.4	3.05	
2001		39.8	2.76		42.56
2002		37.1	2.62		39.72
2003		35.7	2.64		38.34
2004		40.2	2.63		42.83
2005		39.5	2.61		42.11
2006		39.6	2.43		42.03
2007		40.5	2.79		43.29
2008		37.7	2.30		40.00
2009		39.9	2.30		42.20
2010		1.56	2.35		39.61
2011		1.52	2.45		38.75
2012		1.52	2.65		38.96
2013		1.67	2.62		42.51
2014		1.59	2.54		40.52
2015		1.53	3.04		39.59
2016		1.67	3.53		43.42
2017		1.67	3.39		43.28
2018		1.71	3.98		44.82
2019		1.73	5.29		46.61
2020	1.89	0.00		45.14	
Brazil	2000	68.9	2.5	71.4	71.4
	2001	60.6	2.8	63.4	63.4
	2002	64.7	3.1	67.8	67.8

Negara	Tahun	Hidro (MTOE)	RE (MTOE)	JumlahRE	FixRE (MTOE)	
Brazil	2003	69.2	3.5	72.7	72.7	
	2004	72.6	3.7	76.3	76.3	
	2005	76.4	4.2	80.6	80.6	
	2006	78.9	4.3	83.2	83.2	
	2007	84.6	5	89.6	89.6	
	2008	83.6	5.5	89.1	89.1	
	2009	88.5	5.9	94.4	94.4	
	2010	3.79	0.89	4.68	111.7799	
	2011	4	0.85	4.85	115.8403	
	2012	3.85	0.87	4.72	112.7353	
	2013	3.6	1.02	4.62	110.3468	
	2014	3.42	1.19	4.61	110.108	
	2015	3.28	1.41	4.69	112.0187	
	2016	3.45	1.46	4.91	117.2733	
	2017	3.34	1.59	4.93	117.751	
	2018	3.48	1.8	5.28	126.1106	
	2019	3.55	1.99	5.54	132.3206	
	2020	3.52	2.01	5.53	132.0818	
	Mexico	2000	7.5	1.4	8.9	8.9
		2001	6.4	1.4	7.8	7.8
2002		5.6	1.3	6.9	6.9	
2003		4.5	1.6	6.1	6.1	
2004		5.7	2.1	7.8	7.8	
2005		6.2	2.4	8.6	8.6	
2006		6.9	2.1	9	9	
2007		6.1	2.3	8.4	8.4	
2008		8.8	2.2	11	11	
2009		6	2.3	8.3	8.3	
2010		0.35	0.09	0.44	10.51	
2011		0.34	0.09	0.43	10.27	
2012		0.30	0.10	0.40	9.55	
2013		0.26	0.11	0.37	8.84	
2014		0.36	0.13	0.49	11.70	
2015		0.28	0.16	0.44	10.51	
2016		0.28	0.17	0.45	10.75	
2017		0.29	0.19	0.48	11.46	
2018		0.29	0.24	0.53	12.66	
2019		0.21	0.30	0.51	12.18	
2020	0.24	0.36	0.60	14.33		
SouthAfrica	2000	329,621		329,621	8.17	
	2001	307,340	511	307,851	7.85	
	2002	284,991	579	285,570	7.32	
	2003	285,504	648	286,152	7.03	



#### 4.2.2 Data Kuantitatif Dengan Regresi Berganda

**Tabel 4.9 Data emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia**

Tahun	GRK/CO <sub>2</sub> MTCO <sub>2</sub> e
2000	255
2001	274.3
2002	279.9
2003	308.6
2004	315.8
2005	317.6
2006	339
2007	355.2
2008	350.6
2009	365.8
2010	391.7
2011	449.8
2012	451.1
2013	416.9
2014	452.3
2015	458.2
2016	448.2
2017	480.6
2018	538
2019	583.4
2020	626.6

Sumber: IEA dan BP Statistical Review

**Tabel 4.10 Data konsumsi energi fosil di Indonesia**

Tahun	Oil MTOE	Gas MTOE	Coal MTOE	Total FE MTOE
2000	54.5	26.8	13.7	95.0
2001	55.3	27.9	16.8	100.0
2002	57.5	29.6	18.0	105.1
2003	58.5	31.5	24.2	114.2
2004	61.7	32.1	21.3	115.1
2005	60.7	32.2	24.4	117.3
2006	58.5	32.9	28.9	120.3
2007	60.9	30.7	36.2	127.8
2008	60.4	35.2	31.5	127.1

2009	61.6	37.3	33.2	132.1
2010	69.3	38.0	39.4	146.7
2011	75.5	36.8	46.8	159.1
2012	79.5	37.0	53.0	169.6
2013	78.6	38.2	57.1	173.9
2014	77.6	38.0	45.1	160.7
2015	72.8	39.4	51.1	163.4
2016	70.7	38.5	53.3	162.4
2017	75.2	37.3	57.1	169.6
2018	76.9	38.2	67.8	183.0
2019	75.5	37.7	81.4	194.7
2020	55.9	35.8	77.9	169.6

Sumber: IEA dan BP Statistical Review

**Tabel 4.11 Data konsumsi energi dari PLTA di Indonesia**

Tahun	PLTA MTOE
2000	2.3
2001	2.6
2002	2.3
2003	2.1
2004	2.2
2005	2.4
2006	2.2
2007	2.6
2008	2.6
2009	2.6
2010	3.8
2011	2.9
2012	2.9
2013	3.8
2014	3.3
2015	3.1
2016	4.1
2017	4.1
2018	3.6
2019	3.6
2020	4.1

Sumber: IEA dan BP Statistical Review

**Tabel 4.12 Data konsumsi energi dari EBT di Indonesia**

<b>Tahun</b>	<b>RE MTOE</b>
2000	1.1
2001	1.4
2002	1.4
2003	1.4
2004	1.5
2005	1.5
2006	1.5
2007	1.6
2008	1.9
2009	2.1
2010	2.4
2011	2.4
2012	2.6
2013	2.9
2014	3.8
2015	3.1
2016	4.8
2017	5.0
2018	6.2
2019	8.4
2020	8.8

Sumber: IEA dan BP Statistical Review

#### **4.2.3 Data Wawancara Kuasi Kualitatif Dengan *Quality Scorecard Deployment (QSD)***

##### **4.2.3.1 Kelompok *Left Quality Scorecard (LQS)***

###### **a. Catatan wawancara Kementerian ESDM, Ditjen EBTKE**

Narasumber : Crisnawan Anditya, S.T., M. T.

Jabatan : Direktur Aneka EBT, Ditjet EBTKE,  
Kementerian ESDM

Kementerian ESDM sudah memiliki tiga target besar yang harus dipenuhi. Dari segi waktu ada jangka pendek, menengah, dan panjang. Untuk jangka pendek sudah tertuang dalam kebijakan energi nasional (KEN) dimana bauran EBT pada energi primer tahun

2025 harus mencapai 23 persen. Jangka menengah, Indonesia sudah komitmen pada COP 21 di Paris, untuk menurunkan emisi CO<sub>2</sub> pada tahun 2030 sebesar 29 persen dengan usaha sendiri dan 41 persen dengan bantuan dari pihak luar atau internasional (asing). Target jangka panjang, dalam COP 26 Indonesia menyampaikan akan mencapai *Net Zero Emission* pada tahun 2060. Target jangka panjang ini dapat diraih lebih cepat apabila mendapat dukungan dari dunia internasional.

Kementerian ESDM menyiapkan sejumlah skenario untuk mencapai tiga target besar itu. Mencapai bauran EBT sekitar 23 persen dan juga reduksi emisi sekitar 29 persen pada tahun 2030. Melakukan penghitungan, apakah mungkin mencapai target tersebut dengan memaksimalkan potensi sumber daya EBT yang dimiliki Indonesia. Kementerian ESDM juga melakukan *updating* data terkait potensi sumber daya EBT di Indonesia guna optimalisasi realisasi target EBT di masa mendatang.

Hanya saja, capaian bauran EBT hingga 2021 masih minim, yakni masih berkisar 11-an persen. Oleh sebab itu, untuk mencapai bauran energi 23 persen pada tahun 2025, kementerian ESDM akan mendorong EBT di segala lini. Tidak hanya pada bidang pembangkitan energi, tetapi juga di luar bidang nonpembangkitan. Selanjutnya, untuk mencapai target NDC untuk reduksi emisi sekitar 29 persen yang sudah diterjemahkan dalam RUPTL 2021-2030 sudah masuk dalam kategori “green”. Pemerintah akan menambah jumlah pembangkitan EBT pada kurun 2021-2030 sekitar 51 persen dari total seluruh penambahan pembangkit energi yang mencapai 40-an GW.

Penambahan pembangkit energi dari EBT sebesar 51 persen pada RUPTL 2021-2030 didominasi oleh pembangkit hidro, PLTS, dan panas bumi. Upaya ini membuat target bauran energi sebesar 23 persen pada tahun 2025 masih optimis dapat tercapai. Semua

EBT akan dikembangkan secara sama kesempatan atau proporsinya. Hanya saja, dengan melihat segi waktu yang hanya bersisa sekitar 4 tahun, pemerintah akan berusaha mendorong EBT dari PLTS untuk akseleratif meningkat pesat. Hal ini dikarenakan potensi PLTS di Indonesia sangatlah besar dan proses instalasinya cepat. Selain itu, secara harga, PLTS sekarang relatif sudah kompetitif atau cukup murah.

Beberapa tahun lalu, harga listrik dari PLTS pembangkitan di bawah 25 MW sebesar 18 sen/kWh, di atas 25 MW harganya sekitar 11 sen/kWh. Dengan dikembangkannya PLTS di Cirata pada tahun 2018, harganya turun jauh menjadi berkisar 5,8 sen/kWh. Pengembangan PLTS di wilayah Bali juga dengan harga sedikit lebih murah lagi yakni sekitar 5,5 sen/kWh. Tender beberapa saat lalu dengan Indonesia Power, mendapatkan harga untuk PLTS terapung di bawah 4 sen/kWh. Kompetitifnya harga PLTS tersebut membuat EBT dari surya ini akan semakin masif dikembangkan untuk mencapai target bauran 23 persen pada tahun 2025. Untuk mengakselerasi sumber energi ini, pemerintah mencanangkan program PLTS atap sehingga target bauran dapat dilakukan tidak hanya dari segi utilitas, tetapi juga secara bergotong royong bersama masyarakat.

Pemerintah tengah mendorong disahkannya Perpres tentang EBT sehingga pengembangan EBT dapat berjalan lebih cepat. Ada upaya perbaikan dari segi pentarifan (*feed in tariff*) dan harga pembelian listrik sehingga investor tertarik untuk mengembangkan EBT. Dengan kebijakan ini harapannya tidak hanya target EBT 23 persen saja yang tercapai, tetapi juga target NDC 29 persen juga dapat diraih.

Dalam meraih target NZE 2060, Kementerian ESDM sudah menyiapkan peta jalan. Ditargetnya jumlah pembangkit terpasang mencapai 598 GW. Semua potensi akan dikembangkan secara

maksimal. Namun, hidro akan mendominasi dengan kapasitas mencapai 361 GW dari PLTA. Dalam jangka panjang ini PLTN juga dilibatkan hingga mencapai 35 GW.

Nuklir dilibatkan dalam target jangka panjang karena pada masa beberapa tahun ke depan, PLTU sebagian besar sudah diterminasi dan tidak dibangun lagi. Oleh sebab itu, perlu adanya pembakitan pengganti yang sifatnya *base load*, kapasitas faktor yang besar, serta rendah emisi. Oleh sebab itu, PLTN dimasukkan dalam peta jalan dalam NZE 2060 karena pembangkit ini merupakan pembangkit yang rendah emisi.

Untuk meraih NDC 2030 harapannya, PLTA (hidro) akan menjadi pembangkit EBT yang mendominasi. PLTA ini harapannya dapat menyongkong intermitensi dari PLTS yang juga akan didorong meningkat sangat signifikan menuju tahun 2025. PLTS yang sifatnya *intermittent* dapat diimbangi dengan PLTA (*pump storage*) untuk stabilisasi pasokan energi listrik. PLTS yang akan dikembangkan secara masif dalam jangka pendek adalah PLTS terapung. Salah satunya di Cirata. PLTS terapung dengan kapasitas 45 MW ini terintegrasi dengan PLTA Cirata sehingga jika ada kendala intermitensi pada PLTS, maka PLTA Cirata dapat mengambil alih dengan teknologi smart grid system.

Model PLTS terapung Cirata ini dapat direplikasi di sekitar 271 lokasi dengan kapasitas hingga mencapai 27 GW. Dengan asumsi permukaan danau atau waduk yang digunakan untuk PLTS terapung sekitar 5 persen sesuai dengan peraturan dari Kementerian PUPR. PLTS terapung yang dapat dikoneksikan dengan PLTA ada di 28 lokasi dengan kapasitas mencapai 12 GW. Ke depannya, untuk PLTS tersebut untuk mengatasi kendala intermitensinya akan dikolaborasikan dengan baterai *storage system* kapasitas besar dan diintegrasikan dengan energi dari hidrogen.

RUPTL 2021-2030, sebagian besar pengembangan energinya ditawarkan pada IPP swasta. Dengan alasan keterbatasan keuangan negara dan keuangan BUMN PLN. Dengan pengembangan EBT pun juga begitu, IPP swasta diharapkan dapat mendominasi. PLTS yang akan didorong sebesar mungkin itu pun juga ditargetkan mayoritas akan dikerjakan oleh pihak swasta.

Untuk mendorong masuknya investasi dari IPP, kementerian ESDM dan juga sejumlah kementerian terkait menyusun “Rperpres tentang EBT”. Dalam Rperpres itu ada 3 skema pembelian tenaga listrik yaitu pertama, *feed in tariff*. Skema ini diberlakukan untuk pembangkit EBT dengan kapasitas hingga 5 MW. Skema ini harapannya dapat dikerjakan oleh pemerintah daerah atau BUMD serta pihak swasta lokal daerah. Kedua, dengan mekanisme pembelian harga patokan tertinggi. Skema ini diberlakukan untuk pengembangan EBT di atas 5 MW. Ditujukan bagi semua pihak dipersilahkan untuk berpartisipasi turut serta mengembangkan EBT di Indonesia. Ketiga, berdasarkan harga kesepakatan yang ditujukan untuk jenis EBT tertentu. Misal, pembangkit energi laut, pembangkit listrik tenaga sampah, pembangkit listrik tenaga bahan bakar nabati.

Dalam Rperpres EBT itu sudah memberikan harga yang relatif kompetitif karena sudah menggunakan referensi dari harga-harga kontrak sebelumnya dan melibatkan segenap *stakeholder* terkait. Selain itu, juga sudah mempertimbangkan faktor lokasi. Daerah yang relatif sulit akan mendapatkan indeks perkalian harga yang lebih besar. Hal ini menjadi semacam insentif bagi investor agar tertarik mengembangkan energi dari EBT di luar Jawa dan Bali.

Nuklir akhirnya dimasukkan dalam rencana peta jalan NZE 2060 berdasarkan sejumlah alasan. Pertama, semua potensi energi itu harus dilihat tanpa adanya diskriminasi sumber jenis energi. Nuklir dilibatkan untuk mensubstitusi energi fosil (PLTU) yang sebagian besar akan diterminasi. Apalagi, nuklir adalah jenis pembangkit yang

rendah emisi. Apalagi, Indonesia sudah memiliki lembaga dan SDM yang berkompeten di bidang nuklir sehingga nuklir (PLTN) layak untuk dimasukkan dalam peta jalan NZE 2060.

PLTN yang rencanakan diusulkan adalah jenis *small scale modular reactor* yang kapasitasnya tidak terlalu besar. Dengan model modular yang relatif cepat dalam proses pembangunannya.

PLTN mulai dimasukkan dalam peta jalan dan mulai COD pada tahun 2049 karena berdasarkan hasil penghitungan proyeksi dan juga disesuaikan dengan *competitiveness* harga. Untuk merealisasikan rencana PLTN itu, Kementerian ESDM menargetkan NEPIO (*nuclear energy program implementation organization*) sudah terbentuk pada tahun 2022. Selain itu, RUU EBT diharapkan sudah ditetapkan dan memasukkan nuklir dalam rumusan kebijakannya. Dengan terbentuknya NEPIO dan UU EBT maka pada tahun 2025, pemerintah Indonesia sudah berani untuk *declare* untuk “Go Nuklir” atau sebaliknya “Not Go”. Tanpa statement resmi “Go Nuklir” maka rencana pengembangan PLTN akan sulit dilaksanakan.

Untuk saat ini, kementerian ESDM sedang menyusun Peraturan Menteri mengenai pembentukan NEPIO agar organisasi ini segera berjalan untuk menyiapkan segala macam persyaratan yang diperlukan dalam pengembangan nuklir. Selain itu, dengan terbentuknya NEPIO maka dapat segera mengundang IAEA untuk melakukan *assessment* terkait persiapan pengembangan nuklir di Indonesia. *Assessment* ini sangat penting untuk meloloskan Indonesia ke tahap berikutnya untuk merealisasikan pembangunan reaktor PLTN.

*Assessment* terakhir dari IAEA pada beberapa tahun lalu, dari 19 kriteria yang dipersyaratkan, kurang 3 kriteria yang belum terpenuhi. Salah satunya, tentang pembentukan NEPIO.

Kendala dalam pengembangan nuklir di Indonesia ada beberapa hal. Pertama, Indonesia masih memiliki berbagai potensi

energi yang berlimpah. Penggunaan sumber energi fosil dan EBT nonnuklir masih menjadi prioritas untuk saat ini. Hal ini berhubungan dengan kebijakan dari pemerintah mengenai prioritas pilihan. Kedua, komitmen bersama dari pemangku kepentingan secara nasional yang hingga saat ini belum menyatakan go nuklir. Ketiga, adalah persepsi penerimaan masyarakat terhadap pengembangan reaktor PLTN. Kasus penolakan masyarakat di wilayah Muria, Jateng adalah contoh konkret persepsi masyarakat yang melihat negatif dari nuklir.

Oleh sebab itu, agar nuklir menjadi solid kekuatannya perlu dukungan yang kuat dari segi politik. Apalagi, secara aturan tertulis jelas bahwa pengembangan nuklir harus mendapat persetujuan dari DPR. Persetujuan DPR ini merupakan bentuk komitmen nasional karena sekali menyatakan maka pemerintah tidak bisa mundur lagi dalam pengembangan nuklir tersebut. Jangan sampai kasus di Filipina dan Vietnam yang proyek pengembangan nuklirnya terhenti di tengah jalan karena ada sejumlah faktor yang belum dapat terpecahkan hinggaa saat ini.

Jalinan kerjasama internasional juga sangat dibutuhkan seperti kolaborasi dengan IAEA agar kriteria yang dipersyaratkan dalam pembangunan nuklir dapat dipantau dan dievaluasi sehingga dapat memberikan rekomendasi mengenai keberlangsungan proyek di masa mendatang.

Untuk pembiayaan proyek PLTN itu sendiri ada sejumlah vendor yang menawarkan. Biasanya, juga disertai dengan mekanisme pembiayaanya. Tinggal nanti pemerintah memilih akan menggunakan jenis teknologi PLTN yang akan dikembangkan. Harapannya, pemerintah akan mengembangkan PLTN generasi IV yang lebih tinggi tingkat keamanannya.

Pengembangan PLTN diproyeksikan untuk mengisi celah kekosongan dari semakin sedikitnya PLTU batubara yang diterminasi. Selain itu, kompetitiveness harga juga sudah

disesuaikan. Untuk jangka pendek dan menengah, jenis energi yang akan didorong meningkat pesat adalah EBT dari PLTA, PLTS, dan geothermal dengan asumsi *competitiveness* harga yang bersaing dengan batubara. Ada 3 syarat pengembangan teknologi (energi/EBT) di Indonesia. Pertama, teknologinya harus andal. Kedua, mendapat pembiayaan yang nilainya relatif murah. Ketiga, dukungan dari kebijakan pemerintah dan juga dukungan dari dunia internasional.

**b. Catatan wawancara Dewan Energi Nasional**

Narasumber : Dr. Ir. As Natio Lasman

Jabatan : Anggota DEN (teknologi)

Jadi menuju *Net Zero Emission* itu tidak bisa kita abaikan karena Indonesia merupakan bagian dari penduduk dunia. Dan saat ini pembangunan rendah emisi sedang menjadi konsen dunia. Pilihan penggunaan energi menjadi sangat penting untuk dilihat keluaran emisinya. Bila ingin diperdalam, sebetulnya bukan tentang nuklir ataupun nonnuklir, tetapi yang penting adalah rilis CO<sub>2</sub>-nya itu. Semakin kecil rilis CO<sub>2</sub>-nya maka akan semakin bagaus bagi lingkungan. Sampai saat ini, rilis CO<sub>2</sub> itu lebih banyak dibangkitkan dari memang fosil yang lebih banyak. Setidaknya dari minyaknya dari gas dan batubara.

Repotnya lagi di Indonesia, pembangkit listriknya hampir 60%-70% produksi batubara. Jadi kalau misalnya kalau tiba-tiba pemerintahan sekarang stop dulu PLTU batubara, maka bisa kolaps energi listrik nasional. Oleh sebab itu, perlu adanya transisi energi dari kondisi sekarang ini menuju NZE tahun 2060. Maka itu perlu berbagai langkah kebijakan yang tepat.

Saat ini, memang mau tidak mau, suka tidak suka negara itu akan melirik ke arah yang *renewable* energi. Untuk nuklir sendiri, bagi saya sendiri termasuk sumber energi terbarukan. Sumber daya

nuklir di dunia itu hanya ada dua yaitu uranium dan thorium. Dari hasil reaksi nuklir di dalam teras reaktor maka akan dari uranium akan dihasilkan namanya plutonium. Plutonium itu merupakan bahan bakar baru lagi atau dengan kata lain negara-negara yang tidak pernah mempunyai reaktor riset ataupun reaktor daya tidak akan pernah punya plutonium. Dan plutonium itu adalah bahan bakar masa depan.

Bagaimana strategi dunia melihat itu. Pada tahun 2006 ada namanya *Advance energy iniatif*. itu dikeluarkan oleh Presiden Amerika. Intinya, yang pertama Amerika itu tidak ingin impor lagi minyak lagi pada tahun 2040. Diharapkan impor minyak nol persen.

Seperti diketahui pada saat itu, pada tahun 2006, produksi minyak Amerika sekitar 8,5 juta barel per hari, tetapi Konsumsinya total mencapai 21-22 juta barel per hari dan merupakan terbesar di dunia. Jadi delta ini harus diselesaikan, Menariknya, menyelesaikan delta ini dengan pendekatan teknologi. Bagaimana menyelesaikan itu dengan *advance energy iniatif*. Agar tercapai impor energi sebesar nol persen dan mengatasi masalah lingkungan hidup maka Amerika memulai tidak akan lagi membangun PLTU batubara. Itu sejak tahun 2006. Setelah itu, bagaimana dengan listriknya, Amerika akan menggenjot produksinya dengan PLTN. Perlu diketahui, sampai dengan tahun 2006, dari 450 buah PLTN di dunia, 104 di antaranya berada di Amerika. Nah, sejak *advance energy iniatif* itu, Amerika mulai membangun lagi PLTN.

Apabila mengaitkan dengan yang saya ucapkan sebelumnya artinya kalau Amerika semakin banyak memiliki PLTN hingga seperempat total nuklir dunia maka Amerika juga memiliki banyak plutonium. Nah, plutonium ini merupakan bentuk energi lain lagi. Jadi, masalah dari *advance energy iniatif* diatasi dengan menghilangkan PLTU dan membangun PLTN. Untuk sektor transportasi, Amerika

akan mengembangkan kendaraan dari dua hal yakni kendaraan listrik dan baterai dan serta kendaraan dengan *fuel cell* hidrogen.

Makanya sejak saat itu semakin banyak industri yang berusaha menyesuaikan dengan kebijakan Amerika tersebut. Pada tahun 2008, Volvo membuat *prototype* kendaraan listrik yang menempuh jarak hingga 160 KM. Hal ini menunjukkan bagaimana suatu kebijakan disikapi oleh dunia industri. Hingga saat ini terlihat seperti ada dua macam aliran. Kendaraan yang memakai baterai itu alirannya bangsa barat seperti Amerika-Eropa, tetapi jika menggunakan *fuel cell* sepertinya yang *leading* saat ini adalah Jepang. Jadi, ada kemungkinan, bila sekarang energi untuk kebutuhan rumah tangga dipenuhi dari LPG, di masa mendatang bisa menggunakan gas hidrogen.

Sekarang untuk itu, mau tidak mau, suka tidak suka karena kita merupakan salah satu penduduk di dunia yang berkomitmen menuju *zero emission*. Maka mau tidak mau harus ada terobosan untuk prosperity dari bangsa ini. Indonesia kaya akan potensi sinar matahari. Hanya saja, dengan sel surya yang ada cuma siang hari maka kendala *intermittent* ini harus disesuaikan dengan ketersediaan baterai atau mungkin dengan model *storage* lainnya. Ada juga sumber energi dari angin, tetapi angin di Indonesia masih tidak selancar di daerah subtropis. Ada juga yang masih terabaikan yaitu laut, tetapi anak-anak ITS dengan ilmu kelautannya tampaknya serius untuk mengembangkan ilmu tentang kelautannya.

Panas bumi di Indonesia juga sangat potensial. Ada di depan kita secara cuma-cuma. Hanya saja, ada tantangan dari geokimianya sehingga muncul dari permukaan bumi ini di masing-masing lokasi bisa berbeda-beda kandungan kimianya. Akibatnya, ada *scalling*. Hal ini perlu diatasi dengan teknologi agar optimal menghasilkan energi yang optimal.

Selanjutnya lagi tentang nuklir. Nuklir Indonesia ini potensinya ada sekitar 86.000 ton. Lalu kita ambil U-235-nya yang bisa membangkitkan energi diikalikan dengan 0,7 persen maka itu setara kira-kira 1,7 triliun ton panas batubara. Potensi ini sifatnya masih indikasi dan belum terbukti. Bila berandai-andai 50% saja yang terbukti maka itu berarti setara sekitar 8,8 miliar ton panas batubara.

Keputusan pemerintah dari beberapa lalu kita hanya bisa mengambil batubara 600 juta ton per tahun, maka dengan cadangan sekitar 3,8 miliar ton itu hanya mampu bertahan sekitar 60-70 tahun ke depan. Hanya saja, batubara memiliki dampak emisi yang sangat buruk bagi lingkungan. Oleh sebab itu, nuklir potensial untuk dilirik untuk dikembangkan.

Nuklir merupakan potensi yang tidak bisa kita sia-siakan begitu saja. seringkali kelemahan kita pada sumber daya alam adalah karena tidak mampu mengekstraksi maka orang lain itu bisa mengambil kelemahan itu menjadi sebuah keuntungan. Misalnya, kita belum mampu mengekstrak LTJ pada mineral pertambangan sehingga dapat dimanfaatkan oleh investor untuk mengeruk keuntungann dari pemurnian bahan material tambang tersebut.

Ketika saya menjabat sebagai Kepala BAPETEN, saya mendapat laporan dari BATAN, bahwa ada areal di Mamuju seluas sekitar 820 km<sup>2</sup> terindikasi memiliki kandungan uranium. Saya lapor kepada Presiden kalau nanti ada industri mining apa saja di daerah itu harus dikontrol secara baik agar tidak terjadi kecolongan. Jangan sampai usaha pertambahan di wilayah itu menyalahgunakan perizinan tambangnya justru untuk mengeruk sumber daya uranium di wilayah tersebut. Pasalnya, Indonesia itu sangat lemah dalam menganalisa, ekstraksi, dan pemurnian sehingga sangat mudah dimanfaatkan dan dibohongi.

Oleh sebab itu, dengan adanya fenomena fosil yang terus menurun sumber dayanya dan *boundary* dunia untuk menuju zero

*emission* maka mau tidak mau suka tidak suka memang ke arah nuklir. Pada kabinet berikutnya, nuklir harus dibangun. Memang perlu diketahui bahwa selain kedirgantaraan, yang banyak dilihat oleh negara-negara luar sana itu adalah nuklir. Nuklir merupakan salah satu energi yang sarat dengan nuansa politik. Baik tingkat nasional ataupun internasional.

Nuklir untuk saat ini menjadi pilihan yang penting untuk digunakan dalam menyuplai pasokan energi dan sekaligus rendah emisi. Jadi, mau tidak mau, suka tidak suka nuklir menjadi pilihan penting untuk segera dipilih menjadi opsi pembangkitan energi dalam menuju *zero emission*.

Untuk memiliki reaktor PLTN sebetulnya Indonesia relatif tidak kesulitan. Karena Indonesia memiliki sejumlah reaktor riset yang lebih pelik dibandingkan reaktor daya yang relatif lebih sederhana cara kerjanya. Reaktor riset itu bila diibaratkan seperti pesawat tempur yang bisa bermanuver untuk kepentingan riset, sedangkan reaktor daya PLTN itu lebih seperti pada pesawat penumpang. Jadi, apabila terbiasa menangani reaktor riset maka kemungkinan besar mengendalikan reaktor daya akan relatif lebih mudah.

Presiden pertama Indonesia, Bung Karno memiliki pandangan yang sangat luar biasa. Ketika perang dunia kedua berakhir dan orang melihat dampak berbahaya dari bom nuklir maka PBB pada pertengahan tahun 50-an mengimbau agar nuklir hanya digunakan untuk kepentingan damai. Oleh sebab itu, pada tahun 1957 dibentuklah IAEA oleh 18 negara dan salah satunya adalah Indonesia. Jadi, Indonesia turut membidani lahirnya IAEA dengan perwakilan yang mengahadirinya adalah Sudjarwo Tjondronegoro. Selanjutnya dibuatlah embrio organisasi nuklir di Indonesia tahun 1958-1960, bernama BATAN.

Hingga kini PLTN belum berkembang di Indonesia bukan terkendala masalah teknologi, tetapi lebih yang sifatnya nonteknis.

Beberapa diantaranya seperti politik, pro-kontra, dan kepentingan. Terkait PLTN dalam RIPIN hingga kini relatif masih belum sesuai. Masih jauh dari realisasi. Itu menjadi “PR” penting bagi BRIN saat ini. Untuk DEN, saat ini ada namanya GSEN (Grand Strategy Energy Nasional). GSEN ini sebagai bahan perbaikan KEN dan RUEN. Salah satu solusinya yang disebutkan dalam GSEN itu adalah PLTN dan diawali dengan pembentukan NEPIO (*Nuclear Energy Program Implementing Organization*). Rencana ini sekarang sudah di tangan pak ketua harian DEN (Menteri ESDM). DEN sangat mendukung pengembangan nuklir untuk menuju *zero emission*.

Semua negara pemilik nuklir mendirikan PLTN bukan secara demokrasi tetapi dengan *government policy*. Keputusan negara menjadi penentu penting pengembangan PLTN. Sehingga di Indonesia pun juga harus *government policy*. Pemerintah harus berani ambil keputusan. Nuklir dan EBT harus berjalan paralel. Tidak harus menunggu EBT sampai optimal. Energi yang penting sebagai *base load* adalah PLTN dan PLTA.

*Boundary condition*, mengapa nuklir layak menjadi pilihan yang tepat untuk saat ini. Pertama, adanya komitmen internasional tentang lingkungan hidup yang lebih lebih baik. Kedua, tentang kondisi sumber energi fosil yang menipis dan juga menghasilkan emisi yang besar. Ketiga, ada tuntutan ingin menyejahterakan masyarakat. Kesejahteraan ini harus didukung oleh pasokan energi yang cukup. Baik itu listrik ataupun nonlistrik. Oleh sebab itu, pemerintah harus mengambil kebijakan untuk memutuskan penggunaan energi yang tepat. Rendah emisi, pasokannya besar, serta mendorong kesejahteraan masyarakat.

Negara apapun yang tidak memiliki reaktor riset ataupun PLTN tidak akan memiliki plutonium. Plutonium ini merupakan bentuk energi yang lain lagi ke depannya nanti. Setelah uranium habis, akan bergeser ke plutonium sebagai pembangkit energi yang

besar. Berikutnya lagi adalah pembangkitan energi PLTN dengan reaksi fusi. Hanya saja, fusi ini masih dalam tahap eksperimen. Itupun tidak bertahan lama, hanya dalam hitungan detik sudah mati. Pasalnya, tidak mampu mengungkung panas hingga jutaan derajat dalam satu lokasi. Belum lagi cara mengambil panasnya yang besar itu untuk ditransmisikan. Masih perlu pengembangan teknologi yang lebih mutakhir lagi. Teknologi merupakan kunci penting dalam pengembangan sumber energi yang berkapasitas besar tetapi dengan tingkat keselamatan dan keamanan yang tinggi

**c. Catatan wawancara BAPETEN**

Narasumber : Dahlia Cakrawati Sinaga., M.T

Jabatan : Deputi Pengkajian Keselamatan Nuklir (PKN)  
BAPETEN

Saat ini, perkembangan EBT di Indonesia tampaknya belum serius. Hampir semua EBT teresok-seok untuk mencapai target yang diharapkan. Dari sisi target, tampaknya memang sangat optimis untuk meraih bauran energi *mix* yang besar. Namun, saya melihat, tampaknya justru energi fosil masih akan menjadi tulang punggung penting di Indonesia untuk beberapa tahun ke depan. Padahal, energi fosil memiliki masalah emisi yang harus segera diminimalisir. Jadi, tanpa melibatkan nuklir sepertinya sangat sulit bagi Indonesia akan dapat meraih *zero emission* di tahun 2060. Apalagi, investasi EBT di Indonesia sepertinya kurang berjalan lancar. Ada banyak kendala yang harus diatasi terlebih dahulu. Salah satunya dari sisi regulasi yang dapat mendorong animo yang tinggi hadirnya investor EBT ke Indonesia.

Terkait dengan RIPIN, sebetulnya memiliki target yang jelas. Hanya saja, belum terjalin koordinasi yang baik antarkementerian/lembaga sehingga terkesan jalan di tempat. Kementerian perindustrian harus menjalin koordinasi yang baik

dengan kementerian ESDM, Bappenas beserta lembaga lain yang terkait dengan nuklir seperti BRIN, BAPETEN, dan lainnya. Tanpa koordinasi yang baik maka target yang direncanakan bisa sulit untuk tercapai. Terkait dengan RIPIN setahu saya belum ada laporan yang detail ke presiden karena masih belum adanya koordinasi dan sinkronisasi antarkementerian/lembaga yang berkompeten di bidangnya. Hal ini dapat berdampak pada penyediaan anggaran yang dialokasikan oleh Bappenas menjadi susut karena tidak ada progress kegiatan yang signifikan. Hingga saat ini, masih ada sejumlah pejabat kementerian yang tampaknya enggan membahas tentang nuklir sehingga menyebabkan target dan koordinasi dalam RIPIN menjadi kurang berjalan optimal.

Kebijakan terkait nuklir yang tertuang dalam KEN dan RUEN yang menyebutkan nuklir sebagai opsi pilihan terakhir memang menjadi semacam dilema dalam mengembangkan reaktor PLTN di Indonesia. Dalam rencana pembangunan jangka menengah, amanat yang tersirat dalam penyediaan energi terkait nuklir masih sebatas meneliti dan riset terkait *safety*. Belum ada yang dengan jelas menyatakan membangun PLTN. Hal ini membuat upaya-upaya untuk mengembangkan reaktor PLTN menjadi mudah dipatahkan dalam tataran kebijakan.

Nuklir relatif sulit dikembangkan di Indonesia, bisa jadi karena ada aktor-aktor dibalik kebijakan yang tidak mendukung pembangunan PLTN. Ada kepentingan sejumlah orang yang tetap ingin memaksimalkan sumber daya alam fosil secara maksimal. Hal ini membuat pengembangan sejumlah kebijakan terkait EBT dan juga nuklir menjadi memiliki banyak kendala. Selain itu, pembangunan nuklir identik dengan masa pembangunan yang panjang sehingga rawan untuk diterminasi prosesnya di tengah jalan karena adanya gejolak politik. Oleh sebab itu, perlu adanya kepastian jaminan bagi para investor agar investasi yang ditanamkan

terkait PLTN tetap aman hingga COD dan menghasilkan pendapatan sesuai kontrak yang disepakati dengan pemerintah. Untuk mengurangi risiko ketidakpastian dari panjangnya masa pembangunan nuklir maka pilihan pembangunan reaktor modular PLTN generasi IV sangat diprioritaskan. Masa pembangunan yang relatif singkat dan memiliki standar keselamatan yang lebih tinggi dari generasi sebelumnya.

BAPETEN tugasnya melakukan pengawasan terkait dengan pemanfaatan teknologi nuklir. untuk pembangunan nuklir yang sifatnya nonkomersial di bawah kendali BATAN (BRIN). Dahulu BAPETEN pernah memberikan izin tapak reaktor daya eksperimen 10 MW generasi 3 + jenis HTGR untuk BATAN di Puspiptek Serpong. HTGR ini sudah sangat aman karena *inheren safety* yang keamanannya berada dalam dirinya sendiri. Hanya saja, reaktor daya tersebut urung dibangun karena ada masalah pendanaan.

Untuk reaktor komersial, pihak pemerintah dan swasta dapat berkolaborasi untuk pembangunannya. Saat ini yang gencar menawarkan PLTN di Indonesia adalah Thorcon dengan teknologi MSR. Bahan bakar yang digunakan adalah thorium cair. Jenis bahan bakar ini relatif aman karena salah satu tugas penting reaktor PLTN itu adalah mencegah mencairnya bahan bakar solid uranium agar tidak meleleh. Namun, dengan sudah cairnya bahan bakar thorium itu maka tingkat keselamatannya jauh lebih baik daripada bahan bakar solid. Masalah yang dihadapi adalah tingkat korosi yang tinggi dari bahan bakar cair sehingga pemilihan material anti korosif yang tahan lama adalah sangat penting.

Selain Thorcon, ada sejumlah investor nuklir yang sudah mengajukan penawaran ke Indonesia. Ada dari Rusia, Korea, Jepang, Amerika, dan China. Uniknya, Indonesia belajar nuklir jauh lebih dahulu dari Korea, tetapi Korea berhasil mengembangkan industri PLTN-nya dan mampu untuk menjual produknya ke luar

negeri. PLTN di UEA adalah salah satu proyek pengembangan nuklir dari Korea. Korea sangat maju teknologi nuklirnya karena didukung oleh kebijakan pemerintahnya.

Aktor penting dalam kebijakan nuklir di Indonesia adalah presiden. Nuklir sarat dengan kepentingan politik. Apabila presiden sudah bilang “go nuklir” maka akan diikuti dengan kebijakan lainnya yang mendukung nuklir. Pun demikian dengan dunia usaha akan turun serta mendukung penyediaan saran dan prasarana industrinya dalam usaha pengembangan PLTN di dalam negeri. Politik menjadi pijakan penting dalam mengembangkan nuklir.

Pengembangan PLTN sebaiknya bersamaan dengan pengembangan EBT sehingga dapat berjalan beriringan. Tanpa diskriminasi jenis energi lainnya. Apalagi, Indonesia memiliki banyak SDM yang ahli di bidang nuklir. Hanya tinggal menunggu keseriusan dari pemerintah. Secara rencana, Indonesia sudah baik. Hanya perlu keseriusan pemerintah sehingga koordinasi lintas lembaga/kementerian terkait pengembangan nuklir akan berjalan simultan. Langkah ini akan juga diikuti oleh sektor industri/swasta yang akan turut serta dalam pengembangan proyek PLTN.

Secara pengawasan, Indonesia sudah siap. Dari mulai studi tapak, seismik, desain, dan faktor keselamatan lainnya sudah memiliki regulasi yang baku linear dengan aturan internasional. Jadi, sudah sangat siap mendukung kebijakan realisasi PLTN. Kuncinya ada pada kebijakan pemerintah pusat. Dalam hal ini presiden, DPR, dan kementerian atau lembaga

#### **4.2.3.2 Kelompok *Top Quality Scorecard* (TQS)**

##### **a. Catatan wawancara ORTN-BRIN**

Narasumber : Ir. Agus Sumaryanto, M.S.M

Jabatan : Plt. Kepala Organisasi Riset Tenaga Nuklir  
(ORTN), BRIN

Kebijakan energi kita menargetkan akan tercipta bauran energi dari EBT sebesar 23 persen pada tahun 2025. Hanya saja, sekarang sudah tahun 2021-2022, berdasarkan perhitungan rasanya seperti berat untuk bisa mencapai target bauran itu. Tapi saya tidak menyatakan tidak mungkin tercapai karena saya tidak punya data, tetapi sepertinya berat kalau untuk sampai ke sana. Mudah-mudahan bisa tercapai minimal tercapainya *on schedule* meskipun Belum *on grid*. Harapannya, secara *on schedule* mudah-mudahan bisa tercapai.

Untuk mencapai *zero emission* tanpa melibatkan nuklir seperti akan berat. EBT andalan Indonesia sebagian besar bertumpu pada PLTA, panas bumi, dan juga matahari. Selaian, PLTA, EBT lainnya bersifat *intermittent*. Jadi, keterlibatan PLTN sangat layak untuk dipertimbangkan. Pemerintah (Kementerian ESDM) merencanakan akan membangun PLTN dan sudah beroperasi pada tahun 2045-an. Dari segi aturan, membangun PLTN bukan tugasnya kami yang ada di ORTN BRIN. Yang membangun nanti bisa pemerintah ataupun investor. Tapi semangatnya dari kami adalah mendukung sepenuhnya terkait riset nuklir untuk PLTN.

Dukungannya tidak hanya yang biasa-biasa saja tetapi sekaligus yang hebat lah kira-kira seperti itu bentuk keseriusan bahwa lembaga penelitian seperti BATAN, BRIN harus mendukung riset PLTN. ORTN mendukung pengembangan PLTN untuk mempercepat pencapaian *zero emission*.

BRIN lebih fokus untuk mengembangkan riset terkait dengan PLTN. Untuk pembangunan menjadi ranahnya Kementerian ESDM. Demikian juga regulasi untuk pembangunan menjadi tanggung jawab menteri yakni menteri ESDM. Untuk proyek pembangunannya bisa melibatkan perusahaan baik itu milik pemerintah atau swasta itu bisa melakukannya. Dari BRIN, kedepannya riset untuk nuklir itu

nanti benar-bener karya sendiri maupun bekerjasama dengan vendor atau pihak luar negeri.

Terkait dengan RIPIN memang berjalan relatif lamban. Hanya saja, kalau soal dukungan dari pemerintah sampai saat ini masih mendukung gitu ya untuk semuanya di mana sampai saat ini kenyataannya kalau untuk di BATAN itu atau di ORTN, teknologi fabrikasi bahan bakar tetap dilaksanakan. Kami mengusulkan lagi untuk perbaikan fasilitas tersebut supaya nanti kedepannya untuk teknologi produksi bahan bakar nuklir itu bisa berkembang mengikuti zamannya mengikuti yang ada di negara-negara maju. Itu bentuk dukungannya.

Kemudian yang berkaitan dengan uranium, ORTN terus mempejari teknik eksplorasi *conventional resources* menjadi tambang mineral radioaktif. Tambang uranium itu selalu dieksplorasi dan juga dengan teknik nonkonvensional. Misalnya, dari monasit bisa mengekstrak logam tanah jaranganya dan juga menghasilkan uranium ataupun thorium. Keseriusan pemerintah terlihat juga dari adanya Undang-undang Ciptakerja yang semula produksi bahan bakar nuklir itu hanya oleh BATAN karena undang-undang sebelumnya menyatakan itu, kini sudah dibuka sudah. Dibuka untuk siapa saja yang memenuhi persyaratan dan ketentuan bisa melakukan itu (produksi bahan bakar nuklir). Termasuk di sini yang bersemangat adalah PT Indonesia power untuk bisa memproduksi. Namun, karena namanya perusahaan harus menghitung dulu siapa yang mau beli nanti ketika sudah membangun fasilitas produksinya.

Jadi, secara umum pemerintah melalui BATAN/ORTN tetap mempersiapkan keperluan teknis ataupun nonteknis terkait PLTN. Dari sisi teknisnya, ORTN memiliki rumah program ketenaganukliran. Di dalam rumah program ketenaganukliran itu terdapat tiga rincian *output*. Salah satunya adalah teknologi PLTN skala komersial dari *front end* hingga *back end*. Mulai dari eksplorasinya, kemudian

menyiapkan teknologi bahan bakar nuklirnya, pengelolaan limbah radioaktif, dan perencanaan sistem energinya itu juga dilakukan. Itu bentuk ketidakdiamannya ORTN terkait persiapan riset PLTN. Selain itu di rumah program itu kan yang menggunakan anggaran DIPA. Ada yang melalui anggaran LPDP yang sejak dulu hingga sekarang pun juga masih sebagai koordinator prioritas riset nasional (PRN) di mana dalam PRN juga tertulisnya pembangunan prototipe PLTN skala komersial tetapi meskipun judulnya adalah pembangunan, tetapi kami di BATAN atau ORTN ini sampai dengan 2024 baru menyiapkan teknologi dan studi kelayakan tapaknya.

Nanti begitu pemerintah menyatakan “Go Nuklir”, ORTN sudah siap. Meskipun biasanya PLTN itu satu paket dengan bahan bakarnya, tetapi ORTN juga tetap melakukan eksplorasi bahan bakunya di Indonesia. Hal ini untuk meredam isu ketergantungan bahan baku uranium dari asing. Namun, jika melihat kemungkinan harga uranium yang relatif murah, maka akan lebih efisien jika membeli dari luar negeri.

Sesuai UU No. 10 tahun 1997 tentang Nuklir maka kewajiban untuk membangun PLTN nonkomersial itu adalah tugas dari badan pelaksana. Jadi kalau untuk PLTN riset maksudnya PLTN eksperimental bukan yang komersial itu adalah tugasnya badan pelaksana, yakni BATAN yang sekarang berada dalam naungan BRIN.

Mengenai *roadmap* seperti yang saya sampaikan meskipun pembangunan prototipe PLTN skala komersial tetapi sampai dengan 2024 *roadmap*-nya masih menyiapkan tapak. Untuk pembangunannya memang belum ada *roadmap* yang pasti karena pada waktu itu BATAN masih mengutamakan anggaran dari DIPA yang rasanya memang tidak mungkin dan pada waktu itu sekitar 2020, Bappenas menyatakan apabila ingin membangun diminta untuk mencari mitra sendiri tidak menggunakan dana DIPA.

Itu yang kita belum bisa menentukan kapan akan dibangunnya untuk pembangunan PLTN non komersial. Tapi kami saat ini sedang menjajaki beberapa kerjasama yang dimungkinkan secara aturan untuk membangun reaktor daya atau PLTA nonkomersial tersebut. Tapi belum bisa menentukan kapan *roadmap*-nya akan kepastian pembangunan.

Saat ini ada beberapa negara yang menawarkan pengembangan PLTN nonkomersial bagi BRIN/ORTN/BATAN. PLTN itu sebisa mungkin sudah berteknologi mutakhir. Jadi, teknologi sudah advance. Generasi 4 ada beberapa kemarin yang menawarkan diri dan sempat beraudiensi dengan kepala BRIN ini yang berkaitan dengan teknologi molten salt reactor (MSR). Salah satunya dari Thorcon dan kemudian ada juga Moltech itu yang msr dari Inggris. Kalau untuk yang tipe HTGR, *High Tension Gas Reactor*, itu dari Tiongkok juga generasi 4. Juga ada tawaran dari Rosatom Rusia. Kemudian itu ada NuScale (AS), tetapi bukan tidak generasi 4. Generasi 3 + SMR, *small model reactor* sehingga powernya tidak besar, hanya pada rentang power kecil dan menengah.

Ada sejumlah kendala Indonesia dalam mengembangkan reaktor daya PLTN. Kalau kita melihat dari misi IAEA beberapa tahun yang lalu dari 19 item yang dipersyaratkan, baru 16 item itu Indonesia sudah siap, tetapi yang 3 item lainnya belum siap. Pertama adalah nasional komitmen atau kebijakan tentang “go nuklir” ini memang belum terucapkan. Kedua adalah *stakeholders involvement* jadi keterlibatan dari pemangku kepentingan itu masih kurang nilainya. Misalnya, peran serta dari LSM, pihak swasta, pemerintah, dan industri masih banyak yang belum terlibat. BATAN terlihat masih berjuang sendirian. Ketiga, adalah sosialisasi yang dirasa kurang karena lembaga penelitian (BATAN) memang tidak mempunyai biaya yang kuat untuk sosialisasi. Oleh Sebab itu,

dengan bergabung dengan BRIN mudah-mudahan punya potensi punya kesempatan untuk bisa mendorong kebijakan “go nuklir”.

Untuk survei dari masyarakat memang sebagian besar mendukung, tetapi rata-rata mensyaratkan NIMB (*Not In MY Backyard*). Silakan membangun, tetapi tidak di belakang rumah saya. Kalau yang terkait dengan regulasi secara umum sudah semakin bagus dan terbuka. Sudah terbuka dan semakin memudahkan. Bahkan, BAPETEN menjadi lembaga yang sistem perizinannya (OSS) tergolong baik secara nasional.

Terkait dengan pendanaan reaktor PLTN menurut saya tidak ada kendala. Contoh Bangladesh, yang kondisi ekonominya tidak lebih kaya dari Indonesia bisa bekerjasama dengan Rusia. Jadi, peluang Indonesia untuk mendapatkan pendanaan untuk PLTN terbuka lebar. Dengan skema BOT model Bangladesh itu banyak yang mau. Tinggal sekarang Indonesia mau atau tidak. Ada sejumlah negara yang menawarkan kerjasama di bidang pembangunan PLTN. Ada dari Amerika, China, Rusia, Perancis, Jepang, dan Korea.

Untuk saat ini, BRIN tetap melakukan edukasi diseminasi sosialisasi kepada segenap *stakeholder* agar mendapatkan dukungan dan keterlibatan dari banyak pihak. Politik juga memiliki peranan penting dalam menentukan arah kebijakan energi. Membicarakan nuklir relatif efektif pada masa tahun pertama dan kedua sebuah rezim itu berkuasa. Jadi setelah tahun kedua relatif tidak populer dan dihindari. Terutama bagi para tokoh-tokoh atau parpol yang akan berlaga memenangkan suatu pemilihan.

Hal yang menjadi catatan penting dalam menuju *zero emission* bahwa PLTN sangat penting untuk suplai energi bukan untuk sebagai pesaing energi (EBT) lainnya. Jadi, bisa dikatakan kendala terbesar untuk pengembangan reaktor PLTN yang skala komersial itu lebih ke arah politik yang ada di lini pemerintah. Oleh sebab itu, sambil menunggu arah kebijakan pemerintah terkait nuklir,

ada sejumlah hal yang perlu dilakukan. Pertama, mengedukasi masyarakat dan PLTN ini penting dan tidak berbahaya. Dalam upaya ini BATAN atau ORTN tidak jalan sendiri agar tidak berat. Makanya dengan bergabungnya ke BRIN bisa menjadi salah satu kekuatan untuk menyampaikan bahwasanya PLTN itu juga penting. Selanjutnya, ditindaklanjuti dengan riset untuk PLTN dan *stakeholder* lainnya seperti mencari dukungan politik ke Komisi VII. BRIN menyampaikan sosialisasi, edukasi ke berbagai *stakeholder* bahwa PLTN bukan pesaing bagi energi lainnya agar semakin banyak mendapat dukungan dari berbagai pihak. Selanjutnya, juga membentuk NEPIO, organisasi yang mengimplementasikan energi nuklir. Sejauh ini Indonesia belum membentuk NEPIO. NEPIO biasa dibentuk dari berbagai institusi, Kementerian ESDM, Perindustrian, Keuangan, Bappenas, PLN, BRIN, BAPETEN, dan sektor swasta.

Waktu yang relatif tepat untuk pengembangan nuklir menurut saya kira-kira mulai tahun 2025 sampai dengan 2030 ini sudah mulai direncanakan. Tujuannya, nanti di tahun 2040 sampai 2045 Indonesia sudah memiliki paling tidak ada 10 GW. Membangun nuklir tidak bisa cepat karena penuh aturan dan membutuhkan biaya besar sehingga tidak bisa dalam waktu singkat. Ukuran 10 GW itu atas dasar hasil survei di suatu pulau Bangka Belitung yang mampu untuk menampung sekitar 10 reaktor PLTN. Ada juga sejumlah lokasi seperti di Kalimantan Barat dan Kalimantan Timur potensial untuk pengembangan reaktor PLTN. Dengan adanya kebijakan “Go Nuklir” selanjutnya akan diikuti kebijakan lainnya untuk memudahkan pembangunan reaktor PLTN.

Sejauh ini ada beberapa tempat yang layak untuk pengembangan PLTN skala komersial. Semenanjung Muria, Bangka Belitung yang sudah lengkap datanya. Untuk Banten itu sudah dilakukan studi kelayakan tetapi memang belum maksimal. Selanjutnya, di wilayah Kalimantan Barat yang merupakan satu-

satunya provinsi yang mengimpor listrik dari Malaysia. Ada juga daerah lainnya seperti Kepulauan Riau yang pernah diriset untuk keperluan PLTN.

Saat ini untuk mendorong keyakinan pemerintah untuk Go Nuklir ada sejumlah hal yang dipersiapkan oleh pemerintah. Sekarang ini akan menyiapkan fasilitas ketenaganukliran yang modern yang canggih yang tidak kalah dengan negara-negara lain. Fasilitas riset ini digunakan juga untuk riset PLTN. Selain untuk riset PLTN juga untuk kepentingan radioisotop. Peningkatan kualitas fasilitas riset ini dilakukan dengan menganggarkan dana yang relatif besar untuk pembiayaan infrastrukturnya. Apalagi, di BRIN ini merupakan lembaga riset yang nantinya akan mengintegrasikan semua Badan Litbang yang ada di kementerian dan lembaga. Harapannya, anggaran yang saat ini disampaikan Pak Presiden senilai Rp 25 triliun yang belum tampak itu nanti bisa menjadi tampak hasilnya dengan memiliki fasilitas riset yang terintegrasi. Dengan bersatunya lembaga riset di BRIN maka kinerja riset akan saling bahu-membahu untuk menyukseskan program-program pemerintah.

BRIN memberikan andil positif bagi pengembangan PLTN di Indonesia. Misalnya BATAN dapat berkolaborasi dengan BPPT dan LIPI dalam pengembangan material. Juga dapat berkerjasama dengan LAPAN, LIPI untuk mempelajari tentang kebumihan sehingga BRIN berpotensi besar dalam mendukung kolaborasi terkait PLTN.

Untuk pengembangan energi di masa mendatang, EBT akan mendominasi dan fosil tetap masih digunakan meskipun semakin minim. Teknologi fosil juga akan terus dimutakhirkan agar minim emisi. Jadi energi baru terbarukan akan lebih leading dimana didalamnya ya tadi seperti PLTA, PLTP Bayu Kemudian geothermal dan tentunya nuklir juga akan berperan sehingga tercipta simbiosis mutualisme dengan sejumlah pembangkitan EBT itu. Nuklir sifatnya saling berkolaborasi bukan bersaing. Nuklir harus dikembangkan

secara bersamaan buka sebagai opsional terakhir untuk mencapai *zero emission*. Untuk saat ini mungkin prioritas pengembangan nuklir masih dalam tahapan riset. Namun, bukan tidak mungkin apabila riset sudah mempuni dan negeri ini siap, maka peluang untuk “go nuklir” untuk memiliki PLTN akan segera dilakukan.

**b. Catatan wawancara HIMNI**

Narasumber : Dr. Suparman

Jabatan : Pakar Ekonomi Energi HIMNI

EBT non-PLTA dan nuklir memiliki kendala *intermittent* sehingga untuk suplai energi yang skalanya besar seperti industri untuk saat ini belum bisa dilakukan. Perlu kapasitas besar dan penyimpanan, *storage* yang besar dan berbiaya mahal sekali. Indonesia belum bisa seperti negara maju, misalnya seperti eropa yang mampu memiliki EBT dari bayu yang mampu beroperasi lebih lama dari Indonesia. Memang, Indonesia akan lebih mengandalkan PLTS untuk optimalisasi EBT. Hanya saja, PLTS memerlukan lahan yang besar. Untuk saat ini direncanakan akan memaksimalkan PLTS dengan memanfaatkan lahan di danau agar tidak mengganggu lahan pertanian dan lainnya, tetapi hal ini juga pasti akan terbatas juga dan tidak menghasilkan kapasitas elektrifikasasi yang besar.

Rencana Indonesia yang masih akan menggunakan PLTU dengan teknologi ultra kritikal dan super ultra kritikal akan menghasilkan emisi rendah. Oleh sebab itu, ada skenario CCS (carbon ditangkap dan diinjeksikan kembali ke bumi). Hanya saja, biayanya akan besar sekali dan biayanya akan lebih mahal dari PLTN. Oleh sebab itu, kenapa tidak membangun PLTN sekalian. Tanpa PLTA dan PLTN yang cukup maka target *zero emission* akan sulit tercapai.

PLTA relatif sudah optimal dan menurut PLN relatif susah membangun PLTA terutama di Jawa. Oleh sebab itu, perlu ada daya

dukung dari PLTN. Kementerian ESDM sudah membuat skenario dengan melibatkan nuklir dan diperkirakan mulai berkontribusi pada tahun 2040-an. Nuklir harus dimasukkan untuk perencanaan energi dan diperkirakan hingga tahun 2060-an akan tersedia energi dari PLTN mencapai 30-an GW. Kementerian ESDM memiliki *roadmap zero emission* dari sisi ketenagalistrikan, salah satunya memasukkan energi nuklir. Kementerian ESDM menyadari apabila tanpa melibatkan PLTN sepertinya akan sulit tercapai. Tanpa melibatkan nuklir, kecil kemungkinannya mencapai *zero emission*.

Geothermal agak susah dikembangkan karena di beberapa daerah sangat *remote* dan lokasinya berada di hutan lindung sehingga sulit dikembangkan. Begitu juga dengan EBT lainnya relatif sulit untuk dikembangkan dan belum ekonomis sehingga memerlukan biaya yang besar.

Kita kadang beranggapan bahwa kita punya potensi uranium dan thorium sehingga harus mengembangkan PLTN. Hal ini tidak sepenuhnya tepat karena beberapa negara yang tidak memiliki uranium dan thorium justru mengembangkan PLTN seperti di Korsel, Jepang. Sebaliknya, negara yang memiliki potensi SDA nuklir besar seperti Australia dan sejumlah negara Afrika justru tidak mengembangkan nuklir hingga saat ini.

SDA nuklir ini berbeda dengan gas dan batubara. SDA nuklir itu menyumbang porsi bahan baku yang relatif kecil untuk pembangkitan sehingga biaya bahan baku relatif kecil. Artinya, tidak harus tergantung pada bahan baku uranium dari dalam negeri. SDA uranium akan terbentur untuk pengayaan bahan baku PLTN. uranium alam itu kadarnya 0,7 persen, sedangkan untuk digunakan pada PLTN butuh uranium berkadar 2,5% hingga 3% sehingga harus dikayakan untuk peningkatan kadar itu. Teknologi pengayaan ini sebagian besar dikuasai oleh negara-negara adidaya ataupun yang bersekutu dengan negara-negara tersebut. Jadi, jika kita memiliki

uranium alam harus diproses pengayaanya di luar negeri baru dipakai lagi di dalam negeri.

Ada skenario untuk menggunakan uranium dalam negeri yang diproses (konversi) hingga menjadi “yellow cake”. Dari *yellow cake* ini selanjutnya dikayakan sehingga butuh alat untuk proses pengayaan tersebut. Hanya saja untuk memiliki alat tersebut relatif sulit karena akan sangat diawasi oleh negara-negara adidaya karena takut disalahgunakan untuk keperluan persenjataan.

Dari sisi pengolahan uranium sampai *yellow cake* hingga fabrikasi, Indonesia sudah mampu karena BATAN memiliki fasilitas fabrikasi sehingga bisa membuat pelet-pelet yang bisa digunakan sebagai bahan bakar di PLTN. Hanya saja, masih terkendala terkait dengan proses pengayaan sehingga akan sulit untuk memperoduksinya. Oleh sebab itu, thorium akan menjadi bahan bakar yang sangat menjanjikan di masa depan karena thorium beda dengan uranium. Selain kandungannya besar, juga tidak perlu pengayaan sehingga akan menjadi prospek yang sangat bagus ke depan. Namun, kendalanya PLTN berbahan bakar thorium masih dalam tahap riset. Thorium menjadi bahan bakar yang sangat menjanjikan untuk PLTN sehingga akan bisa menopang bahan baku nuklir tanpa harus tergantung pada asing.

Ada juga PLTN jenis tertentu namanya “Candu” (Canadian Uranium) yang bisa menggunakan uranium alam. Dahulu pemerintah pernah memiliki program ke arah itu, tetapi tidak berkembang. Bisa jadi karena berhubungan sisi bisnis. Hanya Canada yang punya, sedangkan jenis PWR, BWR banyak negara yang menguasai sehingga jenis “Candu” berpotensi akan menimbulkan monopoli sehingga tidak berkembang secara masif. Terhalang oleh kepentingan banyak negara.

Di dunia ini, sebetulnya hanya ad dua teknologi yang boleh dikatakan sangat canggih. Teknologi PLTN nuklir dan pesawat

terbang. Jadi waktu itu Pak Bung Karno pun sudah mencanangkan dari awal kalau kita bisa menguasai dunia maka kita harus menguasai nuklir dan dirgantara atau pesawat terbang. Kedua hal ini memiliki sisi teknologi dan material yang sangat maju karena mekanisme dan material yang dipakai di pesawat terbang dan di PLTN standarnya sangat tinggi.

Hal ini bisa jadi memang menjadi kekuatiran negara maju apabila Indonesia bisa menguasai teknologi pesawat terbang maka dikuatirkan kita akan menjadi negara yang bisa menguasai pasar global. Jadi ini memang harus ada kebijakan yang kuat dari pemimpin kita seperti zamannya Pak Bung Karno. Zaman Pak Karno Indonesia sudah memiliki reaktor riset. Tinggal menunggu keberanian pemerintah untuk membangun reaktor PLTN skala komersial.

Hal tersebut akan menjadi tantangan Indonesia ke depan sehingga perlu mencari partner yang tepat untuk pengembangan PLTN di Indonesia. Di dunia ini ada beberapa kelompok/vendor pemasok PLTN. Seperti Rusia, namanya Rosatom. Juga dari Amerika ada beberapa perusahaan dan Amerika ini join kebanyakan dengan Jepang seperti Westinghouse dan juga Mitsubishi. Mitsubishi juga ada kerja sama dengan Perancis. Sehingga para vendor itu seperti politik yang memiliki blok-blok tertentu. Jadi, kita ngambil blok Rusia atau blok Amerika Amerika. Apabila mengambil blok Jepang- Korea itu berarti mau tidak mau di bawah kendali Amerika juga.

China mungkin juga sekarang gencar juga dia sebagai produsen ataupun vendor PLTN. Jadi ini ada beberapa negara yang cenderung untuk memilih bloknnya Amerika dan ada cenderung ke China. Untuk India cenderung gado-gado dia pernah juga dengan Kanada tapi kebanyakan mereka mengembangkan sendiri teknologinya karena mereka juga ingin Mandiri. Jadi seperti Pakistan

dan India kebanyakan mengembangkan sendiri. Untuk negara Asean itu cenderung belum memiliki kejelasan. Vietnam pernah bekerjasama dengan Rusia tapi sudah batal. Vietnam juga mau dengan Jepang.

Jadi, PLTN seperti strategi untuk melihat dari sisi bisnis yang mungkin paling menguntungkan seperti Uni Emirat Arab dengan Korea. Dari Korea otomatis yang sudah dapat restu dari Amerika. Korea mendapat jaminan suplai bahan bakar dari AS karena Korea tidak punya uranium. Lalu, dari Korea menjamin keberlanjutan PLTN di UEA dengan menjamin pasokan bahan bakunya. Jadi, memang harus memilih mana yang menguntungkan dari sisi purnajual ataupun keberlanjutan. Jadi seperti membeli suatu barang, harus ada jaminan purna jual *sparepart*-nya.

Jadi, PLTN ini tidak bisa lepas dari politik. Kalau dari sisi teknis, sebaiknya cenderung pada negara-negara yang memang familiar dengan kita. Kalau dari Rusia katanya teman-teman Vietnam itu kan dari sisi bahasa tulisan agak susah sehingga sulit transfer teknologinya. Sebisa mungkin bekerjasama dengan pemasok yang memperbolehkan pembelinya mengembangkan teknologi yang dibelinya. Hal ini dapat mendorong kemandirian energi di masa mendatang. Selain itu, bekerjasama dengan negara yang dapat mengkayakan nuklir sehingga Indonesia dapat belajar untuk mengkayakan nuklir secara mandiri. Hal ini berpeluang membuka potensi ekonomi terkait pengembangan teknologi nuklir sekaligus pengkayaan uraniumnya. Indonesia bisa sebagai produsen/vendor di masa mendatang.

Namun, rencana tersebut akan menemui kesulitan karena bisa jadi negara-negara adikuasa pemilik teknologi tidak akan memberikan lisensi itu dengan alasan bisnis dan keamanan. Hal yang paling aman, Indonesia impor bahan baku uranium dari luar negeri. Selain itu, bisa mengkayakan uranium alam Indonesia untuk

dikirim ke luar negeri untuk dikayakan. Hal ini untuk menghindari tuduhan pengayaan nuklir untuk tujuan persenjataan.

Kriteria yang dibutuhkan agar pemerintah yakin mendukung pengembangan PLTN ada beberapa hal. Pertama, meyakinkan tentang keselamatan yang tinggi sehingga perlu untuk mengenalkan teknologi PLTN mutakhir generasi IV. Kedua, memiliki kapasitas yang besar (kapasitas faktor) sehingga mampu menggantikan PLTU yang akan diterminasi karena tinggi emisinya; pembangkit harus memiliki buangan emisi yang kecil; dan dari sisi ekonomi harus tercapai nilai hitung-hitungan yang layak dan efisien.

Dari sisi ekonomi, aspek pengembangan PLTN biasanya akan dilihat terlalu mahal. Peralnya, aspek ekonomi ini cenderung dilihat dalam jangka pendek. Padahal, PLTN itu *life time*-nya lama hingga 60 tahun. PLTN itu memang mahal di investasi mahal tapi dari sisi biaya operasi murah. Jadi, apabila dihitung LCOE-nya dengan pembangkit energi lainnya, investasi PLTN lebih murah dari pembangkitan energi dari fosil, tetapi lebih mahal dari pembangkitan dari EBT.

Namun, masalah pendanaan itu sebetulnya teratasi dengan tanpa melibatkan dana pemerintah dalam investasi PLTN. Hampir semua vendor PLTN menawarkan teknologi PLTN beserta mekanisme pembiayaannya. Misalnya, Rusia menawarkan ke Turki menggunakan skema BOT, *built operate transfer*. Artinya, pihak Rusia yang akan membangun dia mengoperasikan selama 15 tahun tentunya listriknya harus dibeli oleh PLN-nya Turki dengan harga tertentu. Setelah kontrak itu berakhir 15 tahun maka PLTN itu diserahkan sepenuhnya kepada Turki. Dengan mekanisme ini, dana pemerintah tidak akan terserap banyak untuk proyek ini.

Bangladesh juga begitu. Sekitar 80% dananya dari Rusia. Dari studi kelayakan sampai pembangunan didanai oleh Rusia ini dengan skema BOT. Ada sejumlah negara yang menjadi vendor PLTN. Ada

Rusia, China, Amerika, Perancis, Jepang, dan lainnya. Sejumlah negara itu sudah datang ke Indonesia menawarkan sejumlah skema pembangunan PLTN. Apabila dengan skema BOT Rusia mau bekerjasama dengan Bangladesh, tentu saja dengan Indonesia dinilai jauh lebih mampu lagi. Dilihat dari sisi ekonominya, Indonesia memiliki kemampuan untuk mengembalikan modal terkait PLTN itu.

Untuk teknologi nuklir yang sudah *established*, hampir semuanya tidak ada masalah. Pasalnya, semua teknologi nuklir yang sudah digunakan itu sudah memenuhi standar baku yang disyaratkan oleh organisasi atom internasional, IAEA. Sudah memiliki tingkat keselamatan yang tinggi

Untuk mencapai *zero emission*, pengembangan EBT dan nuklir harus bersamaan. Apabila, Kementerian ESDM menargetkan akan memiliki reaktor PLTN yang COD pada tahun 2049, maka paling lambat pada tahun 2030, Indonesia sudah harus membangun unit reaktor PLTN.

**c. Catatan wawancara akademisi**

Narasumber : Prof. Dr. Zaki Su'ud, M. Eng.

Jabatan : Guru Besar Fakultas Matematika dan Ilmu  
Pengetahuan Alam, ITB

Tanpa melibatkan nuklir dalam mencapai *zero emission* maka relatif agak berat target tersebut dapat tercapai. Dari skenario yang ada upaya secara bertahap untuk mengurangi pembangkitan batubara dan digantikan dengan pembangkit gas yang lebih bersih. Selain itu, sekitar setahun dua tahun lalu harganya (gas) sangat murah dibandingkan minyak. Tapi kita melihat Ternyata banyak sekali yang tidak bisa diduga, tiba-tiba harga gas sekarang naik berkali-kali lipat sangat mahal. Eropa itu sebenarnya sudah menjalankan strategi seperti itu dari dulu. Lebih memilih ke gas karena dari sisi harga memang lebih murah. Hanya saja ada

perubahan harga gas yang melonjak drastis dari kisaran 1,5 - 2 US dollar menjadi 5 -6 US dollar per kubik membuat pukulan yang luar biasa sehingga Eropa itu sekarang dalam kondisi krisis yang sangat berat. belum lagi *supply*-nya juga terbatas. Dengan kondisi seperti itu, ini yang menurut saya, *wisdom* yang harus diambil terlalu fanatik dengan satu mazhab (jenis energi) pemikiran itu akan sangat berbahaya.

Dalam masalah energi kita itu harus terbuka dan berupaya memanfaatkan semaksimal mungkin semua potensi yang ada karena kadang-kadang kita bisa aja memprediksi 10-20 tahun tapi hal-hal drastis di luar itu bisa terjadi seperti yang ada sekarang. Hal-hal semacam ini seperti Eropa ironisnya kalau kita lihat. Seperti Jerman menutup nuklir sehingga ketika terjadi kondisi yang berubah drastis akan terjadi kelangkaan energi karena Jerman memilih untuk *relay* pada angin dan solar PV. Tapi ketika ada cuaca sangat buruk, topan yang sangat besar sehingga sel-sel Surya tertutup, angin tidak bisa beroperasi dengan maksimal akhirnya mereka terpaksa membuka batubara yang sudah lama yang masih sangat kotor teknologinya.

Nah itu, artinya kebijakan-kebijakan seperti ini yang hanya terfokus pada satu mazhab atau sudut pandang tertentu itu kadang-kadang sangat berbahaya. Ini menjadi pelajaran paling bagus bagi eropa sekarang sedang luar biasa terpukul. Wilayah ini menghadapi musim dingin dan sekarang terpukulnya karena kelangkaan gas dan harganya sangat mahal, minyak pun juga naik drastis. Amerika juga sangat terpukul. Menurut saya ini pelajaran penting kita harus memanfaatkan semua potensi yang ada karena situasi tidak pasti bisa terjadi pada semua sumber energi. Itu pertimbangan pertama.

Pertimbangan kedua, kita memang melihat kelompok EBT sangat optimis dari dulu. Tapi data-data realisasi di lapangan itu masih jauh dari yang direncanakan. Artinya, mereka masih

mengulangi pola yang lama tanpa mengambil pelajaran itu. Kalau kita lihat pada tahun 2025 target bauran EBT 23%, sedangkan realisasi saat ini masih di kisaran 11-an persen. Pola kesalahan yang lama itu masih terus dibawa dan dijadikan basis untuk kebijakan-kebijakan yang akan datang karena tadi terlalu fanatik terhadap suatu sumber energi tertentu.

Kebijakan energi harus dilihat secara keseluruhan. Nuklir sekalipun juga tidak bisa memecahkan masalah semuanya. Nuklir hanya bisa berperan di satu segmen tertentu, tidak bisa bicara energi di pelosok. Energi nuklir skalanya besar sehingga harus saling menopang dan mengambil yang optimal. Tidak bisa kita bilang *solar energy* semuanya selesai. Tidak mungkin semuanya karena kalau nanti sudah besar baru tersadar solar panel ternyata ada juga limbahnya bagi lingkungan.

Jadi memang sebetulnya diversifikasi energi sangat penting. Kebijakan diversifikasi energi harus menganut multialternatif skenario. Jadi jangan selalu berpikir yang ideal saja. Kemungkinan kasus terburuk selalu harus diperhitungkan juga dan progres itu harus dijadikan pembelajaran untuk memproyeksi kedepannya. Jadi, progres EBT yang lambat harus jadi bahan evaluasi. Kalau sampai tahun 2020 saja hanya bisa mencapai 11% sebetulnya ketika dicanangkan sudah ada sebelumnya seperti geothermal, solar PV sebetulnya sudah ada dengan besaran yang relatif tidak berbeda jauh. Artinya, trennya itu relatif sangat kecil dan tidak ada perubahan signifikan.

Lambatnya progres EBT di Indonesia mencakup tentang masalah keekonomisan dan terkait kebijakan energi di Indonesia yang masih belum ideal. Jadi kebijakan energinya masih selalu pragmatis. Maklum, mungkin anggaran pemerintah masih pas-pasan sehingga menjadi sangat pragmatis. Padahal, dalam membangun kebijakan pemerintah itu harus setengahnya sedikit memberikan

proteksi untuk sumber sumber energi strategis yang ke depannya akan dikembangkan. Misalnya seperti geothermal. Kemudian solar dan sebagainya dan harganya sangat mahal dan itu kadang-kadang sangat tergantung pada fluktuasi harga kompetitornya seperti minyak dan lain-lain. Seperti sekarang harga minyak yang lagi tinggi maka jalannya landai atau mudah untuk beralih ke EBT. Namun, ketika harga minyak turun semua proyek-proyek terkait EBT rawan terbengkalai.

Kebijakan pemerintah jangka panjangnya belum matang. Masalahnya kalau energi alternatif seperti itu hanya mengandalkan idealisme orang perorangan yang *support* risetnya juga yang biasa diberikan ke dosen-dosen sehingga ketika terkena dampak fluktuasi harga minyak sudah kocar-kacir. Saya rasa itu juga salah satu yang membuat progres di EBT tidak berjalan seideal itu. Kemudian kini, kalau kita lihat EBT yang justru progresnya bagus itu adalah biodiesel. Komoditas ini konkret karena substitusi impor. Jadi, jelas pemerintah sangat diuntungkan karena menghemat devisa. Kemudian di sisi lainnya Indonesia memiliki komoditas sawit yang mengalami kendala pemasaran ke luar. Oleh sebab itu, kenapa tidak biodiesel itu aja dipakai karena dua masalah sekaligus terpecahkan. Peningkatan bauran EBT sekaligus masalah penjualan. Jadi, ketika sawit Indonesia ekspornya dihambat di sejumlah negara, maka solusi praktisnya sebagian digunakan sebagai bahan bakar. Problem impor BBM terpecahkan dan persoalan pemasaran juga terpecahkan. Nah situasional seperti itu (biodiesel) sangat mendukung. Namun, jangan lupa jika dalam mengejar *zero growth* emisi, biodiesel itu masing-masing mengeluarkan emisi. Nah, itulah masalahnya sehingga yang tercepat tumbuhnya itu justru menimbulkan efek emisi yang juga relatif besar.

Nanti masa depan direncanakan yang akan berkontribusi besar pada *zero growth* emisi itu lebih ditekankan pada solar PV,

angin, air, geothermal yang memang betul-betul tidak mengeluarkan gas rumah kaca. Termasuk yang tidak mengeluarkan gas rumah kaca lainnya adalah nuklir. Dari semua sumber energi yang minim emisi itu, hanya nuklir saja yang memiliki beberapa kelebihan. Sebagai pembangkit *base load*, kapasitas faktor besar, dan relatif lebih fleksibel dari segi tempat. Berbeda dengan sumber energi air yang tergantung dari lokasi sungai atau waduknya. Indonesia juga punya cadangan geothermal hingga sekitar 30 GW tetapi memanfaatkannya tidaklah mudah karena kebijakannya masih kurang matang sehingga kurang terpadu dalam implementasinya.

Hal utama yang menjadi kendala geothermal adalah sebagian besar lokasinya terletak di daerah-daerah yang bersinggungan dengan hutan lindung sehingga administrasi pengurusan izin panjang sehingga investasinya rawan mangkrak dan keekonomisannya habis. Investor akan berpikir panjang untuk investasi ke situ. Kecuali, perusahaan besar yang ingin buang uang saja itu yang sifatnya CSR atau pengabdian masyarakat sehingga agar terlihat “green” sedikit. Peta secara keseluruhan seperti ditulis KLHK rasanya *planning* yang masih agak mengawang-awang. Jadi kalau tidak pakai nuklir itu akan lebih berat lagi dalam mencapai *zero emission*.

Memang nuklir sampai dengan era sekarang ini memang memiliki beberapa kendala *inheren*. Misalnya, nuklir itu proses pembangunannya relatif panjang. Regulasinya sangat ketat seperti mencari tapak aja palingan butuh waktu 3 - 4 tahun. Lalu izin lagi ketika mau membangun di tapak tersebut. Begitu sudah jadi harus izin lagi ketika mau *start up*, izin lagi ketiga mau operasi dengan prosedur yang sangat ketat. Tidak ada sistem teknologi yang masalah regulasinya itu lebih ketat dari nuklir karena nuklir memiliki risiko yang sangat besar. Jadi di sini memang regulasinya ketat jadi *overall* kalau dengan teknologi yang ada sekarang kira-kira 10 tahun

orang-orang dari mulai *start* dari “go nuklir” hingga nuklir dibangun membutuhkan waktu sampai 10 tahun.

Dalam pembangunan PLTN akan ada sejumlah kendala yang akan dihadapi. Pertama, masalah politik. Nuklir itu komoditas politik yang menarik pro-kontra dimana-mana. Bahkan, kadang-kadang ajang Pilkada sekalipun isu nuklir juga memanfaatkan. Misalnya, inkamben di daerah yang ada PLTN-nya maka pihak oposisi sudah langsung diambil sikap anti nuklir sebagai wadah untuk memanfaatkan suara-suara yang tidak sependapat dengan nuklir. Artinya, kebijakan nuklir menjadi sasaran pertentangan demi meraih suara.

Kedua, masa pembangunan nuklir membutuhkan waktu sekitar 10 tahun. 10 tahun itu secara politik tidak menarik karena memiliki banyak konsekuensi. Padahal, masa jabatan politik hanya 5 tahun. Jadi, bagi calon pemimpin yang pragmatis, tentu saja nuklir tidak akan disahkan menjadi sebuah program kebijakan. Jadi, perlu kepemimpinan yang kuat dan memiliki visi yang panjang untuk masa depan.

Ketiga, terkait keselamatan. Isu keselamatan selalu menjadi topik pertentangan ketika isu pembangunan PLTN mengemuka. Kecelakaan reaktor yang terjadi di beberapa negara akan selalu digaungkan untuk menolak nuklir. Oleh sebab itu, perlu penerapan teknologi PLTN modular yang lebih ringkas dan cepat dalam pembangunannya. Teknologi dalam pembangunan PLTN berperan penting dalam mengatasi kendala kekhawatiran bahaya radioaktif.

Harapannya, ke depan dengan teknologi modular, reaktor PLTN dapat dibangun di pabrik-pabrik sehingga efisien dalam pembangkitan energi yang ramah lingkungan. Dengan syarat, reaktor tersebut memiliki tingkat keselamatan yang tinggi sehingga tidak mudah disabotase ataupun dicuri bahan radio aktifnya.

Dengan teknologi modular, investasi nuklir menjadi tidak terlalu besar sehingga menarik untuk dikembangkan. Waktu pengerjaan tidak terlalu lama sehingga dalam waktu 3-4 tahun PLTN sudah dapat beroperasi. Berbeda dengan PLTN konvensional yang memerlukan waktu hingga 10 tahunan. Untuk membangun reaktor berkapasitas sekitar 1.000 MW membutuhkan biaya berkisar Rp 50 triliun - Rp 60 triliun. Nuklir itu mahal diawal, tetapi biaya operasinya sangat murah. Secara *overall*, hampir mirip dengan PLTA yang cenderung mahal di awal. Namun, tetap lebih murah dibandingkan dengan batubara dalam jangka panjang. Dari sisi stabilitas harga, nuklir sangat bagus tidak terpengaruh gejolak ekonomi secara global.

Kendala klasik pengembangan nuklir adalah terkait dengan politik. Mulai dari penetapan, survei tempat, hingga pembangunan memerlukan waktu sekitar 10 tahun. Jadi perlu pemimpin yang visioner dan memiliki keberanian untuk mengambil risiko tetapi sekaligus mengedepankan mitigasi risiko secara maksimal. Masa politik yang berumur kisaran 5-10 tahun akan menjadi kendala klasik dalam pengembangan nuklir. Terutama terkait popularitas politik antara yang mendukung dan kontra. Oleh sebab itu, perlu pengembangan teknologi yang lebih mutakhir lagi agar problem klasik itu tidak muncul. Reaktor modular yang relatif kecil skala kapasitasnya dan relatif lebih cepat masa pembangunannya adalah kunci untuk kian mendorong pengembangan PLTN.

Sekarang ini ada beberapa negara yang mengembangkan PLTN dengan model kapal sehingga tingkat mobilitasnya tinggi. Cocok untuk digunakan di negara-negara kepulauan seperti Indonesia. Reaktor terapung ini direncanakan akan dikembangkan dengan model dok sehingga terkunci di dok tersebut apabila terjadi bencana alam (gempa, tsunami). Dengan pengenalan model prototipe terapung ini harapannya PLTN menjadi kian mudah diterima oleh masyarakat. Membuktikan keandalan dan

keamanannya. Sekaligus membuktikan nilai ekonomisnya, apakah memang kompetitif dengan harga energi dari pembangkitan fosil ataupun EBT.

Jadi, ketika dunia sudah di-*push* untuk menuju *zero emission* maka PLTN generasi keempat akan semakin memiliki peranan yang besar. Dengan generasi keempat maka investasinya pun juga akan semakin murah karena bentuknya sebagian besar berupa reaktor modular. Meskipun demikian, tingkat keamanan dan keselamatannya tetap tinggi dan sulit untuk disabotase. Selain itu, model generasi keempat menghasilkan limbah yang relatif minim sehingga tidak membahayakan bagi lingkungannya. Hal terpenting lain yang juga menjadi keunggulan generasi empat ini adalah punya karakteristik mempunyai ketahanan yang sifatnya nonproliferasi sehingga sulit untuk disalahgunakan. Berikutnya yang menjadi daya tarik generasi keempat ini adalah karakteristiknya yang modular sehingga dapat untuk membangun reaktor kapasitas kecil sehingga dapat menarik minat banyak investor ataupun konsumen di daerah-daerah remote.

Contoh di Jepang, daerah yang terdapat reaktor PLTN akan mendapat bagi hasil dari keuntungan produsen PLTN. Dengan demikian, masyarakat yang berada di sekitar lokasi PLTN mendapat manfaat secara materi dari perusahaan. Hal ini tentu saja untuk meredam gejolak penolakan dari masyarakat. Masyarakat yang tinggal di sekitar reaktor memiliki risiko yang besar terhadap ancaman radiasi apabila terjadi kecelakaan reaktor. Oleh sebab itu, untuk mengantisipasi itu saya sepakat untuk mengembangkan reaktor tipe generasi 3 dan ke-4 ke atas. Reaktor ini memiliki sistem pengamanan yang lebih kuat dari generasi kedua, yakni *natural circulation* atau sirkulasi alamiah yang dapat membuang panas secara pasif sehingga tidak perlu listrik dan operator seperti pada generasi kedua. Pada generasi dua itu pembuang panas dari reaksi

nuklir memerlukan pasokan listrik secara kontinyu. Tidak boleh tersendat karena dapat berakibat fatal. Oleh sebab itu, pada generasi kedua memerlukan cadangan listrik dalam sistem reaktornya melalui suplai energi dari genset dan baterai apabila terjadi masalah pada sumber listrik utamanya. Melihat karakteristik alam dan masyarakat di Indonesia lebih tepat jika mengembangkan PLTN generasi 3 plus dan 4 yang memiliki keamanan tambahan yang lebih baik yang mengandalkan *natural circulation*.

Namun, ujung tombak utama sebelum menjalankan program PLTN di Indonesia adalah politik. Nuklir adalah produk politik. Sebelum pemerintah bilang “go nuklir” maka nuklir akan sulit berkembang. Tanpa kebijakan yang jelas maka industri-industri pendukung program pembangunan nuklir tidak akan support.

Ada dua faktor besar agar Indonesia mau melangkah menuju pengembangan reaktor PLTN. Pertama, lihat pengalaman negara-negara yang sedang mengembangkan nuklir seperti Uni Emirat dan Bangladesh. Ketika negara-negara tersebut berhasil dan terlihat nyata secara positif bukan tidak mungkin akan memperkuat pengaruh keputusan untuk turut serta mengembangkan nuklir. Kedua, adalah stabilitas kondisi sosial, ekonomi, dan politik. Program pengembangan PLTN yang membutuhkan waktu lama sangat rentan dinilai aspek negatifnya selama proses pembangunannya. Jadi, perlu kekuatan dan keyakinan dari pemerintah untuk meredam semua aspek negatif saat pembangunan tersebut agar proyek tidak makrak. Dengan berhasilnya proyek itu maka citra PLTN akan terbukti memberikan hasil positif meskipun memerlukan waktu dan dana yang relatif sangat besar.

Pemerintah pun, meskipun kebijakan “go nuklir” belum diskenariokan secara resmi, tetapi sebetulnya secara diam-diam pun juga memberi peluang bagi investor nuklir yang sangat serius mengembangkan PLTN di Indonesia. Salah satunya adalah dari

Thorcon. Hanya saja keseriusan Thorcon ini harus disikapi hati-hati. Pertama, menggunakan thorium yang teknologinya belum *established*. Kedua, adalah tipe reaktornya, *molten salt reactor* yang hingga kini belum ada jenis ini yang sudah beroperasi secara komersial. Belum ada yang sampai pada tahap *demonstration plant*.

Hal tersebut memberikan dua opsi pilihan. Pertama, menolak *molten salt reactor* tersebut dan memilih teknologi lain yang lebih *established*. Hanya saja pilihan ini cenderung membuat Indonesia akan menjadi pasar. Kecil kemungkinan dapat turut serta mengembangkan teknologi atau peralatan untuk memperoleh pendapatan/devisa. Kedua, turut mengembangkan *molten salt reactor* sehingga ada kemungkinan dapat memperoleh pendapatan dari teknologi yang turut dikembangkan Indonesia. Namun, untuk mengembangkan teknologi yang belum *established* ini tidak mudah dan mengandung risiko yang besar yang belum diketahui sebelumnya.

Bagaimana mendorong pemerintah agar mau menjalankan program “go nuklir”. Pertama, masalah *public acceptance* (opini masyarakat). Pemerintah harus mampu mengedukasi masyarakat mengenai antisipasi bahaya dari reaktor PLTN. Manfaat positif ketika nuklir mampu mereduksi emisi serta nuklir dapat berperan sebagai komplementer berbagai sumber energi sehingga mampu menciptakan ketahanan energi yang handal. Negara harus menyakinkan tidak boleh terjadi diskriminasi terhadap sumber energi. Kasus *face out* nuklir di Jerman itu merupakan contoh bahwa diskriminasi terhadap sumber energi dapat berbahaya bagi kondisi pasokan energi suatu negara. Kedua, politik harus mampu menghasilkan tokoh pemimpin yang memiliki visi ke depan. Jangan sampai menimbulkan kesalahan atau kendala (terkait kebijakan energi) akibat salah mengambil kebijakan pada rezim sebelumnya. Ketiga, hadirnya reaktor modular generasi keempat. Lebih aman dan

memiliki dampak buangan limbah nuklir lebih kecil. Selain itu, nilai investasi jauh lebih murah dan cepat waktu pengerjaannya.

Sekarang ini ada tiga jalur pengembangan PLTN di Indonesia. Pertama melalui BATAN dengan meneruskan reaktor daya eksperimen yang memakai teknologi HTGR yang mirip dikembangkan China yang sudah siap-siap masuk ke komersial. Kedua, yang dikembangkan oleh Bappenas dan BPPT yang arahnya akan membangun reaktor air kecil yang berkapasitas 100-an MW dengan teknologi baru itu di Kalimantan (Kalimantan Barat atau untuk IKN). Ketiga, jalur reaktor khusus yang dikembangkan oleh Thorcon. Jika ini terealisasi, Indonesia dapat menjadi negara pertama yang akan memiliki jenis pembangkit baru di dunia global. Hal ini menunjukkan bahwa pemerintah sejatinya mendukung nuklir. Hanya saja, dilakukan secara pelan-pelan dan bertahap.

Dalam menuju *zero emission* kita tidak boleh diskriminatif terhadap pemilihan sumber energi. Contoh China yang masih mengembangkan berbagai sumber energi yang disertai dengan kemandirin industrinya. Dalam beberapa tahun ke depan, negara ini kemungkinan besar akan menjadi pemain besar berbagai sumber pembangkitan energi di dunia. Oleh sebab itu, Indonesia jangan telat melangkah karena bila telat melangkah maka Indonesia hanya akan menjadi obyek atau pasar. Selain itu, perlu penguatan di level regulasi agar para investor yakin bahwa investasi yang ditanamkan di Indonesia (terkait energi) akan aman hingga proyek tersebut berjalan dan menghasilkan pendapatan. Kebijakan dalam KEN dan RUEN yang menyebutkan nuklir sebagai opsi terakhir setelah EBT optimal dikembangkan membuat investor cenderung kurang tertarik berinvestasi di Indonesia. Oleh sebab itu, perlu kebijakan pendukung lainnya yang membuat para investor energi (EBT) yakin untuk berinvestasi di Indonesia. Ada sejumlah investor yang tertarik

berinvestasi terkait nuklir di Indonesia. Ada Rosatom Rusia, Korea, Jepang, dan Amerika (Thorcon).

Untuk mencapai *zero emission* 2050-2060 harus dilihat tulang punggung utama dalam masa transisi energi itu. Pembangkit *base load* harus dipenuhi oleh pembangkit-pembangkit besar seperti PLTN, geothermal, PLTA, PLTG, PLTU yang *clean coal*. Maksimalkan PLTS dan PLTB di daerah-daerah terpencil. Selain itu, segera realisasikan jual-beli energi. Misal, PLN menyediakan sumber penyimpanan energi yang besar dari PLTS yang bersumber dari panel surya di rumah-rumah penduduk ataupun gedung-gedung. Saat siang, PLN membeli energi dari serapan energi panas dari masing-masing individu penduduk yang memiliki panel surya. Saat malam hari, giliran masyarakat yang membeli energi dari PLN yang berasal dari baterai penyimpanan energi berkapasitas besar. Ketiga, mengembangkan sistem *smart grid* di daerah-daerah yang jaringan listriknya terbatas. Dengan langkah ini maka pasokan energi di daerah yang terpencil menjadi lebih maksimal lagi.

Oleh sebab itu, hadirnya BRIN harapannya dapat mendorong kebijakan menjadi lebih cepat lagi akselerasinya. Menjadi dirigen yang dapat mensinkronisasi berbagai institusi untuk menjalankan program yang menjadi target nasional.

*Back bone* utama dalam menuju *zero emmission* adalah pengembangan pembangkit *base load* EBT yang ramah lingkungan seperti PLTA, geothermal, dan PLTN. Pembangkit fosil seperti batubara dan juga gas juga masih digunakan tetapi dengan kapasitas lebih kecil dan teknologi yang sangat ramah terhadap lingkungan sehingga rendah polutan emisi

**d. Catatan wawancara pengamat energi**

Narasumber : Prof. Dr. Djarot S. Wisnubroto

Jabatan : Profesor Riset pada ORTN, BRIN dan mantan Kepala BATAN 2012-2018

Latar belakang saya kemungkinan akan mempengaruhi pendapat saya dalam beropini. Saya lulusan Teknik Nuklir UGM angkatan pertama. Saya masuk jurusan itu karena diming-imingi akan bekerja di PLTN yang akan beroperasi di Indonesia pada era 90-an. Setelah lulus, ternyata program pengembangan PLTN itu tidak ada. Hingga saya menempati posisi sebagai Kepala BATAN tahun 2012-2018, saya tetap berusaha memperjuangkan PLTN itu. Namun, tetap saja mentok tidak berhasil. Selama tidak ada hitam di atas putih mengenai kebijakan pembangunan PLTN, saya skeptis jika rencana-rencana terkait PLTN tidak akan terealisasi. Sudah terlalu sering pemerintah berjanji akan membangun nuklir, tetapi tidak pernah terwujud karena memang tidak ada kebijakan yang menyatakannya secara resmi.

Pada COP 26, ada titik cerah pelibatan nuklir dalam rencana *zero emission*. Pada COP berapapun, dirjen IAEA tidak pernah diundang. Namun, pada COP 26, Dirjen IAEA mendapat ruang atau posisi dalam pembahasan. Meskipun masih dikategorikan pada kelompok *blue zone*, bukan pada kategori *green zone*. Hal ini merupakan prestasi yang luar biasa karena menunjukkan bahwa negara-negara di dunia sebagian besar mulai berpikir, apabila tidak melibatkan nuklir, maka upaya untuk mencapai target *zero emission* kemungkinan akan menemui hambatan yang berat.

Hanya saja, PLTN itu memiliki sejumlah kendala yang sangat umum. Lama proses pembangunannya dan juga membutuhkan investasi yang besar. Lamanya proses ini dikarenakan standar keselamatan yang tinggi sehingga membuat pembangunan PLTN tidak sembarangan. Ada serangkaian perizinan yang harus dilewati. Hal ini terjadi secara umum di seluruh dunia. Akibatnya, teknologi PLTN tidak banyak mengalami perubahan karena proses yang lama

itu. Ada perubahan tetapi tidak signifikan. PLTN itu ada teknologi yang tidak cepat berubah karena terkendala masalah *safety* sehingga perizinannya banyak. Ijin tapak, ijin-ijin pembangunan, AMDAL, ijin operasi, dll. Hal inilah yang menghabiskan waktu pembangunan yang cukup lama.

Kenyataan inilah yang harus disampaikan kepada masyarakat bahwa membangun reaktor PLTN itu tidaklah sebentar. Harus melalui berbagai perizinan demi menjamin tingginya tingkat keselamatan. *Safety* menjadi kunci utama dalam pembangunan reaktor PLTN.

Berdasarkan data yang saya terima, nuklir akan mulai ada/berproduksi tahun 2045. Pada tahun 2060 diperkirakan reaktor PLTN kapasitasnya mencapai 35 GW. Bila ditarik mundur, Indonesia paling lambat menyatakan “go nuklir” adalah tahun 2030 atau lebih cepat. Tiga-empat tahun sebelumnya dipersiapkan infrastruktur organisasi yang akan bertanggung jawab membangun atau mengelola proyek nuklir tersebut. ESDM menyatakan pada tahun 2025 akan dibentuk organisasi NEPIO (*nuclear energy program implementation organization*) yang bertanggung jawab dalam pengembangann PLTN. NEPIO ini terdiri dari berbagai *stakeholder* untuk menjamin tingkat keselamatan yang tinggi dalam proyek PLTN yang akan dibangun.

Jadi, pedapat saya, nuklir sangat penting peranannya dalam menuju *zero emission*. Tanpa melibatkan nuklir maka target rendah emisi itu akan sulit tercapai. Hal ini terlihat dari progres pengembangan EBT di Indonesia yang relatif sangat lambat. Setahun rata-rata hanya meningkat kisaran 1 persen.

Namun, pengembangan nuklir tidaklah mudah. Terdapat sejumlah kendala. Pertama, terkait keputusan politik. Kedua, dukungan dari masyarakat. Ketiga, mendapatkan lokasi yang sesuai dan didukung oleh masyarakat, pemda, ataupun pemerintah pusat.

Salah satu daerah yang mendukung nuklir adalah Kalimantan Barat. Pemda dan masyarakatnya sebagian besar lebih dari 80 persen setuju PLTN dibangun di daerahnya. Tinggal menunggu keberanian pemerintah pusat untuk menyatakannya. Namun, seperti pada pengalaman saya sebelumnya ketika menjabat, ternyata di pemerintahan (pusat) sendiri pun tidak ada kesepakatan bulat yang sama mengenai nuklir. Misal antara ESDM dan KLHK yang cenderung bertolak belakang. Oleh sebab itu, keberhasilan pengembangan nuklir PLTN di sejumlah negara seperti di UEA dan Bangladesh dapat sebagai yurisprudensi bahwa nuklir layak dikembangkan di Indonesia. UEA membangun nuklir kisaran 11 tahun. Bangladesh bisa jadi lebih cepat kisaran 6-8 tahun.

Bila di data ulang kendala pengembangan nuklir di Indonesia itu ada beberapa hal. Pertama, pemerintah masih memiliki anggapan bahwa masih ada sumber daya lain yang dapat dimanfaatkan seperti EBT dan fosil. Kedua, isu nuklir berpotensi menimbulkan gejolak dan menurunkan popularitas citar politik. Kasus penolakan nuklir di Muria, Jepara masih membayangi kredibilitas pemerintah yang memutuskan kebijakan itu. Ketiga, masih ada budaya yang tidak perlu atau tidak ingin menjadi ujung depan dalam sebuah perubahan. Baru, berubah (arah kebijakannya) ketika ada tekanan dari dunia global. Contohnya, terminasi pembangkit batubara yang tinggi kadar emisi CO<sub>2</sub> beberapa tahun ke depan. Tanpa ada tekanan dari asing, bisa jadi kebijakan terminasi pembangkit PLTU tidak akan dilakukan oleh Indonesia. Politik menjadi kunci permasalahan penting dalam pengembangan nuklir di Indonesia.

Untuk mempengaruhi pemerintah agar PLTN dapat diterima sebagai sebuah proyek yang akan dilaksanakan, maka peranan keterlibatan *stakeholder* itu sangatlah penting. Mengingat kelompok yang pronuklir itu relatif minim. Oleh sebab itu, perlu menanamkan pengaruh nuklir pada pemerintah melalui komunitas yang lebih kuat

penetrasinya terjadap kebijakan. Seperti melalui para pengusaha dan politis.

Dengan adanya UU Ciptakerja maka ada peluang bagi investor baik domestik ataupun asing untuk melakukan eksploitasi secara komersial bahan tambang nuklir Indonesia untuk dikayakan menjadi sumber bahan baku PLTN. Sebelum adanya UU ini, tidak ada jalan eksploitasi secara komersial di Indonesia. Adanya kegiatan nonkomersial yang dilakukan oleh badan pelaksana. Secara regulasi, UU Ciptakerja semakin mendorong pengembangan bahan baku mineral nuklir. Hanya saja, UU Ciptakerja ini harus diwaspadai karena ada indikasi menguntungkan pihak investor. Adanya unsur mineral ikutan yang bernilai tinggi seperti LTJ.

Nuklir perlu untuk dikembangkan di Indonesia karena untuk mencapai *zero emission*, Indonesia tidak hanya bisa bergantung pada EBT yang sebagian besar *intermittent*. Kecuali, jika teknologi penyimpanan daya energi dari EBT sudah berkembang sangat mutakhir dan efisien sehingga pembangkit yang *intermittent* dapat tertolong dan saling terkoneksi saling menguatkan antarjenis pembangkit EBT.

Selain mengembangkan EBT berikut teknologi penyimpanan daya pada baterai berkapasitas besar juga perlu mengembangkan reaktor PLTN. Tujuannya untuk akselerasi mencapai *zero emission* sekaligus suplai energi yang besar bagi perekonomian. Kriteria pengembangan nuklir salah satunya adalah, *market share* pasar/perekonomian yang besar. Misalnya pulau Jawa sebagai sentra perekonomian. Jadi, pengembangan nuklir itu untuk suplai energi di daerah sentra perekonomian sehingga bisa *relay* pada kebutuhan sektor industri.

Bila berbicara kemandirian energi dan dihubungkan dengan keekonomisan relatif tidak sesuai. Kemandirian akan cenderung membutuhkan *cost* yang besar di awal, tetapi akan mendapatkan

*benefit* yang besar di masa mendatang. Nuklir salah satu bentuk energi yang potensial untuk mendorong kemandirian bangsa di masa mendatang.

Namun, lagi-lagi untuk menetapkan nuklir sebagai sebuah kebijakan memerlukan parameter politik. Dalam masa jabatan politik pemimpin nasional ataupun daerah, masa emas untuk berdiskusi tentang nuklir hanya pada masa kerja 2 tahun awal. Bila berbicara partai lebih panjang lagi, yakni-kira2 kira pada pemilu mendatang apakah masih diminati masyarakat. Apabila, hanya berpikiran praktis dan populer maka pilihan mengembangkan nuklir akan relatif dihindari karena sarat dengan polemik.

Pengembangan nuklir tidak bisa menunggu setelah pengembangan EBT optimal, tetapi segera. Segera itu waktunya adalah sekarang. Untuk saat ini, pemerintah tengah berupaya membentuk NEPIO. Informasi dari DEN, pembentukan NEPIO ini sudah berada di tangan Kementerian ESDM. Namun, informasi ini masih terbatas. Artinya, pemerintah masih belum berani terbuka terkait rencana tersebut. Pemerintah sangat hati-hati dengan isu terkait PLTN. Pemerintah belum berani mengungkapkan tentang rencana nuklir di masa mendatang.

Terkait keputusan pengembangan PLTN, membutuhkan sosok negarawan yang berani mengambil keputusan untuk kepentingan jangka panjang nasional. Untuk mempersiapkan diri agar nuklir segera diimplementasikan ada sejumlah tahapan yang akan ditempuh. Pertama, mengundang vendor untuk mengenalkan atau memilih jenis PLTN yang tepat untuk dikembangkan, mengundang badan tenaga atom internasional (IAEA) untuk turut mengkaji supaya negara-negara tetangga seperti Malaysia, Singapura, dan Australia tidak khawatir terhadap isu keselamatan dan keamanan.

Seiring pemerintah menyatakan “go nuklir” maka berbagai hal akan relatif menjadi mudah terkait pengembangan nuklir. Akan banyak investor, vendor, dan berbagai *stakeholder* akan datang meninjau kebijakan pemerintah Indonesia tersebut. Nuklir memiliki posisi strategis dari sisi keamanan dan keselamatan. Negara tetangga berhak tahu dan negara calon vendor pun berhak tahu apa yang akan dilakukan terkait rencana pembangunan PLTN itu. Nuklir memerlukan waktu pengerjaan yang lama sehingga pemerintah Indonesia perlu meyakinkan kepada negara tetangga, investor, vendor, ataupun *stakeholder* lainnya bahwa program pembangunan nuklir itu tidak akan berhenti di tengah jalan. Ketiga, dengan resmi menyatakan “go nuklir” maka akan terbentuk *supply chain*. Tidak hanya membangun reaktornya saja, tetapi juga terbentuk siapa suplai bahan baku uraniumnya, *sparepart*, dll. Dengan ada kebijakan “go nuklir” maka industrialisasi dalam negeri akan menyesuaikan turut serta mendukung kebijakan tersebut. Menumbuhkan peluang sektor industri dalam negeri.

Tentu saja, kebijakan “go nuklir” itu tidak lepas dari kepentingan politik yang ada dalam tubuh pemerintahan. Oleh sebab itu, perlu meyakinkan pemerintah tidak hanya dari sisi teknis angka saja, betapa kritisnya negeri ini. Namun, juga perlu meyakinkan bahwa kepentingannya (politik) tidak terganggu dan bahkan bisa untung.

Nuklir ingin memiliki banyak *stakeholder* (teman). Peranan *stakeholder* ini sangat penting untuk meyakinkan *decision maker* bahwa Indonesia sudah selangkahnya mengembangkan nuklir. Tantangan besar dalam upaya ini adalah belum satu padunya visi pemerintah dalam melihat nuklir. Ada ego sektoral di masing-masing institusi sehingga tidak bisa diambil keputusan secara bulat. Nuklir sebagai sumber energi yang memiliki banyak kelebihan harus diputuskan segera untuk direalisasikan di Indonesia. Perlu banyak

pihak di luar komunitas nuklir yang menyuarakan tentang nuklir dari sisi aspek positif, keselamatan, dan keamanannya.

### 4.3 Hasil Pengolahan Data

#### 4.3.1 Pengolahan Data untuk Uji Regresi Data Panel

**Tabel 4.13 Pengolahan Data untuk Uji Regresi Data Panel**

Negara	Tahun	CO2 (MTCO2e)	GDP/kapita (dollar AS)	NUC (MTOE)	RE (MTOE)	FE (MTOE)
China	2000	3,097.40	959.37	3.80	51.00	983.40
China	2001	3,253.50	1,053.11	4.00	63.60	1,005.00
China	2002	3,508.90	1,148.51	5.70	66.00	1,068.70
China	2003	4,065.50	1,288.64	9.80	65.10	1,238.50
China	2004	4,739.60	1,508.67	11.40	81.00	1,480.80
China	2005	5,407.40	1,753.42	12.00	90.90	1,688.50
China	2006	5,961.80	2,099.23	12.40	100.10	1,848.90
China	2007	6,473.30	2,693.97	14.10	111.70	2,033.40
China	2008	7,351.80	3,468.30	15.50	147.70	2,130.60
China	2009	7,680.70	3,832.24	15.90	146.20	2,212.20
China	2010	8,145.80	4,550.45	16.72	177.94	2,296.03
China	2011	8,827.20	5,618.13	19.35	178.42	2,490.21
China	2012	9,004.20	6,316.92	21.73	223.56	2,550.16
China	2013	9,247.40	7,050.65	24.60	243.38	2,631.37
China	2014	9,293.20	7,678.60	29.14	285.18	2,666.95
China	2015	9,279.70	8,066.94	37.26	305.48	2,679.61
China	2016	9,279.00	8,147.94	46.10	331.52	2,694.42
China	2017	9,466.40	8,879.44	53.26	360.66	2,758.19
China	2018	9,652.70	9,976.68	63.06	395.05	2,827.70
China	2019	9,810.50	10,216.63	74.28	432.07	2,885.97
Rusia	2000	1,474.40	1,771.59	29.50	40.45	553.50
Rusia	2001	1,474.70	2,100.35	31.00	42.56	560.60
Rusia	2002	1,465.90	2,377.53	32.10	39.72	563.80
Rusia	2003	1,493.90	2,975.13	33.60	38.34	580.50
Rusia	2004	1,488.20	4,102.36	32.70	42.83	576.50
Rusia	2005	1,481.90	5,323.46	33.40	42.11	575.30
Rusia	2006	1,537.70	6,920.19	35.40	42.03	600.80
Rusia	2007	1,528.10	9,101.26	36.20	43.29	603.70
Rusia	2008	1,554.30	11,635.27	36.90	40.00	609.00
Rusia	2009	1,448.50	8,562.81	37.00	42.20	571.10
Rusia	2010	1,526.60	10,675.00	38.22	39.61	592.82
Rusia	2011	1,591.10	14,311.08	38.45	38.75	615.74
Rusia	2012	1,605.00	15,420.87	39.41	38.96	616.46
Rusia	2013	1,581.10	15,974.64	37.98	42.51	606.43
Rusia	2014	1,579.10	14,095.65	39.65	40.52	608.34
Rusia	2015	1,549.50	9,313.01	42.51	39.59	594.97
Rusia	2016	1,567.00	8,704.90	42.51	43.42	605.71
Rusia	2017	1,548.60	10,720.33	43.71	43.28	608.82
Rusia	2018	1,606.00	11,287.36	43.71	44.82	634.14
Rusia	2019	1,595.70	11,497.65	44.43	46.61	627.93
Brazil	2000	294.60	3,749.75	1.40	71.40	112.50

Negara	Tahun	CO2 (MTCO2e)	GDP/kapita (dollar AS)	NUC (MTOE)	RE (MTOE)	FE (MTOE)
Brazil	2001	301.50	3,156.80	3.20	63.40	116.20
Brazil	2002	301.10	2,829.28	3.10	67.80	116.20
Brazil	2003	295.60	3,070.91	3.00	72.70	116.90
Brazil	2004	313.30	3,637.46	2.60	76.30	122.40
Brazil	2005	314.10	4,790.44	2.20	80.60	125.30
Brazil	2006	336.90	5,886.46	3.10	83.20	127.30
Brazil	2007	351.40	7,348.03	2.80	89.60	134.90
Brazil	2008	374.90	8,831.02	3.20	89.10	145.00
Brazil	2009	352.10	8,597.92	2.90	94.40	139.10
Brazil	2010	403.10	11,286.24	3.34	111.78	146.65
Brazil	2011	427.20	13,245.61	3.58	115.84	154.53
Brazil	2012	445.70	12,370.02	3.58	112.74	162.18
Brazil	2013	585.80	12,300.32	3.34	110.35	175.07
Brazil	2014	508.00	12,112.59	3.34	110.11	182.00
Brazil	2015	490.70	8,814.00	3.10	112.02	176.27
Brazil	2016	454.10	8,710.10	3.34	117.27	163.37
Brazil	2017	460.60	9,928.64	3.34	117.75	166.00
Brazil	2018	445.50	9,151.45	3.34	126.11	160.03
Brazil	2019	449.90	8,897.49	3.34	132.32	161.22
Mexico	2000	359.70	7,157.81	1.90	8.90	130.40
Mexico	2001	360.60	7,544.57	2.00	7.80	130.90
Mexico	2002	368.10	7,593.14	2.20	6.90	131.20
Mexico	2003	386.60	7,075.37	2.40	6.10	138.70
Mexico	2004	396.10	7,484.49	2.10	7.80	149.10
Mexico	2005	412.40	8,277.67	2.40	8.60	161.60
Mexico	2006	450.50	9,068.29	2.50	9.00	166.40
Mexico	2007	428.90	9,642.68	2.40	8.40	165.10
Mexico	2008	431.60	10,016.57	2.20	11.00	164.10
Mexico	2009	433.00	8,002.97	2.40	8.30	166.00
Mexico	2010	454.80	9,271.40	1.43	10.51	162.89
Mexico	2011	473.00	10,203.42	2.15	10.27	170.54
Mexico	2012	476.70	10,241.73	1.91	9.55	172.69
Mexico	2013	483.20	10,725.18	2.63	8.84	173.40
Mexico	2014	471.20	10,928.92	2.15	11.70	170.06
Mexico	2015	475.20	9,616.65	2.63	10.51	170.54
Mexico	2016	480.40	8,744.52	2.39	10.75	173.16
Mexico	2017	486.10	9,287.85	2.39	11.46	172.21
Mexico	2018	477.10	9,686.51	2.15	12.66	174.36
Mexico	2019	459.80	9,946.03	2.39	12.18	166.71
SouthAfrica	2000	280.50	3,032.44	3.10	8.17	97.70
SouthAfrica	2001	316.50	2,666.48	2.60	7.85	97.00
SouthAfrica	2002	326.80	2,502.28	2.90	7.32	99.90
SouthAfrica	2003	348.30	3,751.28	3.00	7.03	106.20
SouthAfrica	2004	375.30	4,833.63	3.20	7.01	113.50
SouthAfrica	2005	372.30	5,383.66	2.70	6.59	107.70
SouthAfrica	2006	401.30	5,602.01	2.40	6.82	109.90
SouthAfrica	2007	411.80	6,095.62	2.70	6.47	113.30
SouthAfrica	2008	447.50	5,760.81	3.10	7.34	122.40
SouthAfrica	2009	446.70	5,862.80	3.10	7.24	121.00
SouthAfrica	2010	474.90	7,328.62	3.10	6.93	122.29
SouthAfrica	2011	466.30	8,007.48	2.87	7.27	120.38

Negara	Tahun	CO2 (MTCO2e)	GDP/kapita (dollar AS)	NUC (MTOE)	RE (MTOE)	FE (MTOE)
SouthAfrica	2012	462.10	7,501.66	2.87	6.59	119.18
SouthAfrica	2013	463.30	6,832.73	3.10	6.39	119.42
SouthAfrica	2014	467.70	6,433.40	3.10	6.50	120.14
SouthAfrica	2015	455.50	5,734.63	2.63	6.25	117.75
SouthAfrica	2016	474.40	5,272.54	3.34	6.18	122.05
SouthAfrica	2017	470.10	6,131.48	3.10	6.62	120.62
SouthAfrica	2018	451.90	6,372.61	2.39	6.08	116.56
SouthAfrica	2019	462.40	6,001.40	2.87	6.21	118.47
India	2000	889.80	443.31	3.60	18.10	274.00
India	2001	904.90	451.57	4.30	17.20	276.10
India	2002	934.70	470.99	4.40	16.40	287.90
India	2003	959.00	546.73	4.10	16.70	296.50
India	2004	1,028.30	627.77	3.80	20.90	320.50
India	2005	1,075.00	714.86	4.00	24.30	338.40
India	2006	1,257.30	806.75	4.00	28.70	357.20
India	2007	1,365.50	1,028.33	4.00	31.70	384.70
India	2008	1,466.90	998.52	3.40	30.80	412.50
India	2009	1,594.40	1,101.96	3.80	30.30	450.00
India	2010	1,652.10	1,357.56	5.25	32.96	498.71
India	2011	1,730.00	1,458.10	7.17	39.89	521.40
India	2012	1,844.50	1,443.88	7.40	37.50	553.17
India	2013	1,930.00	1,449.61	7.40	42.51	571.56
India	2014	2,083.80	1,573.89	7.64	45.38	610.73
India	2015	2,151.90	1,605.61	8.36	44.43	632.23
India	2016	2,243.20	1,732.55	8.12	46.57	660.65
India	2017	2,324.70	1,980.67	8.12	51.83	683.82
India	2018	2,449.40	1,996.92	8.36	58.04	725.14
India	2019	2,471.90	2,100.75	9.55	66.16	733.73

Sumber: diolah oleh Peneliti, 2021

Fungsi ekonometrika yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

$$\ln CO2_{it} = \alpha_i + \beta_0 \ln GDP_{it} + \beta_1 (\ln GDP_{it})^2 + \beta_2 \ln NUC_{it} + \beta_3 \ln RE_{it} + \beta_4 \ln FE_{it} + \varepsilon_{it} \quad (4.3)$$

Sehingga data diubah dalam bentuk *logaritma natural*. GDP1 merupakan bentuk kuadrat dari *LnGDP*. Bentuknya perubahannya seperti di bawah ini:

**Tabel 4.14 Data Panel Logaritma Natural**

Negara	Tahun	CO2	GDP	GDP1	NUC	RE	FE
China	2000	8.04	6.87	47.15	1.34	3.93	6.89
China	2001	8.09	6.96	48.43	1.39	4.15	6.91
China	2002	8.16	7.05	49.65	1.74	4.19	6.97

Negara	Tahun	CO2	GDP	GDP1	NUC	RE	FE
China	2003	8.31	7.16	51.28	2.28	4.18	7.12
China	2004	8.46	7.32	53.57	2.43	4.39	7.30
China	2005	8.60	7.47	55.79	2.48	4.51	7.43
China	2006	8.69	7.65	58.51	2.52	4.61	7.52
China	2007	8.78	7.90	62.39	2.65	4.72	7.62
China	2008	8.90	8.15	66.45	2.74	5.00	7.66
China	2009	8.95	8.25	68.08	2.77	4.98	7.70
China	2010	9.01	8.42	70.95	2.82	5.18	7.74
China	2011	9.09	8.63	74.54	2.96	5.18	7.82
China	2012	9.11	8.75	76.58	3.08	5.41	7.84
China	2013	9.13	8.86	78.52	3.20	5.49	7.88
China	2014	9.14	8.95	80.03	3.37	5.65	7.89
China	2015	9.14	9.00	80.92	3.62	5.72	7.89
China	2016	9.14	9.01	81.10	3.83	5.80	7.90
China	2017	9.16	9.09	82.66	3.98	5.89	7.92
China	2018	9.17	9.21	84.79	4.14	5.98	7.95
China	2019	9.19	9.23	85.23	4.31	6.07	7.97
Rusia	2000	7.30	7.48	55.94	3.38	3.70	6.32
Rusia	2001	7.30	7.65	58.52	3.43	3.75	6.33
Rusia	2002	7.29	7.77	60.43	3.47	3.68	6.33
Rusia	2003	7.31	8.00	63.97	3.51	3.65	6.36
Rusia	2004	7.31	8.32	69.21	3.49	3.76	6.36
Rusia	2005	7.30	8.58	73.61	3.51	3.74	6.35
Rusia	2006	7.34	8.84	78.18	3.57	3.74	6.40
Rusia	2007	7.33	9.12	83.10	3.59	3.77	6.40
Rusia	2008	7.35	9.36	87.64	3.61	3.69	6.41
Rusia	2009	7.28	9.06	82.00	3.61	3.74	6.35
Rusia	2010	7.33	9.28	86.04	3.64	3.68	6.38
Rusia	2011	7.37	9.57	91.56	3.65	3.66	6.42
Rusia	2012	7.38	9.64	93.00	3.67	3.66	6.42
Rusia	2013	7.37	9.68	93.68	3.64	3.75	6.41
Rusia	2014	7.36	9.55	91.27	3.68	3.70	6.41
Rusia	2015	7.35	9.14	83.52	3.75	3.68	6.39
Rusia	2016	7.36	9.07	82.29	3.75	3.77	6.41
Rusia	2017	7.35	9.28	86.12	3.78	3.77	6.41
Rusia	2018	7.38	9.33	87.08	3.78	3.80	6.45
Rusia	2019	7.38	9.35	87.42	3.79	3.84	6.44
Brazil	2000	5.69	8.23	67.72	0.34	4.27	4.72
Brazil	2001	5.71	8.06	64.92	1.16	4.15	4.76
Brazil	2002	5.71	7.95	63.17	1.13	4.22	4.76

Negara	Tahun	CO2	GDP	GDP1	NUC	RE	FE
Brazil	2003	5.69	8.03	64.48	1.10	4.29	4.76
Brazil	2004	5.75	8.20	67.22	0.96	4.33	4.81
Brazil	2005	5.75	8.47	71.82	0.79	4.39	4.83
Brazil	2006	5.82	8.68	75.35	1.13	4.42	4.85
Brazil	2007	5.86	8.90	79.25	1.03	4.50	4.90
Brazil	2008	5.93	9.09	82.56	1.16	4.49	4.98
Brazil	2009	5.86	9.06	82.07	1.06	4.55	4.94
Brazil	2010	6.00	9.33	87.07	1.21	4.72	4.99
Brazil	2011	6.06	9.49	90.09	1.28	4.75	5.04
Brazil	2012	6.10	9.42	88.79	1.28	4.73	5.09
Brazil	2013	6.37	9.42	88.69	1.21	4.70	5.17
Brazil	2014	6.23	9.40	88.40	1.21	4.70	5.20
Brazil	2015	6.20	9.08	82.52	1.13	4.72	5.17
Brazil	2016	6.12	9.07	82.31	1.21	4.76	5.10
Brazil	2017	6.13	9.20	84.70	1.21	4.77	5.11
Brazil	2018	6.10	9.12	83.20	1.21	4.84	5.08
Brazil	2019	6.11	9.09	82.69	1.21	4.89	5.08
Mexico	2000	5.89	8.88	78.78	0.64	2.19	4.87
Mexico	2001	5.89	8.93	79.72	0.69	2.05	4.87
Mexico	2002	5.91	8.94	79.83	0.79	1.93	4.88
Mexico	2003	5.96	8.86	78.58	0.88	1.81	4.93
Mexico	2004	5.98	8.92	79.58	0.74	2.05	5.00
Mexico	2005	6.02	9.02	81.38	0.88	2.15	5.09
Mexico	2006	6.11	9.11	83.04	0.92	2.20	5.11
Mexico	2007	6.06	9.17	84.16	0.88	2.13	5.11
Mexico	2008	6.07	9.21	84.86	0.79	2.40	5.10
Mexico	2009	6.07	8.99	80.78	0.88	2.12	5.11
Mexico	2010	6.12	9.13	83.44	0.36	2.35	5.09
Mexico	2011	6.16	9.23	85.20	0.77	2.33	5.14
Mexico	2012	6.17	9.23	85.27	0.65	2.26	5.15
Mexico	2013	6.18	9.28	86.12	0.97	2.18	5.16
Mexico	2014	6.16	9.30	86.47	0.77	2.46	5.14
Mexico	2015	6.16	9.17	84.11	0.97	2.35	5.14
Mexico	2016	6.17	9.08	82.38	0.87	2.37	5.15
Mexico	2017	6.19	9.14	83.47	0.87	2.44	5.15
Mexico	2018	6.17	9.18	84.24	0.77	2.54	5.16
Mexico	2019	6.13	9.20	84.73	0.87	2.50	5.12
SouthAfrica	2000	5.64	8.02	64.27	1.13	2.10	4.58
SouthAfrica	2001	5.76	7.89	62.23	0.96	2.06	4.57
SouthAfrica	2002	5.79	7.82	61.23	1.06	1.99	4.60

Negara	Tahun	CO2	GDP	GDP1	NUC	RE	FE
SouthAfrica	2003	5.85	8.23	67.73	1.10	1.95	4.67
SouthAfrica	2004	5.93	8.48	71.97	1.16	1.95	4.73
SouthAfrica	2005	5.92	8.59	73.81	0.99	1.89	4.68
SouthAfrica	2006	5.99	8.63	74.49	0.88	1.92	4.70
SouthAfrica	2007	6.02	8.72	75.96	0.99	1.87	4.73
SouthAfrica	2008	6.10	8.66	74.98	1.13	1.99	4.81
SouthAfrica	2009	6.10	8.68	75.28	1.13	1.98	4.80
SouthAfrica	2010	6.16	8.90	79.20	1.13	1.94	4.81
SouthAfrica	2011	6.14	8.99	80.79	1.05	1.98	4.79
SouthAfrica	2012	6.14	8.92	79.62	1.05	1.89	4.78
SouthAfrica	2013	6.14	8.83	77.96	1.13	1.86	4.78
SouthAfrica	2014	6.15	8.77	76.90	1.13	1.87	4.79
SouthAfrica	2015	6.12	8.65	74.90	0.97	1.83	4.77
SouthAfrica	2016	6.16	8.57	73.45	1.21	1.82	4.80
SouthAfrica	2017	6.15	8.72	76.06	1.13	1.89	4.79
SouthAfrica	2018	6.11	8.76	76.73	0.87	1.80	4.76
SouthAfrica	2019	6.14	8.70	75.69	1.05	1.83	4.77
India	2000	6.79	6.09	37.14	1.28	2.90	5.61
India	2001	6.81	6.11	37.37	1.46	2.84	5.62
India	2002	6.84	6.15	37.88	1.48	2.80	5.66
India	2003	6.87	6.30	39.74	1.41	2.82	5.69
India	2004	6.94	6.44	41.50	1.34	3.04	5.77
India	2005	6.98	6.57	43.19	1.39	3.19	5.82
India	2006	7.14	6.69	44.80	1.39	3.36	5.88
India	2007	7.22	6.94	48.10	1.39	3.46	5.95
India	2008	7.29	6.91	47.70	1.22	3.43	6.02
India	2009	7.37	7.00	49.07	1.34	3.41	6.11
India	2010	7.41	7.21	52.03	1.66	3.50	6.21
India	2011	7.46	7.28	53.07	1.97	3.69	6.26
India	2012	7.52	7.28	52.93	2.00	3.62	6.32
India	2013	7.57	7.28	52.98	2.00	3.75	6.35
India	2014	7.64	7.36	54.19	2.03	3.82	6.41
India	2015	7.67	7.38	54.48	2.12	3.79	6.45
India	2016	7.72	7.46	55.61	2.09	3.84	6.49
India	2017	7.75	7.59	57.63	2.09	3.95	6.53
India	2018	7.80	7.60	57.75	2.12	4.06	6.59
India	2019	7.81	7.65	58.52	2.26	4.19	6.60

Sumber: diolah oleh Peneliti, 2021

### 4.3.2 Pengolahan Data untuk Uji Regresi Berganda

**Tabel 4.15 Data *Time Series* untuk Pengolahan Regresi Linear Berganda**

Tahun	CO <sub>2</sub>	FE	PLTA	RE
2000	255.00	95.00	2.30	1.10
2001	274.30	100.00	2.60	1.40
2002	279.90	105.10	2.30	1.40
2003	308.60	114.20	2.10	1.40
2004	315.80	115.10	2.20	1.50
2005	317.60	117.30	2.40	1.50
2006	339.00	120.30	2.20	1.50
2007	355.20	127.80	2.60	1.60
2008	350.60	127.10	2.60	1.90
2009	365.80	132.10	2.60	2.10
2010	391.70	146.65	3.82	2.39
2011	449.80	159.07	2.87	2.39
2012	451.10	169.58	2.87	2.63
2013	416.90	173.88	3.82	2.87
2014	452.30	160.74	3.34	3.82
2015	458.20	163.37	3.10	3.10
2016	448.20	162.42	4.06	4.78
2017	480.60	169.58	4.06	5.02
2018	538.00	182.96	3.58	6.21
2019	583.40	194.66	3.58	8.36
2020	626.60	169.58	4.06	8.84

Sumber: diolah oleh Peneliti, 2021

### 4.3.3 Pengolahan Data Wawancara untuk Uji Kuasi Kualitatif dengan QSD

#### 4.3.3.1 Pemilihan Kata-kata Kunci dan Penentuan Calon *Header* dari Wawancara

**Tabel 4.16 Ditjen EBTKE**

Kata-kata Kunci	Penyederhanaan Kata-kata Kunci	Calon <i>Header</i>
- Optimalisasi EBT 23 persen - Reduksi emisi 29 persen	- Optimalisasi EBT - Regulasi EBT - Terminasi pembangkit fosil/PLTU	- Optimalisasi EBT - Regulasi EBT - Terminasi pembangkit fosil/PLTU

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduksi emisi NZE 2060</li> <li>- Optimalisasi potensi EBT</li> <li>- Green RUPTL</li> <li>- Regulasi EBT</li> <li>- Terminasi PLTU</li> <li>- Pembangunan PLTN</li> <li>- Optimalisasi PLTS dan PLTA</li> <li>- Menarik investor EBT</li> <li>- Pemilihan teknologi mutakhir dan andal</li> <li>- Membentuk NEPIO</li> <li>- Komitmen bersama pemangku kebijakan (politik)</li> <li>- Sosialisasi/komunikasi kepada masyarakat</li> <li>- Kebijakan pemerintah</li> <li>- Dukungan internasional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Penguatan teknologi mutakhir</li> <li>- Pembangunan PLTN</li> <li>- Membentuk NEPIO</li> <li>- Sosialisasi/komunikasi kepada masyarakat</li> <li>- Kebijakan politik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Penguatan teknologi mutakhir</li> <li>- Pembangunan PLTN</li> <li>- Membentuk NEPIO</li> <li>- Sosialisasi/komunikasi kepada masyarakat</li> <li>- Kebijakan politik</li> </ul>
---	--	--

Sumber: diolah oleh Peneliti, 2021

**Tabel 4.17 DEN**

<b>Kata-kata Kunci</b>	<b>Penyederhanaan Kata-kata Kunci</b>	<b>Calon Header</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pertimbangan rilis CO2</li> <li>- Transisi energi menuju NZE 2060</li> <li>- Optimalisasi semua jenis EBT</li> <li>- Politik</li> <li>- Penguatan teknologi</li> <li>- Terminasi batubara</li> <li>- Pembangunan PLTN</li> <li>- Membentuk NEPIO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Optimalisasi EBT</li> <li>- Kebijakan politik</li> <li>- Penguatan teknologi mutakhir</li> <li>- Terminasi pembangkitan fosil/PLTU</li> <li>- Pembangunan PLTN</li> <li>- Membentuk NEPIO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Optimalisasi EBT</li> <li>- Kebijakan politik</li> <li>- Penguatan teknologi mutakhir</li> <li>- Terminasi pembangkitan fosil/PLTU</li> <li>- Pembangunan PLTN</li> <li>- Membentuk NEPIO</li> </ul>

Sumber: diolah oleh Peneliti, 2021

Tabel 4.18 BAPETEN

<b>Kata-kata Kunci</b>	<b>Penyederhanaan Kata-kata Kunci</b>	<b>Calon Header</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Regulasi EBT</li> <li>- Koordinasi antarkementerian/lembaga</li> <li>- Penguatan teknologi mutakhir (PLTN)</li> <li>- Kebijakan politik</li> <li>- Optimalisasi semua potensi sumber daya energi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Regulasi EBT</li> <li>- Koordinasi antarlembaga/kementerian</li> <li>- Penguatan teknologi mutakhir (PLTN)</li> <li>- Kebijakan politik</li> <li>- Optimalisasi EBT</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Regulasi EBT</li> <li>- Koordinasi antarlembaga/kementerian</li> <li>- Penguatan teknologi mutakhir (PLTN)</li> <li>- Kebijakan politik</li> <li>- Optimalisasi EBT</li> </ul>

Sumber: diolah oleh Peneliti, 2021

Tabel 4.19 ORTN BRIN

<b>Kata-kata Kunci</b>	<b>Penyederhanaan Kata-kata Kunci</b>	<b>Calon Header</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pembangkit <i>base load</i> yang andal</li> <li>- Mendukung riset PLTN</li> <li>- Pengembangan teknologi fabrikasi bahan bakar PLTN</li> <li>- Riset eksplorasi mineral uranium dan LTJ</li> <li>- Komitmen nasional go nuklir (politik)</li> <li>- Keterlibatan <i>stakeholder</i></li> <li>- Pembentukan NEPIO</li> <li>- Sosialisasi dan edukasi PLTN</li> <li>- Sinergi BRIN</li> <li>- Menyiapkan fasilitas riset ketenaganukliran modern</li> <li>- Optimalisasi EBT/Tidak diskriminasi jenis energi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Riset PLTN</li> <li>- Pemilihan teknologi mutakhir</li> <li>- Komitmen nasional/politik</li> <li>- Keterlibatan <i>stakeholder</i></li> <li>- Pembentukan NEPIO</li> <li>- Sosialisasi dan edukasi PLTN</li> <li>- Sinergi lembaga riset BRIN</li> <li>- Tidak diskriminasi energi</li> <li>- Sinergi antar-<i>stakeholder</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Riset PLTN</li> <li>- Pemilihan teknologi mutakhir</li> <li>- Komitmen nasional/politik</li> <li>- Keterlibatan <i>stakeholder</i></li> <li>- Pembentukan NEPIO</li> <li>- Sosialisasi dan edukasi PLTN</li> <li>- Sinergi lembaga riset BRIN</li> <li>- Tidak diskriminasi energi</li> <li>- Sinergi antar-<i>stakeholder</i></li> </ul>

Sumber: diolah oleh Peneliti, 2021

Tabel 4.20 HIMNI

<b>Kata-kata Kunci</b>	<b>Penyederhanaan Kata-kata Kunci</b>	<b>Calon Header</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pengembangan pembangkit <i>base load</i> yang andal</li> <li>- Impor bahan bakar PLTN</li> <li>- Pemimpin yang berani dan visioner</li> <li>- Kerjasama internasional</li> <li>- Keputusan politik</li> <li>- Teknologi PLTN mutakhir</li> <li>- Terminasi PLTU</li> <li>- Optimalisasi semua jenis energi dari EBT</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pemilihan teknologi mutakhir</li> <li>- Kerjasama internasional</li> <li>- Pemimpin yang visioner</li> <li>- Komitmen nasional/politik</li> <li>- Tidak diskriminasi energi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pemilihan teknologi mutakhir</li> <li>- Kerjasama internasional</li> <li>- Pemimpin yang visioner</li> <li>- Komitmen nasional/politik</li> <li>- Tidak diskriminasi energi</li> </ul>

Sumber: diolah oleh Peneliti, 2021

Tabel 4.21 Akademisi ITB

<b>Kata-kata Kunci</b>	<b>Penyederhanaan Kata-kata Kunci</b>	<b>Calon Header</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tidak fanatik pada madzab energi tertentu</li> <li>- Optimalisasi semua jenis potensi energi</li> <li>- Diversifikasi energi tanpa diskriminasi</li> <li>- Kebijakan proteksi pada jenis energi masa depan</li> <li>- Pengembangan jenis energi <i>base load</i> yang andal</li> <li>- Penguatan politik</li> <li>- Pemimpin yang visioner</li> <li>- Teknologi mutakhir</li> <li>- Kompensasi bagi masyarakat di daerah lokasi PLTN</li> <li>- Sosialisasi dan edukasi untuk public acceptance</li> <li>- Penguatan riset PLTN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tidak diskriminasi energi</li> <li>- Optimalisasi EBT</li> <li>- Diversifikasi energi</li> <li>- Kebijakan proteksi energi</li> <li>- Pemilihan teknologi mutakhir</li> <li>- Komitmen nasional/politik</li> <li>- Pemimpin yang visioner</li> <li>- Kompensasi bagi masyarakat di daerah lokasi PLTN</li> <li>- Sosialisasi dan edukasi PLTN</li> <li>- Riset PLTN</li> <li>- Sinergi lembaga riset BRIN</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tidak diskriminasi energi</li> <li>- Optimalisasi EBT</li> <li>- Diversifikasi energi</li> <li>- Kebijakan proteksi energi</li> <li>- Pemilihan teknologi mutakhir</li> <li>- Komitmen nasional/politik</li> <li>- Pemimpin yang visioner</li> <li>- Kompensasi bagi masyarakat di daerah lokasi PLTN</li> <li>- Sosialisasi dan edukasi PLTN</li> <li>- Riset PLTN</li> <li>- Sinergi lembaga riset BRIN</li> <li>- Sinergi antar-<i>stakeholder</i></li> </ul>

- Penguatan lembaga riset PLTN-BRIN	- Sinergi antar- <i>stakeholder</i>	
-------------------------------------	-------------------------------------	--

Sumber: diolah oleh Peneliti, 2021

**Tabel 4.22 Profesor Riset ORTN**

<b>Kata-kata Kunci</b>	<b>Penyederhanaan Kata-kata Kunci</b>	<b>Calon Header</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Keputusan politik</li> <li>- Politik dunia</li> <li>- Sosialisasi dan komunikasi publik tentang nuklir</li> <li>- Pembentukan NEPIO</li> <li>- Pemilihan lokasi yang tepat yang didukung semua <i>stakeholder</i></li> <li>- Koordinasi antarpemangku kebijakan</li> <li>- Menggalang kerjasama dengan segenap <i>stakeholder</i></li> <li>- Pemimpin yang berani dan visioner</li> <li>- Kerjasama internasional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Komitmen nasional/politik</li> <li>- Sosialisasi dan edukasi PLTN</li> <li>- Sinergi antar-<i>stakeholder</i></li> <li>- Pemimpin yang visioner</li> <li>- Kerjasama internasional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Komitmen nasional/politik</li> <li>- Sosialisasi dan edukasi PLTN</li> <li>- Sinergi antar-<i>stakeholder</i></li> <li>- Pemimpin yang visioner</li> <li>- Kerjasama internasional</li> </ul>

Sumber: diolah oleh Peneliti, 2021

#### 4.3.3.2 Pemilihan *Header* dari wawancara

**Tabel 4.23 Kelompok LQS (Ditjen EBTKE, DEN, dan BAPETEN)**

<b>Header EBTKE</b>	<b>Header LQS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Optimalisasi EBT</li> <li>- Regulasi EBT</li> <li>- Terminasi pembangkit fosil/PLTU</li> <li>- Penguatan teknologi mutakhir</li> <li>- Pembangunan PLTN</li> <li>- Membentuk NEPIO</li> <li>- Sosialisasi/komunikasi kepada masyarakat</li> <li>- Kebijakan politik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Optimalisasi EBT</li> <li>- Regulasi EBT (investasi)</li> <li>- Terminasi pembangkit fosil/PLTU-Pembangunan PLTN</li> <li>- Penguatan teknologi mutakhir</li> <li>- Kebijakan politik</li> <li>- Koordinasi/sinergi antarlembaga/kementerian</li> <li>- Sosialisasi/komunikasi kepada masyarakat</li> <li>- Diversifikasi energi</li> </ul>
<b>Header DEN</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Optimalisasi EBT</li> </ul>	

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kebijakan politik</li> <li>- Penguatan teknologi mutakhir</li> <li>- Terminasi pembangkitan fosil/PLTU</li> <li>- Pembangunan PLTN</li> <li>- Membentuk NEPIO</li> </ul>	
<b>Header BAPETEN</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Regulasi EBT</li> <li>- Koordinasi antarlembaga/kementerian</li> <li>- Penguatan teknologi mutakhir (PLTN)</li> <li>- Kebijakan politik</li> <li>- Optimalisasi EBT</li> </ul>	

Sumber: diolah oleh Peneliti, 2021

**Tabel 4.24 Kelompok TQS (ORTN-BRIN, HIMNI, Akademisi, dan Pengamat Nuklir)**

<b>Header ORTN BRIN</b>	<b>Header TQS</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Riset PLTN</li> <li>- Pemilihan teknologi mutakhir</li> <li>- Komitmen nasional/politik</li> <li>- Keterlibatan <i>stakeholder</i></li> <li>- Pembentukan NEPIO</li> <li>- Sosialisasi dan edukasi PLTN</li> <li>- Sinergi lembaga riset BRIN</li> <li>- Tidak diskriminasi energi</li> <li>- Sinergi antar-<i>stakeholder</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Riset PLTN</li> <li>- Pemilihan teknologi PLTN mutakhir</li> <li>- Komitmen nasional/politik</li> <li>- Pembentukan NEPIO</li> <li>- Sosialisasi dan edukasi PLTN</li> <li>- Sinergi lembaga riset BRIN</li> <li>- Sinergi antar-<i>stakeholder</i></li> <li>- Pemimpin yang visioner/politik</li> <li>- Kompensasi bagi masyarakat di daerah lokasi PLTN</li> <li>- Kerjasama internasional</li> </ul>
<b>Header Akademisi</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tidak diskriminasi energi</li> <li>- Optimalisasi EBT</li> <li>- Diversifikasi energi</li> <li>- Kebijakan proteksi energi</li> <li>- Pemilihan teknologi mutakhir</li> <li>- Komitmen nasional/politik</li> <li>- Pemimpin yang visioner</li> <li>- Kompensasi bagi masyarakat di daerah lokasi PLTN</li> <li>- Sosialisasi dan edukasi PLTN</li> <li>- Riset PLTN</li> <li>- Sinergi lembaga riset BRIN</li> <li>- Sinergi antar-<i>stakeholder</i></li> </ul>	
<b>Header HIMNI</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pemilihan teknologi mutakhir</li> <li>- Kerjasama internasional</li> </ul>	

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pemimpin yang visioner</li> <li>- Komitmen nasional/politik</li> <li>- Tidak diskriminasi energi</li> </ul>	
<b>Header Prof Riset Nuklir_Pengamat Nuklir</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Komitmen nasional/politik</li> <li>- Sosialisasi dan edukasi PLTN</li> <li>- Sinergi antar-<i>stakeholder</i></li> <li>- Pemimpin yang visioner</li> <li>- Kerjasama internasional</li> </ul>	

Sumber: diolah oleh Peneliti, 2021

#### 4.4 Hasil Pengujian Hipotesis

##### 4.4.1 Pengujian Regresi Data Panel

##### 4.4.1.1 Hasil Pengujian Regresi Data Panel dengan Sampel Semua Negara *Emerging Market* Pemilik Reaktor PLTN.

Melakukan regresi data panel dengan tiga estimasi yaitu metode *Common Effect Model* (CEM), *Fixed Effect Model* (FEM), dan *Random Effect Model* (REM).

**Tabel 4.25 Hasil regresi CEM**

Dependent Variable: CO2?  
 Method: Pooled Least Squares  
 Date: 12/29/21 Time: 21:12  
 Sample: 1 20  
 Included observations: 20  
 Cross-sections included: 6  
 Total pool (balanced) observations: 120

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
GDP?	0.215715	0.033051	6.526659	0.0000
GDP1?	-0.014997	0.002772	-5.410597	0.0000
NUC?	-0.069337	0.018225	-3.804516	0.0002
RE?	-0.046017	0.012998	-3.540377	0.0006
FE?	1.113495	0.023015	48.38209	0.0000
R-squared	0.987794	Mean dependent var		6.923269
Adjusted R-squared	0.987370	S.D. dependent var		1.061324
S.E. of regression	0.119276	Akaike info criterion		-1.373975
Sum squared resid	1.636086	Schwarz criterion		-1.257829
Log likelihood	87.43847	Hannan-Quinn criter.		-1.326807
Durbin-Watson stat	0.107147			

Sumber: diolah oleh peneliti, 2021

**Tabel 4.26 Hasil regresi FEM**

Dependent Variable: CO2?  
 Method: Pooled Least Squares  
 Date: 12/29/21 Time: 21:13  
 Sample: 1 20  
 Included observations: 20  
 Cross-sections included: 6  
 Total pool (balanced) observations: 120

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1.275572	0.443708	2.874803	0.0049
GDP?	-0.340474	0.144523	-2.355845	0.0203
GDP1?	0.021517	0.008188	2.627727	0.0098
NUC?	-0.057400	0.020528	-2.796174	0.0061
RE?	-0.037014	0.029334	-1.261808	0.2097
FE?	1.239887	0.060448	20.51153	0.0000
Fixed Effects (Cross)				
_BRAZIL--C	0.079471			
_CHINA--C	-0.199454			
_INDIA--C	0.017374			
_MEXICO--C	-0.043632			
_RUSIA--C	-0.199501			
_SOUTHAFRICA--C	0.345742			
Effects Specification				
Cross-section fixed (dummy variables)				
R-squared	0.998524	Mean dependent var	6.923269	
Adjusted R-squared	0.998388	S.D. dependent var	1.061324	
S.E. of regression	0.042609	Akaike info criterion	-3.386293	
Sum squared resid	0.197896	Schwarz criterion	-3.130773	
Log likelihood	214.1776	Hannan-Quinn criter.	-3.282525	
F-statistic	7372.080	Durbin-Watson stat	0.831015	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Sumber: diolah oleh peneliti, 2021

**Tabel 4.27 Hasil regresi REM**

Dependent Variable: CO2?  
 Method: Pooled EGLS (Cross-section random effects)  
 Date: 12/29/21 Time: 21:13  
 Sample: 1 20  
 Included observations: 20  
 Cross-sections included: 6  
 Total pool (balanced) observations: 120  
 Swamy and Arora estimator of component variances

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.820699	0.314404	-2.610335	0.0103
GDP?	0.418742	0.078669	5.322815	0.0000
GDP1?	-0.027518	0.004898	-5.618500	0.0000

NUC?	-0.070088	0.006517	-10.75483	0.0000
RE?	-0.046603	0.004649	-10.02502	0.0000
FE?	1.115631	0.008262	135.0286	0.0000
Random Effects (Cross)				
_BRAZIL--C	-5.11E-10			
_CHINA--C	1.09E-09			
_INDIA--C	1.20E-09			
_MEXICO--C	-4.94E-09			
_RUSIA--C	-2.89E-09			
_SOUTHAFRICA--C	6.05E-09			
Effects Specification				
			S.D.	Rho
Cross-section random			1.84E-06	0.0000
Idiosyncratic random			0.042609	1.0000
Weighted Statistics				
R-squared	0.987887	Mean dependent var		6.923269
Adjusted R-squared	0.987355	S.D. dependent var		1.061324
S.E. of regression	0.119345	Sum squared resid		1.623715
F-statistic	1859.410	Durbin-Watson stat		0.113076
Prob(F-statistic)	0.000000			
Unweighted Statistics				
R-squared	0.987887	Mean dependent var		6.923269
Sum squared resid	1.623715	Durbin-Watson stat		0.113076

Sumber: diolah oleh peneliti, 2021

#### 4.4.1.2 Melakukan Pemilihan Model Regresi Data Panel yang Terbaik dengan Melakukan Uji F Test (*Chow Test*) dan *Hausman Test*.

Uji Chow untuk membandingkan model yang terbaik antara CEM dan FEM. Apabila nilai Prob. Cross section F < 0,05 maka model terpilih adalah FEM. Sebaliknya, jika nilai probabilitas Prob. > 0,05 maka model terpilih adalah CEM.

**Tabel 4.28 Hasil Uji Chow**

Redundant Fixed Effects Tests			
Pool: POOL01			
Test cross-section fixed effects			
Effects Test	Statistic	d.f.	Prob.
Cross-section F	157.066261	(5,109)	0.0000
Cross-section Chi-square	252.567409	5	0.0000

Cross-section fixed effects test equation:

Dependent Variable: CO2?

Method: Panel Least Squares

Date: 12/29/21 Time: 21:13

Sample: 1 20

Included observations: 20

Cross-sections included: 6

Total pool (balanced) observations: 120

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.820699	0.880611	-0.931965	0.3533
GDP?	0.418742	0.220344	1.900398	0.0599
GDP1?	-0.027518	0.013718	-2.005966	0.0472
NUC?	-0.070088	0.018253	-3.839784	0.0002
RE?	-0.046603	0.013020	-3.579219	0.0005
FE?	1.115631	0.023141	48.20909	0.0000
R-squared	0.987887	Mean dependent var	6.923269	
Adjusted R-squared	0.987355	S.D. dependent var	1.061324	
S.E. of regression	0.119345	Akaike info criterion	-1.364898	
Sum squared resid	1.623715	Schwarz criterion	-1.225523	
Log likelihood	87.89388	Hannan-Quinn criter.	-1.308297	
F-statistic	1859.410	Durbin-Watson stat	0.113076	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Sumber: diolah oleh peneliti, 2021

Dari pengujian terlihat nilai Prob. < 0,05 sehingga dari dua metode CEM dan FEM, yang terpilih adalah metode FEM. Berikutnya, melakukan Uji *Hausman* untuk membandingkan model yang tepat antara metode FEM dan REM. Apabila nilai Prob. Cross section F < 0,05 maka model terpilih adalah FEM. Sebaliknya, jika nilai probabilitas Prob. > 0,05 maka model terpilih adalah REM.

**Tabel 4.29 Hasil Uji *Hausman***

Correlated Random Effects - Hausman Test

Pool: POOL01

Test cross-section random effects

Test Summary	Chi-Sq. Statistic	Chi-Sq. d.f.	Prob.
Cross-section random	785.331283	5	0.0000

Cross-section random effects test comparisons:

Variable	Fixed	Random	Var(Diff.)	Prob.
GDP?	-0.340474	0.418742	0.014698	0.0000
GDP1?	0.021517	-0.027518	0.000043	0.0000
NUC?	-0.057400	-0.070088	0.000379	0.5145
RE?	-0.037014	-0.046603	0.000839	0.7406
FE?	1.239887	1.115631	0.003586	0.0380

Cross-section random effects test equation:

Dependent Variable: CO2?

Method: Panel Least Squares

Date: 12/29/21 Time: 21:14

Sample: 1 20

Included observations: 20

Cross-sections included: 6

Total pool (balanced) observations: 120

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1.275572	0.443708	2.874803	0.0049
GDP?	-0.340474	0.144523	-2.355845	0.0203
GDP1?	0.021517	0.008188	2.627727	0.0098
NUC?	-0.057400	0.020528	-2.796174	0.0061
RE?	-0.037014	0.029334	-1.261808	0.2097
FE?	1.239887	0.060448	20.51153	0.0000

#### Effects Specification

Cross-section fixed (dummy variables)

R-squared	0.998524	Mean dependent var	6.923269
Adjusted R-squared	0.998388	S.D. dependent var	1.061324
S.E. of regression	0.042609	Akaike info criterion	-3.386293
Sum squared resid	0.197896	Schwarz criterion	-3.130773
Log likelihood	214.1776	Hannan-Quinn criter.	-3.282525
F-statistic	7372.080	Durbin-Watson stat	0.831015
Prob(F-statistic)	0.000000		

Sumber: diolah oleh peneliti, 2021

Dari pengujian terlihat nilai Prob. < 0,05 sehingga dari dua metode FEM dan REM, yang terpilih adalah metode FEM. Setelah terpilih model tersebut langkah berikutnya sebelum melakukan interpretasi data adalah dengan menguji sejumlah asumsi klasik pada model FEM terpilih.

#### 4.4.1.3 Melakukan Uji Asumsi Klasik untuk Model Regresi Data Panel

Dalam regresi data panel, uji asumsi klasik yang dilakukan berbeda dari uji asumsi klasik yang dilakukan pada data *time series* ataupun pada data *cross section*. Menurut Rolan Mardani dalam “Jurnal Solusi Bisnis Anda” yang termuat dalam “mjurnal.com” menyebutkan bahwa regresi data

panel yang merupakan gabungan dari data *time series* dan *cross section* hanya menggunakan sejumlah uji asumsi klasik.

- 1) Uji normalitas untuk model REM dengan pendekatan *Generalized Least Square* (GLS). Untuk uji asumsi klasik dengan pendekatan *ordinary least square* (OLS) seperti CEM dan FEM tidak perlu menggunakan uji normalitas data.
- 2) Uji heteroskedastisitas wajib untuk pendekatan model OLS seperti CEM dan FEM. Untuk yang menggunakan pendekatan GLS seperti model REM uji heteroskedastisitas sifatnya tidak wajib. Alasannya, pendekatan GLS bertujuan untuk menyembuhkan gejala heteroskedastisitas sehingga model REM diasumsikan terbebas dari heteroskedastisitas.
- 3) Uji multikolinearitas yang bertujuan untuk melihat korelasi antarvariabel bebas. Uji ini dilakukan pada model regresi yang memiliki lebih dari 1 variabel bebas. Jadi, semua model data panel melakukan uji multikolinearitas ini.
- 4) Uji autokorelasi tidak dilakukan pada model data panel. Autokorelasi hanya terjadi pada model regresi linier *time series*. Oleh sebab itu, uji autokorelasi pada data panel yang bersifat gabungan *time series* dan *cross section* menjadi tidak relevan. Apalagi, data panel lebih cenderung bersifat *cross section* daripada *time series*. Menurut Nachrowi dan Mahyus Eka, uji autokorelasi hanya memiliki satu nilai dalam 1 model regresi. Jika dalam satu model ada beberapa nilai hasil uji autokorelasi seperti "Uji DW" maka uji tersebut tidak lagi sah. Hasil autokorelasi akan berubah seandainya urutan data diubah-ubah seperti yang terjadi pada model data *cross section*. Berbeda dengan data *time series* yang hanya memiliki satu kemungkinan urutan data berdasarkan waktu. Dengan demikian Uji Autokorelasi dalam regresi data panel

tidak perlu dilakukan baik dengan pendekatan OLS ataupun GLS.

- 5) Jadi, dalam model regresi data panel hanya beberapa saja yang digunakan. Uji normalitas untuk model REM dengan pendekatan GLS. Uji heteroskedastisitas untuk model CEM dan FEM dengan pendekatan OLS. Untuk pendekatan GLS seperti pada model REM tidak perlu menggunakan uji heteroskedastisitas. Terakhir, adalah uji multikolinearitas berlaku untuk semua model baik dengan pendekatan OLS ataupun GLS.

#### 4.4.1.4 Hasil uji asumsi Klasik untuk model FEM

- 1) Uji Heteroskedastisitas dengan Uji *Glejser*

**Tabel 4.30 Uji Heteroskedastisitas dengan Uji *Glejser***

Dependent Variable: RESABS  
 Method: Panel Least Squares  
 Date: 12/29/21 Time: 21:02  
 Sample: 2000 2019  
 Periods included: 20  
 Cross-sections included: 6  
 Total panel (balanced) observations: 120

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.094776	0.276105	-0.343261	0.7321
GDP	0.053475	0.089932	0.594615	0.5533
GDP1	-0.003680	0.005095	-0.722165	0.4717
NUC	0.003301	0.012774	0.258420	0.7966
RE	0.004951	0.018254	0.271253	0.7867
FE	-0.014595	0.037615	-0.388008	0.6988

Effects Specification

Cross-section fixed (dummy variables)			
R-squared	0.139605	Mean dependent var	0.030116
Adjusted R-squared	0.060670	S.D. dependent var	0.027357
S.E. of regression	0.026515	Akaike info criterion	-4.335060
Sum squared resid	0.076629	Schwarz criterion	-4.079540
Log likelihood	271.1036	Hannan-Quinn criter.	-4.231292
F-statistic	1.768599	Durbin-Watson stat	1.247358
Prob(F-statistic)	0.074847		

Sumber: diolah oleh peneliti, 2021

Dari hasil Uji *Glejser* menghasilkan nilai t-statistik untuk masing-masing variabel bebas memiliki nilai Prob.> 0,05 yang menunjukkan tidak terjadi heteroskedastisitas. Dengan kata lain tercipta kondisi homoskedastis. Menurut Nachrowi D Nachrowi dan Hardius Usman (2006, hal 109) kondisi ini merupakan syarat yang harus dipenuhi agar taksiran parameter dalam model regresi bersifat BLUE maka  $\text{var}(v_i)$  harus sama dengan dengan  $\sigma^2$  (konstanta). Dengan kata lain semua residual atau *error* mempunyai *variance* yang sama.

## 2) Uji Multikolinearitas

Uji ini bertujuan untuk melihat hubungan atau korelasi antarvariabel bebas dalam model yang diteliti. Peneliti selalu beranggapan bahwa variabel lain bersifat konstan atau tetap. Hal ini tentu saja akan menjadi bias penafsiran ketika ada variabel lain yang berkorelasi erat sehingga akan berakibat pada data yang tidak konsisten secara signifikan. Setiap ada perubahan suatu variabel bebas maka akan mengakibatkan variabel bebas lainnya turut berubah. Kondisi ini dapat menyebabkan kekeliruan dalam menginterpretasi data yang dihasilkan dalam proses regresi.

Dalam prakteknya, multikolinearitas tidak dapat dihindari karena sulit menemukan dua variabel bebas yang secara matematis tidak berkorelasi (korelasi=0) meskipun secara substansinya memang tidak berkorelasi. Ada sejumlah ketentuan yang menyebutkan parameter penduga terkena multikolinearitas adalah nilai korelasi antarvariabel bebas lebih dari 0,8. Selain itu, nilai Variance Inflation Factor (VIF) > 10. Menurut Nachrowi D Nachrowi dan Hardius Usman (2006, hal 102), dikatakan terbebas dari multikolinearitas bila nilai VIF mendekati 1.

**Tabel 4.31 Hasil uji multikolineritas dengan melihat nilai korelasi antarvariabel bebas.**

	GDP	GDP1	NUC	RE	FE
GDP	1.000000	0.998478	0.095136	0.004210	-0.187598
GDP1	0.998478	1.000000	0.097650	0.004123	-0.187220
NUC	0.095136	0.097650	1.000000	0.567373	0.802886
RE	0.004210	0.004123	0.567373	1.000000	0.691666
FE	-0.187598	-0.187220	0.802886	0.691666	1.000000

Sumber: diolah oleh peneliti, 2021

Pengujian antarvariabel bebas di atas sebagian besar menunjukkan nilai di bawah 0,8. Nilai hubungan antarvariabel yang tinggi pada variabel GDP1 karena variabel tersebut merupakan bentuk kuadrat atau pangkat dua dari variabel GDP sehingga menghasilkan nilai korelasi yang sangat kuat mendekati 1. Namun, hal ini merupakan suatu bentuk kewajaran karena model yang digunakan peneliti memang mewajibkan demikian.

Untuk meyakinkan terbebas dari multikolinearitas, peneliti mengeluarkan variabel GDP1 untuk melihat nilai VIF-nya variabel GDP tanpa ada gangguan korelasi kuat dari nilai kuadrat variabel bersangkutan. Nilai pengujian korelasi antarvariabel rata-rata menunjukkan nilai < 5 yang menunjukkan bahwa model yang digunakan terbebas dari multikolinearitas.

**Tabel 4.32 Variance Inflation Factors**

Variance Inflation Factors  
Date: 12/29/21 Time: 21:44  
Sample: 1 120  
Included observations: 120

Variable	Coefficient Variance	Uncentered VIF	Centered VIF
C	0.032530	267.0466	NA
GDP	0.000197	116.6162	1.307923
NUC	0.000339	13.06418	3.426936
RE	0.000174	19.44069	1.994684
FE	0.000547	156.5938	4.727517

Sumber: diolah oleh peneliti, 2021

Setelah hasil regresi data panel dinyatakan bebas dari uji asumsi klasik maka hasil regresi dengan metode FEM yang terpilih bisa diinterpretasikan.

**Tabel 4.33 Intepretasi Model FEM**

Dependent Variable: CO2?  
 Method: Pooled Least Squares  
 Date: 12/29/21 Time: 21:13  
 Sample: 1 20  
 Included observations: 20  
 Cross-sections included: 6  
 Total pool (balanced) observations: 120

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1.275572	0.443708	2.874803	0.0049
GDP?	-0.340474	0.144523	-2.355845	0.0203
GDP1?	0.021517	0.008188	2.627727	0.0098
NUC?	-0.057400	0.020528	-2.796174	0.0061
RE?	-0.037014	0.029334	-1.261808	0.2097
FE?	1.239887	0.060448	20.51153	0.0000
Fixed Effects (Cross)				
_BRAZIL--C	0.079471			
_CHINA--C	-0.199454			
_INDIA--C	0.017374			
_MEXICO--C	-0.043632			
_RUSIA--C	-0.199501			
_SOUTHAFRICA--C	0.345742			
Effects Specification				
Cross-section fixed (dummy variables)				
R-squared	0.998524	Mean dependent var	6.923269	
Adjusted R-squared	0.998388	S.D. dependent var	1.061324	
S.E. of regression	0.042609	Akaike info criterion	-3.386293	
Sum squared resid	0.197896	Schwarz criterion	-3.130773	
Log likelihood	214.1776	Hannan-Quinn criter.	-3.282525	
F-statistic	7372.080	Durbin-Watson stat	0.831015	
Prob(F-statistic)	0.000000			

Sumber: diolah oleh peneliti, 2021

Dengan tingkat signifikansi  $\alpha = 0,05$  maka terdapat sejumlah variabel independen yang diteliti dinyatakan signifikan secara statistik berpengaruh terhadap emisi CO2. Dari 5 variabel yang diteliti, hanya satu variabel saja, yakni RE yang tidak

signifikan secara statistik. Terlihat dari nilai Prob. > 0,05 yang artinya tidak signifikan. Untuk variabel lainnya, seperti GDP; GDP1; NUC; dan FE signifikan secara statistik dengan nilai Prob. < 0,05.

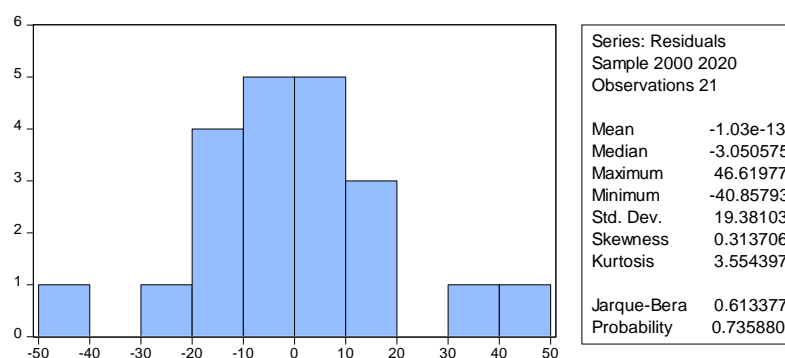
#### 4.4.2 Pengujian Regresi Data *Time Series*

Untuk menguji hipotesis data *time series* mengenai pengaruh konsumsi sejumlah sumber energi terhadap emisi CO2 di Indonesia maka model tersebut harus terbebas dari uji asumsi klasik. Model regresi linear berganda harus lolos uji normalitas data, heteroskedastisitas; multikolinearitas; dan autokorelasi.

##### a. Uji Normalitas Data

Dari pengujian normalitas data (*Jarque-Bera*) menunjukkan nilai Probability dari model sebesar 0.735880. Nilai ini > 0,05 yang artinya data terdistribusi secara merata sehingga dinyatakan lolos uji normalitas data

**Diagram 4.1 Uji Normalitas Data**



Sumber: diolah oleh Peneliti (2021)

##### b. Uji Heterokedastisitas

Hasil pengujian dengan Uji *Glejser* menunjukkan:

**Tabel 4.34 Uji *Glejser***

Dependent Variable: RESABS  
 Method: Least Squares  
 Date: 12/30/21 Time: 20:36  
 Sample: 2000 2020

Included observations: 21  
White-Hinkley (HC1) heteroskedasticity consistent standard errors and covariance

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	6.154304	15.47323	0.397739	0.6958
FE	0.004493	0.162104	0.027714	0.9782
PLTA	-1.459054	5.434007	-0.268504	0.7915
RE	3.842231	2.089204	1.839089	0.0834
R-squared	0.419438	Mean dependent var		14.45377
Adjusted R-squared	0.316986	S.D. dependent var		12.50069
S.E. of regression	10.33116	Akaike info criterion		7.677849
Sum squared resid	1814.457	Schwarz criterion		7.876805
Log likelihood	-76.61741	Hannan-Quinn criter.		7.721027
F-statistic	4.093986	Durbin-Watson stat		2.092369
Prob(F-statistic)	0.023363	Wald F-statistic		3.960689
Prob(Wald F-statistic)	0.026060			

Sumber: diolah oleh peneliti, 2021

Dari hasil Uji *Glejser* menghasilkan nilai t-statistik untuk masing-masing variabel bebas memiliki nilai Prob.> 0,05 yang menunjukkan tidak terjadi heteroskedastisitas atau tercipta kondisi homoskedastis.

#### c. Uji Multikolinearitas

Nilai VIF masing-masing variabel independen rata-rata < 7 yang artinya terbebas dari multikolinearitas. Dimana syarat terbebas dari multikolinearitas ini apabila masing-masing variabelnya independen nilai VIF-nya <10.

**Tabel 4.35 VIF**

Variance Inflation Factors  
Date: 12/30/21 Time: 20:38  
Sample: 2000 2020  
Included observations: 21

Variable	Coefficient Variance	Uncentered VIF	Centered VIF
C	1075.204	102.3024	NA
FE	0.155597	244.2742	6.977334
PLTA	183.2335	126.8097	5.068473
RE	45.85172	23.84452	5.783292

Sumber: diolah oleh peneliti, 2021

Dengan demikian model yang digunakan sudah dinyatakan terbebas dari multikolinieritas atau dinyatakan masing-masing variabel bebas memiliki tingkat hubungan/pengaruh yang relatif rendah.

d. Uji Autokorelasi

Uji ini dengan melihat nilai *Durbin Watson* dari hasil regresi model.

**Tabel 4.36 Uji Autokorelasi**

Dependent Variable: CO2  
 Method: Least Squares  
 Date: 12/30/21 Time: 20:39  
 Sample: 2000 2020  
 Included observations: 21  
 White-Hinkley (HC1) heteroskedasticity consistent standard errors and covariance

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	89.22083	32.79030	2.720952	0.0145
FE	1.956988	0.394458	4.961214	0.0001
PLTA	-14.66823	13.53638	-1.083616	0.2937
RE	24.71918	6.771390	3.650533	0.0020
R-squared	0.963720	Mean dependent var		402.7905
Adjusted R-squared	0.957318	S.D. dependent var		101.7527
S.E. of regression	21.02167	Akaike info criterion		9.098628
Sum squared resid	7512.484	Schwarz criterion		9.297585
Log likelihood	-91.53560	Hannan-Quinn criter.		9.141807
F-statistic	150.5280	<b>Durbin-Watson stat</b>		<b>1.859068</b>
Prob(F-statistic)	0.000000	Wald F-statistic		122.7957
Prob(Wald F-statistic)	0.000000			

Sumber: diolah oleh peneliti, 2021

**Deteksi Autokorelasi Positif**

Jika  $d < dL$  maka terdapat autokorelasi positif,

Jika  $d > dU$  maka **tidak** terdapat autokorelasi positif,

Jika  $dL < d < dU$  maka pengujian tidak meyakinkan atau tidak dapat disimpulkan.

**Deteksi Autokorelasi Negatif:**

Jika  $(4 - d) < dL$  maka terdapat autokorelasi negatif,

Jika  $(4 - d) > dU$  maka **tidak** terdapat autokorelasi negatif,

Jika  $dL < (4 - d) < dU$  maka pengujian tidak meyakinkan atau tidak dapat disimpulkan

Jumlah sampel : 21

Jumlah variabel: 4

*Durbin Watson Statistic* : 1.859068

Nilai  $dL$  : 0.9272 (dari tabel DW)

Nilai  $dU$  : 1.8116 (dari tabel DW)

$$\begin{aligned} \text{Nilai } d &= 4 - d \\ &= 4 - 1.859068 \\ &= 2.140932 \end{aligned}$$

Deteksi Autokorelasi Positif

Nilai  $d$  statistic : 1.859068

Nilai  $dU$  : 1.8116

Artinya  $d > dU$  yang bermakna tidak terdapat autokorelasi positif

Deteksi Autokorelasi Negatif

Nilai  $(4-d)$  : 2.140932

Nilai  $dU$  : 1.8116

Artinya  $4 - d > dU$  yang bermakna tidak terdapat autokorelasi negatif.

Model dinyatakan terbebas dari autokorelasi

e. Intepretasi Model Regresi

Setelah hasil regresi data *time series* dinyatakan bebas dari uji asumsi klasik maka hasil regresi linear berganda tentang pengaruh sejumlah sumber energi terhadap emisi CO2 di Indonesia bisa diintepretasikan.

**Tabel 4.37 Intepretasi Model Regresi *Time Series***

Dependent Variable: CO2  
Method: Least Squares  
Date: 12/30/21 Time: 20:39  
Sample: 2000 2020  
Included observations: 21

White-Hinkley (HC1) heteroskedasticity consistent standard errors and covariance

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	89.22083	32.79030	2.720952	0.0145
FE	1.956988	0.394458	4.961214	0.0001
PLTA	-14.66823	13.53638	-1.083616	0.2937
RE	24.71918	6.771390	3.650533	0.0020
R-squared	0.963720	Mean dependent var		402.7905
Adjusted R-squared	0.957318	S.D. dependent var		101.7527
S.E. of regression	21.02167	Akaike info criterion		9.098628
Sum squared resid	7512.484	Schwarz criterion		9.297585
Log likelihood	-91.53560	Hannan-Quinn criter.		9.141807
F-statistic	150.5280	Durbin-Watson stat		1.859068
Prob(F-statistic)	0.000000	Wald F-statistic		122.7957
Prob(Wald F-statistic)	0.000000			

Sumber: diolah oleh peneliti, 2021

Dengan tingkat signifikansi  $\alpha = 0,05$  maka terdapat sejumlah variabel independen yang diteliti dinyatakan signifikan secara statistik berpengaruh terhadap emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia. Dari 3 variabel independen yang diteliti, hanya satu variabel saja, yakni PLTA yang tidak signifikan secara statistik berpengaruh terhadap emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia. Terlihat dari nilai Prob. > 0,05 yang artinya tidak signifikan. Untuk variabel lainnya, seperti FE dan RE signifikan secara statistik dengan nilai Prob. < 0,05.

#### 4.4.3 Hipotesis Pengujian dalam Pengolahan Data Kuasi Kualitatif dengan Metode QSD

Tabel 4.38 Intepretasi QSD

## Menuju Net Zero Emission 2060 dan Kriteria Pembangunan PLTN di Indonesia

Indikator/Variabel/Header	Riset PLTN	Teknologi PLTN mutakhir	Komitmen nasional	Sosialisasi PLTN	Sinergi BRIN	Kompensasi masyarakat	Kerjasama internasional	Bobot Kepentingan	Prioritas Kepentingan
	Optimalisasi EBT	■	■	●	▲	■	▲		
Regulasi EBT (investasi)	■	■	●	▲	▲	▲	■		
Terminasi PLTU/Fosil-Pembangunan PLTN	▲	■	●	▲	▲	▲	▲		
Penguatan teknologi	■	●	■	▲	■	▲	▲		
Kebijakan politik	■	■	●	■	■	■	■		
Sinergi antarlembaga	▲	▲	▲	▲	●	▲	■		
Komunikasi/sosialisasi	▲	■	▲	●	■	▲	▲		
Diversifikasi energi	▲	▲	▲	▲	●	▲	▲		
Bobot tindakan									
Prioritas tindakan									

Kuat 9 ●  
 Sedang 3 ■  
 Lemah 1 ▲

Sumber: diolah oleh peneliti, 2021

**Tabel 4.39 Penilaian QSD**

## Menuju Net Zero Emission 2060 dan Kriteria Pembangunan PLTN di Indonesia

Indikator/Variabel/Header	Riset PLTN	Teknologi PLTN mutakhir	Komitmen nasional	Sosialisasi PLTN	Sinergi BRIN	Kompensasi masyarakat	Kerjasama internasional	Bobot Kepentingan	Prioritas Kepentingan
	Optimalisasi EBT	3	3	9	1	3	1		
Regulasi EBT (investasi)	3	3	9	1	1	1	3	21	3
Terminasi PLTU/Fosil-Pembangunan PLTN	1	3	9	1	1	1	1	17	
Penguatan teknologi	3	9	3	1	3	1	1	21	3
Kebijakan politik	3	3	9	3	3	3	3	27	1
Sinergi antarlembaga	1	1	1	1	9	1	3	17	
Komunikasi/sosialisasi	1	3	1	9	3	1	1	19	
Diversifikasi energi	1	1	1	1	9	1	1	15	
Bobot tindakan	16	26	42	18	32	10	16		
Prioritas tindakan		3	1		2				

Sumber: diolah oleh peneliti, 2021

Tidak ada hipotesis dalam pengujian data kuasi kualitatif. Dari hasil pengolahan data wawancara yang terkompilasi dalam *header-header* terpilih baik itu dalam kelompok LQS dan TQS maka dihasilkan data penghitungan (kuasi kualitatif) sebagai berikut:

**Tabel 4.40 Prioritas Kepentingan Dalam Menuju NZE 2060 di Indonesia**

Indikator/Variabel/Header	Bobot/Nilai	Prioritas
Kebijakan politik	27	1
Optimalisasi EBT	23	2
Regulasi EBT (investasi)	21	3
Penguatan teknologi	21	3

Sumber: diolah oleh peneliti, 2021

**Tabel 4.41 Prioritas Tindakan Dalam Pembangunan PLTN di Indonesia**

Indikator/Variabel/Header	Bobot/Nilai	Prioritas
Komitmen nasional	42	1
Sinergi BRIN	32	2
Teknologi PLTN mutakhir	26	3

Sumber: diolah oleh peneliti, 2021

## 4.5 Pembahasan

### 4.5.1 Pembahasan Regresi Data Panel

#### 4.5.1.1 Gambaran Umum

Dalam riset ini, peneliti ingin menguji apakah terjadi hipotesis EKC di negara-negara *emerging market* pemilik reaktor PLTN. Selain itu, peneliti ingin melihat pengaruh sejumlah variabel bebas seperti reaktor PLTN (NUC), pengembangan *renewable* energi (RE), dan energi fosil (FE) terhadap emisi GRK (CO<sub>2</sub>) di tiap-tiap negara yang diteliti. Fungsi ekonometrika yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \ln CO_{2it} = & \alpha_i + \beta_0 \ln GDP_{it} + \beta_1 (\ln GDP)_{it}^2 + \beta_2 \ln NUC_{it} + \beta_3 \ln RE_{it} + \beta_4 \\ & \ln FE_{it} + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (4.4)$$

Dimana:

- i = Individu. i = 1,2,3,4.....N. Jumlah negara yang dijadikan sampel
- t = Waktu. t= 1,2,3,4.....T. Data yang digunakan tahun 2000-2019
- $\alpha$  = Konstanta parameter estimasi
- $\beta_0 - \beta_4$  = Koefisien intersep masing variabel
- $\ln CO_{2it}$  = Emisi karbondioksida untuk negara i pada tahun t
- $\ln GDP$  = Pendapatan perkapita nasional untuk negara i pada tahun t
- $(\ln GDP)_{it}^2$  = GDP per kapita kuadrat untuk negara i pada tahun t
- $\ln NUC_{it}$  = Suplai energi nuklir untuk negara i pada tahun t
- $\ln RE_{it}$  = Suplai energi dari sumber EBT untuk negara i pada tahun t

$LnFE_{it}$  = Suplai energi dari sumber fosil (minyak bumi, gas, batubara) untuk negara  $i$  pada tahun  $t$   
 $\varepsilon_{it}$  = Error term

#### Hipotesis Regresi Data Panel

Hipotesis yang diajukan dalam pengujian ekonometrika tersebut adalah:

H1 = Berlakuknya hipotesis EKC di negara-negara yang memiliki reaktor PLTN dengan syarat, jika:

- a.  $\beta_1 < 0$  terjadi hubungan berbentuk U-terbalik
- b.  $\beta_1 > 0$  terjadi hubungan berbentuk U

H2 = Suplai atau produksi energi nuklir berpengaruh signifikan secara negatif terhadap emisi CO2

H3 = Konsumsi energi dari EBT berpengaruh signifikan secara negatif terhadap emisi CO2

H4 = Konsumsi energi fosil berpengaruh signifikan secara positif terhadap emisi CO2

#### 4.5.1.2 Hasil Olahan Regresi Data Panel Metode FEM

**Tabel 4.42 Hasil Regresi Data Panel FEM**

Dependent Variable: CO2?  
 Method: Pooled Least Squares  
 Date: 12/29/21 Time: 21:13  
 Sample: 1 20  
 Included observations: 20  
 Cross-sections included: 6  
 Total pool (balanced) observations: 120

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	1.275572	0.443708	2.874803	0.0049
GDP?	-0.340474	0.144523	-2.355845	0.0203
GDP1?	0.021517	0.008188	2.627727	0.0098
NUC?	-0.057400	0.020528	-2.796174	0.0061
RE?	-0.037014	0.029334	-1.261808	0.2097
FE?	1.239887	0.060448	20.51153	0.0000
Fixed Effects (Cross)				
_BRAZIL--C	0.079471			
_CHINA--C	-0.199454			
_INDIA--C	0.017374			
_MEXICO--C	-0.043632			
_RUSIA--C	-0.199501			
_SOUTHAFRICA--C	0.345742			

Effects Specification			
Cross-section fixed (dummy variables)			
R-squared	0.998524	Mean dependent var	6.923269
Adjusted R-squared	0.998388	S.D. dependent var	1.061324
S.E. of regression	0.042609	Akaike info criterion	-3.386293
Sum squared resid	0.197896	Schwarz criterion	-3.130773
Log likelihood	214.1776	Hannan-Quinn criter.	-3.282525
F-statistic	7372.080	Durbin-Watson stat	0.831015
Prob(F-statistic)	0.000000		

Sumber: diolah oleh peneliti, 2021

Dari hasil regresi menunjukkan sejumlah fenomena data:

- 1) Nilai R-square menunjukkan besaran 0,998 yang artinya model yang digunakan untuk melihat pengaruh variabel bebas (GDP, GDP1, NUC, RE, dan FE) terhadap besaran emisi GRK (CO<sub>2</sub>) di setiap negara yang diteliti mendekati angka 1. Sekitar 99,6 persen ( $0,998^2 \cdot 100$ ) emisi CO<sub>2</sub> di negara *emerging market* dapat dijelaskan oleh pendapatan per kapita, produksi energi nuklir (PLTN), konsumsi energi dari EBT, dan konsumsi energi fosil. Sisanya, sekitar 0,03 persen dijelaskan oleh faktor lain di luar variabel-variabel yang diteliti. Hal ini menunjukkan bahwa garis regresi yang terestimasi memiliki ukuran yang sangat dekat dengan data sesungguhnya. Variabel-variabel yang digunakan menunjukkan persamaan model yang relatif sangat baik. Variabel dependen (CO<sub>2</sub>) hampir secara keseluruhan dapat diterangkan oleh variabel-variabel independen.
- 2) Nilai Prob (F-statistik) signifikan = 0.000 yang artinya variabel dependen secara bersama-sama berpengaruh signifikan terhadap emisi GRK (CO<sub>2</sub>).
- 3) Uji t memiliki nilai signifikansi  $t < 0,05$ . Artinya, H<sub>0</sub> ditolak sehingga H<sub>1</sub> (alternatif/hipotesis) dari salah satu variabel bebas berpengaruh signifikan terhadap variabel dependen. Sebaliknya, apabila nilai signifikansi t-hitung  $> 0,05$ , maka H<sub>0</sub>

diterima sehingga menandakan tidak ada pengaruh antara satu variabel independen terhadap variabel dependen yang diteliti. Secara terinci dijelaskan di bawah ini.

- 4) Dari 5 variabel independen yang diuji dalam persamaan model ini terdapat 4 variabel saja yang memiliki nilai t-hitung  $< 0,05$ . Variabel tersebut adalah GDP, GDP1, NUC (produksi energi nuklir) dan variabel FE (konsumsi energi fosil).

a) GDP memiliki koefisien (*slope*) yang negatif menandakan bahwa setiap individu masyarakat di negara yang diteliti rata-rata memiliki kesadaran terhadap lingkungan. Setiap kenaikan pendapatan per kapita penduduk berpengaruh signifikan terhadap upaya reduksi emisi di negara bersangkutan. *Slope* GDP sebesar (-0.340474) artinya setiap penambahan pendapatan per kapita senilai 1 (satu) dollar AS maka akan mereduksi emisi CO<sub>2</sub> sebesar LN 0.340474 MTCO<sub>2e</sub>. Angka LN 0.340474 ini lalu dikembalikan ke fungsi anti *log natural*-nya dengan rumus “=EXP” pada excel sehingga menghasilkan angka 1.405613694. Angka inilah yang kemudian diinterpretasikan bahwa **setiap penambahan pendapatan per kapita 1 dollar AS seluruh penduduk negara yang diteliti maka akan mereduksi emisi CO<sub>2</sub> sebesar 1.405613694 MTCO<sub>2e</sub>.**

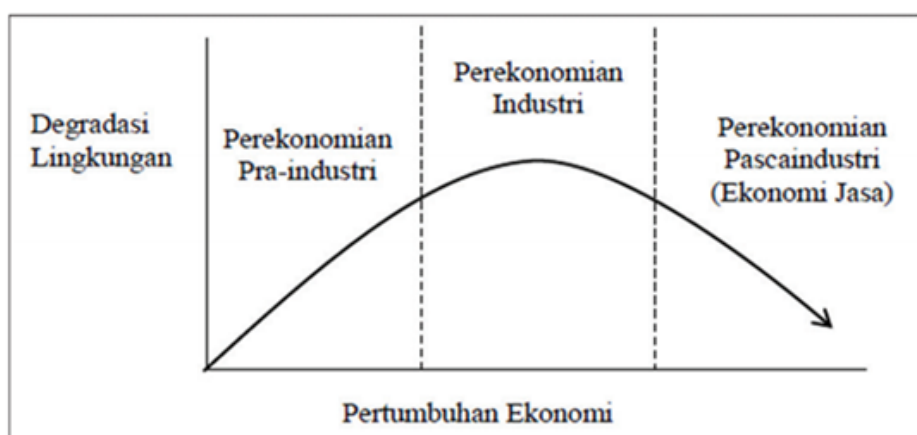
- b) GDP1 memiliki koefisien (*slope*) yang positif menunjukkan bahwa **hipotesa EKC di negara yang diteliti tidak atau belum terjadi.**

$\beta_1 > 0$  terjadi hubungan berbentuk U

Nilai koefisien  $\beta_1 > 0$  menunjukkan bahwa negara-negara yang diteliti sebagian besar pendapatan ekonominya masih berasal dari sektor Industri. Belum bergeser pada sektor ekonomi yang lebih tinggi, yakni

sektor jasa. Meskipun demikian kesadaran masyarakat untuk peduli terhadap lingkungan semakin baik, ditandai dengan koefisien variabel GDP signifikan bernotasi negatif.

**Gambar 4.1 Kurva Kuznets**



- c) NUC memiliki koefisien (*slope*) yang negatif yang menandakan berpengaruh terhadap reduksi emisi GRK. *Slope* NUC sebesar  $(-0,057400)$  artinya setiap penambahan kapasitas produksi energi nuklir setara 1 MTOE maka akan mereduksi emisi CO<sub>2</sub> sebesar LN 0,057400 MTCO<sub>2</sub>e. Anti *log natural* dari bilangan ini adalah 1.059079357. Angka inilah yang kemudian diinterpretasikan bahwa setiap penambahan kapasitas produksi energi nuklir setara 1 MTOE maka akan mereduksi emisi CO<sub>2</sub> sebesar 1.059079357 MTCO<sub>2</sub>e. Bila disetarakan dengan satuan energi listrik maka **1 kWh yang dihasilkan energi nuklir mampu mereduksi emisi CO<sub>2</sub>e sebesar 91.06443 gram.**
- d) FE memiliki *slope* positif yang berarti berdampak positif bagi peningkatan emisi CO<sub>2</sub>. *Slope* FE sebesar 1.239887 artinya setiap penambahan konsumsi energi

fosil yang berasal dari minyak, gas alam, dan batubara setara 1 MTOE akan menambah jumlah emisi karbon CO<sub>2</sub>e sebesar LN 1,239887 MTOE. Anti *log natural* dari bilangan ini adalah 3.455223. Bila diinterpretasikan maka 1 MTOE energi fosil yang dikonsumsi akan menghasilkan 3.455223 MTCO<sub>2</sub>e. Bila disetarakan dengan satuan energi listrik maka **1 kWh yang dihasilkan dari energi fosil maka akan menambah buangan emisi CO<sub>2</sub>e sebesar 297,0957 gram.**

- e) Angka interpretasi data dari model ekonometrika (*top to down*) relatif berbeda dengan hasil penghitungan teknis dengan metode *down to top*. Hal ini dikarenakan dalam penghitungan ekonometrika bersifat makro dan bukan teknis yang sangat spesifik. Penghitungan makro tidak mempertimbangkan penggunaan teknologi dan jumlah buangan emisi CO<sub>2</sub> yang spesifik untuk masing-masing jenis energi.
- 5) Untuk variabel yang tidak signifikan dari model ini adalah variabel *renewable energy* (RE). Untuk variabel RE atau konsumsi energi dari EBT di sejumlah negara tersebut tidak signifikan secara statistik menandakan bahwa produksi EBT yang dihasilkan saat ini belum mampu mengurangi emisi secara signifikan. Salah satu alasannya, kuantitas sumber energi EBT yang relatif masih kecil membuat reduksi emisi EBT tidak mampu mengalahkan suplai emisi yang besar dari energi fosil. Selain itu, EBT itu sendiri ternyata juga menghasilkan emisi dalam proses produksinya sehingga tetap menghasilkan emisi secara bervariasi tergantung jenis EBT-nya. Ada sejumlah EBT yang menghasilkan paparan emisi yang relatif besar seperti contohnya bahan bakar nabati (BBN).

Meskipun demikian, dalam jangka panjang EBT tersebut tetap berpengaruh positif bagi lingkungan karena memiliki tanda koefisien negatif yang bersifat mereduksi. Hanya saja, perlu peningkatan skala *output* yang lebih besar lagi sehingga dapat berdampak signifikan secara statistik dalam mengurangi dampak emisi GRK.

#### 6) Intepretasi Data Panel

Dalam riset ini, peneliti menggunakan alat analisa regresi data panel dengan metode terpilih adalah *fixed effect model* (FEM). Metode ini menghasilkan *output* berupa *slope* yang konstan, tetapi *intersep* masing-masing individu yang diteliti berbeda-beda.

#### 7) Dalam penelitian ini terdapat empat variabel yang berpengaruh secara signifikan terhadap variabel dependennya. Ada variabel GDP, GDP1, NUC, dan FE. Variabel-variabel tersebut memiliki *intersep* yang konstan dengan *slope* yang berbeda-beda untuk setiap negara yang diteliti. Persamaannya dapat ditulis seperti di bawah ini:

Estimation Command:

```
=====
LS(CX=F) CO2? GDP? GDP1? NUC? RE? FE? (4.5)
```

Estimation Equations:

```
=====
CO2_BRAZIL = C(7) + C(1) + C(2)*GDP_BRAZIL + C(3)*GDP1_BRAZIL +
C(4)*NUC_BRAZIL + C(5)*RE_BRAZIL + C(6)*FE_BRAZIL
```

```
CO2_CHINA = C(8) + C(1) + C(2)*GDP_CHINA + C(3)*GDP1_CHINA +
C(4)*NUC_CHINA + C(5)*RE_CHINA + C(6)*FE_CHINA
```

```
CO2_INDIA = C(9) + C(1) + C(2)*GDP_INDIA + C(3)*GDP1_INDIA +
C(4)*NUC_INDIA + C(5)*RE_INDIA + C(6)*FE_INDIA
```

```
CO2_MEXICO = C(10) + C(1) + C(2)*GDP_MEXICO + C(3)*GDP1_MEXICO +
C(4)*NUC_MEXICO + C(5)*RE_MEXICO + C(6)*FE_MEXICO
```

```
CO2_RUSIA = C(11) + C(1) + C(2)*GDP_RUSIA + C(3)*GDP1_RUSIA +
C(4)*NUC_RUSIA + C(5)*RE_RUSIA + C(6)*FE_RUSIA
```

```
CO2_SOUTHAFRICA = C(12) + C(1) + C(2)*GDP_SOUTHAFRICA +
C(3)*GDP1_SOUTHAFRICA + (4)*NUC_SOUTHAFRICA +
C(5)*RE_SOUTHAFRICA + C(6)*FE_SOUTHAFRICA
```

Namun, karena ada satu variabel (RE) yang tidak signifikan terhadap variabel dependen, maka persamaan model di setiap negara dituliskan seperti di bawah ini:

Substituted Coefficients: (4.6)

$$\begin{aligned} & \text{CO2\_BRAZIL} = 0.0794706592655 + 1.27557189439 - \\ & \quad 0.340474349614 * \text{GDP\_BRAZIL} + 0.0215170868927 * \text{GDP1\_BRAZIL} - \\ & \quad 0.0574000277097 * \text{NUC\_BRAZIL} + 1.23988741997 * \text{FE\_BRAZIL} \\ \\ & \text{CO2\_CHINA} = -0.199453897592 + 1.27557189439 - \\ & \quad 0.340474349614 * \text{GDP\_CHINA} + 0.0215170868927 * \text{GDP1\_CHINA} - \\ & \quad 0.0574000277097 * \text{NUC\_CHINA} + 1.23988741997 * \text{FE\_CHINA} \\ \\ & \text{CO2\_INDIA} = 0.0173737812223 + 1.27557189439 - \\ & \quad 0.340474349614 * \text{GDP\_INDIA} + 0.0215170868927 * \text{GDP1\_INDIA} - \\ & \quad 0.0574000277097 * \text{NUC\_INDIA} + 1.23988741997 * \text{FE\_INDIA} \\ \\ & \text{CO2\_MEXICO} = -0.0436316838037 + 1.27557189439 - \\ & \quad 0.340474349614 * \text{GDP\_MEXICO} + 0.0215170868927 * \text{GDP1\_MEXICO} - \\ & \quad 0.0574000277097 * \text{NUC\_MEXICO} + 1.23988741997 * \text{FE\_MEXICO} \\ \\ & \text{CO2\_RUSIA} = -0.199500629764 + 1.27557189439 - \\ & \quad 0.340474349614 * \text{GDP\_RUSIA} + 0.0215170868927 * \text{GDP1\_RUSIA} - \\ & \quad 0.0574000277097 * \text{NUC\_RUSIA} + 1.23988741997 * \text{FE\_RUSIA} \\ \\ & \text{CO2\_SOUTHAFRICA} = 0.345741770672 + 1.27557189439 - \\ & \quad 0.340474349614 * \text{GDP\_SOUTHAFRICA} + \\ & \quad 0.0215170868927 * \text{GDP1\_SOUTHAFRICA} - \\ & \quad 0.0574000277097 * \text{NUC\_SOUTHAFRICA} + \\ & \quad 1.23988741997 * \text{FE\_SOUTHAFRICA} \end{aligned}$$

**Tabel 4.43 Persamaan Regresi Data Panel (*Intersep dan Slope Dalam Bentuk Log Natural*)**

Negara	C	C (setiap negara)	Koef GDP	GDP*	Koef GDP1	GDP1*	Koef NUC	NUC*	Koef FE	FE*
Brazil	1.275572	0.079470659	-0.34047	1	0.021517	1	-0.0574	1	1.239887	1
China	1.275572	-0.199453898	-0.34047	1	0.021517	1	-0.0574	1	1.239887	1
India	1.275572	0.017373781	-0.34047	1	0.021517	1	-0.0574	1	1.239887	1
Mexico	1.275572	-0.043631684	-0.34047	1	0.021517	1	-0.0574	1	1.239887	1
Rusia	1.275572	-0.19950063	-0.34047	1	0.021517	1	-0.0574	1	1.239887	1
SouthAfrica	1.275572	0.345741771	-0.34047	1	0.021517	1	-0.0574	1	1.239887	1

\*) Dikalikan dengan satu satuan variabel yang digunakan dalam model

Sumber: diolah oleh Peneliti, 2021

**Tabel 4.44 Persamaan Regresi Data Panel (*Intersep dan Slope Sudah Dalam Bentuk Anti Log Natural*)**

Negara	C	C	Koef	GDP*	Koef	GDP1*	Koef	NUC*	Koef	FE*
		(setiap negara)	GDP		GDP1		NUC		FE	
Brazil	3.580749	1.082713791	-1.40561	1	1.02175	1	-1.05908	1	3.455224	1
China	3.580749	-1.220735929	-1.40561	1	1.02175	1	-1.05908	1	3.455224	1
India	3.580749	1.017525583	-1.40561	1	1.02175	1	-1.05908	1	3.455224	1
Mexico	3.580749	-1.044597542	-1.40561	1	1.02175	1	-1.05908	1	3.455224	1
Rusia	3.580749	-1.220792978	-1.40561	1	1.02175	1	-1.05908	1	3.455224	1
SouthAfrica	3.580749	1.413037681	-1.40561	1	1.02175	1	-1.05908	1	3.455224	1

\*) Dikalikan dengan satu satuan variabel yang digunakan dalam model. Diasumsikan dalam kondisi *ceteris paribus*

Sumber: diolah oleh Peneliti, 2021

**Tabel 4.45 Intepretasi Model\***

Negara	Penjumlahan	Estimasi
	intersep dan slope	Penambahan emisi (grCO <sub>2</sub> e/KwH)
Brazil	6.675742791	574.01
China	4.372293071	375.95
India	6.610554583	568.41
Mexico	4.548431458	391.09
Rusia	4.372236022	375.94
SouthAfrica	7.006066681	602.41

\*) Dengan asumsi semua variabel yang signifikan bertambah satu satuan dalam kondisi *ceteris paribus*

Sumber: diolah oleh Peneliti, 2021

Dengan menggunakan asumsi dari persamaan tersebut maka dapat diperoleh angka estimasi bahwa semua negara yang diteliti diproyeksikan masih akan mengalami peningkatan emisi CO<sub>2</sub>. Akumulasi nilai model yang bertonasi positif mengindikasikan bahwa emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari energi fosil belum dapat direduksi oleh PLTN dan juga pembangkitan energi dari EBT.

Dari ke-6 negara yang diteliti ada 2 negara yang memiliki tren proyeksi penambahan emisi yang relatif kecil, yakni pada kisaran 375-an gram CO<sub>2</sub>e/kWh. Negara tersebut adalah Rusia dan China. Kedua negara ini relatif cukup besar menggunakan sumber tenaga listrik dalam akumulasi konsumsi energi akhirnya. Kedua negara ini masing-masing sekitar 32 persen kebutuhan energi akhirnya bersumber dari listrik.

Meskipun sumber pembangkit energi listriknya sebagian besar masih mengandalkan energi fosil, tetapi kedua negara ini juga mengembangkan reaktor PLTN yang sangat masif. Rusia hampir 20 persen suplai energi listriknya berasal dari nuklir dan China sekitar 5 persennya juga mengandalkan nuklir.

**Tabel 4.46 Konsumsi Energi Berdasarkan Source/Sumber (persen)**

Negara	Coal	Oil products	Natural gas	Electricity	EBT
Brazil	3.19	43.07	5.48	19.43	28.83
Rusia	5.94	25.02	35.38	32.64	1.01
China	27.43	25.92	8.55	32.11	5.98
Meksiko	2.17	59.77	10.63	20.80	6.64
India	16.97	33.02	5.45	17.90	26.66
Afrika Selatan	25.95	39.36	2.76	23.29	8.64

Sumber: IEA

Sumber: diolah oleh Peneliti, 2021

**Tabel 4.47 Sumber Energi Pembangkit Listrik Tahun 2020 (persen)**

Negara	Coal	Oil products	Natural gas	Nuclear	Hydro	EBT
Brazil	2.82	1.73	8.61	2.26	63.80	20.78
Rusia	16.20	0.75	42.83	19.89	19.74	0.59
China	64.13	0.14	2.80	4.70	17.12	11.11
Meksiko	2.64	9.93	63.42	3.16	7.81	13.05
India	72.46	0.31	4.24	2.67	10.37	9.96
Afrika Selatan	87.70	0.08		2.29	5.17	4.76

Sumber: IEA

Sumber: diolah oleh Peneliti, 2021

Selain nuklir, kedua negara ini juga mengembangkan sumber energi lainnya dari EBT. China masif mengembangkan PLTA, PLTB, dan solar PV dalam upaya mereduksi emisi. Untuk Rusia, selain nuklir, negara ini lebih mengandalkan pembangkitan dari air untuk mengimbangi dominasi pembangkit fosil yang bersumber dari gas alam. Hal ini juga relatif baik karena emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh PLTG angkanya jauh lebih rendah dari emisi yang dihasilkan oleh PLTU batubara ataupun PLTU cofiring-biomass.

Jadi, kunci untuk menahan laju emisi CO<sub>2</sub> dari kedua negara tersebut adalah meningkatkan konsumsi atau suplai energi akhirnya berbentuk listrik dalam jumlah besar. Selain itu, menyediakan sumber pembangkitan listrik yang rendah emisi. Selain menyediakan pembangkitan dari reaktor PLTN, kedua negara tersebut juga mengembangkan pembangkitan energi yang bersumber dari EBT yang minim emisi. Misalnya saja, PLTA, PLTB, dan Solar PV. Jadi, kolaborasi antara pembangkit nuklir dan EBT sangat penting untuk meredam laju emisi CO<sub>2</sub> di negara bersangkutan.

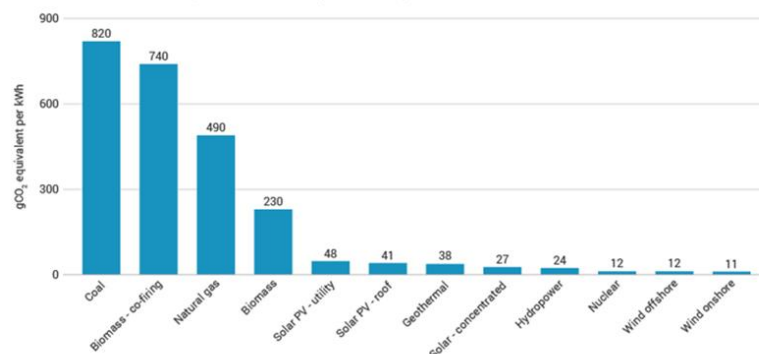
Langkah yang sudah ditempuh oleh China dan Rusia tersebut juga mirip dengan yang dilakukan Meksiko. Negara ini proyeksi emisi CO<sub>2</sub> per kWh-nya juga relatif rendah, yakni pada kisaran 390-an gram. Negara ini memiliki sumber pemanfaatan energi final yang berasal dari listrik juga tergolong besar, yakni hingga 20 persen. Untuk pembangkitan listriknya, negara ini juga sama seperti Rusia dan China yang mayoritas masih mengandalkan energi fosil. Namun, negara ini juga memiliki sumber pembangkitan listrik dari PLTN dan juga EBT. PLTN menyumbang sekitar 3 persen dari seluruh pembangkitan listrik. Untuk EBT negara ini lebih menonjolkan pengembangan solar PV, angin, dan geothermal untuk mengimbangi dominasi elektrifikasi PLTG yang mencapai kisaran 60 persen. Pilihan sumber energi ini turut membantu Meksiko meredam laju emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh energi fosil.

Jadi, selain mengembangkan nuklir, pilihan jenis sumber energi baik itu dari fosil ataupun EBT juga sangat menentukan laju reduksi emisi CO<sub>2</sub> di suatu negara. Contoh konkret lainnya adalah dari India dan Afrika Selatan. Kedua negara ini memiliki sumber energi primer berupa listrik relatif cukup besar dengan proporsi lebih dari 18 persen. Hanya saja, sumber pembangkitan listriknya sebagian besar lebih dari 70 persen disuplai dari energi fosil batubara. Bahkan, di Afrika Selatan kontribusi listrik dari fosil batubara itu mencapai kisaran 87 persen.

## Diagram 4.2 Output Emisi per Jenis Energi

### Nuclear is low-carbon

Nuclear power plants produce no greenhouse gas emissions during operation, and over the course of its life-cycle, nuclear produces about the same amount of carbon dioxide-equivalent emissions per unit of electricity as wind, and one-third of the emissions per unit of electricity when compared with solar.



Average life-cycle carbon dioxide-equivalent emissions for different electricity generators (Source: IPCC)

Sumber: diolah oleh Peneliti, 2021

Menurut *World Nuclear Association*, sumber energi fosil dari batubara merupakan penyumbang emisi CO<sub>2</sub> terbesar di antara seluruh pembangkit energi listrik. Setiap kWh listrik dari pembangkit batubara menghasilkan sekitar 820 gram CO<sub>2</sub>e. Angka emisi CO<sub>2</sub> ini berpuluh-puluh kali lipatnya dari emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh pembangkitan EBT seperti solar PV, geothermal, PLTA, nuklir, dan PLTB.

Jadi, besarnya laju emisi di India dan Afrika Selatan itu dikarenakan suplai energi yang berasal dari non fosil masih belum mampu mengimbangi atau mereduksi output emisi CO<sub>2</sub> yang berasal dari pembangkitan energi fosil. Reduksi emisi dari PLTN dan EBT tidak sebanding dengan besarnya tambahan emisi CO<sub>2</sub> dari sumber energi fosil. Hal ini kian memperbesar peluang polutan CO<sub>2</sub> dalam memberikan andil emisi GRK di kedua negara itu.

Selain India dan Afrika Selatan, negara lainnya dalam riset ini yang diproyeksikan memiliki laju emisi CO<sub>2</sub> yang besar hingga di atas 500 gram per kWh adalah Brazil. Negara ini sangat unik, karena bila dilihat dari deskripsi datanya, sebagian besar konsumsi energi final dan juga sumber energi elektrifikasinya sudah mengandalkan EBT. Namun, bila ditelisik lebih jauh lagi, ternyata sumber utama pendorong emisi GRK di Brazil salah

satunya adalah dari kelompok EBT itu. Terutama EBT yang berupa biofuel atau bahan bakar nabati. Brazil yang identik sebagai salah satu negara produsen bioetanol dan juga biodiesel terbesar di dunia belum dapat meminimalkan dampak emisi CO<sub>2</sub> yang berasal dari biofuel tersebut.

Pembangkit nuklir dan juga PLTA yang menyuplai hingga lebih dari 60 persen kebutuhan listrik di Brazil pun tidak mampu untuk meredam laju emisi yang dihasilkan oleh biofuel andalan Brazil tersebut. Apalagi, berdasarkan data dari *World Nuclear Association*, emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan biomass itu sekitar 230 gram CO<sub>2</sub>e per kWh. Jumlahnya meningkat lebih besar lagi jika digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik cofiring biomass. Nilai emisinya mencapai 740 gram CO<sub>2</sub>e per kWh atau tidak terpaut jauh dengan emisi dari batubara yang sekitar 820 gram CO<sub>2</sub>e per kWh.

Oleh sebab itu, berdasarkan analisa dari berbagai negara yang diteliti tersebut maka untuk mereduksi atau meredam laju emisi CO<sub>2</sub>, setiap negara perlu untuk mempertimbangkan pengembangan reaktor PLTN. Reaktor nuklir secara statistik terbukti signifikan mereduksi emisi. Meskipun secara persentase jumlah kapasitas kecil, ternyata PLTN merupakan salah satu pembangkit yang bisa diandalkan dalam mereduksi emisi CO<sub>2</sub>. Berbeda dengan EBT yang memerlukan kapasitas atau kuantitas dalam jumlah besar agar mampu mereduksi emisi secara signifikan.

Salah satu hal yang menjadikan PLTN lebih unggul dalam mereduksi emisi CO<sub>2</sub> dibandingkan EBT adalah kapasitas faktor reaktor PLTN yang sangat besar. Kapasitas faktor adalah perbandingan antara produksi energi listrik suatu pembangkit dengan kapasitas maksimum produksi energi listrik dari pembangkit tersebut dalam suatu rentang waktu tertentu.

Berdasarkan data dari IEA, kapasitas faktor tertinggi di sejumlah negara diduduki oleh PLTN. Penelitian di Amerika, Uni Eropa, China, dan Brazil menunjukkan bahwa kapasitas faktor PLTN rata-rata mencapai lebih dari 70 persen. Untuk pembangkitan dari EBT rata-rata kapasitas faktornya

di bawah 40 persen. Kondisi ini menyebabkan EBT relatif kurang andal bila dibandingkan dengan PLTN

**Tabel 4.48 Kapasitas Faktor Sejumlah Pembangkitan Listrik tahun 2020**

Jenis Pembangkit	Kapasitas Faktor (persen)			
	China	India	Uni Eropa	Amerika
Nuklir	80	70	75	90
Batubara	60	50	20	20
Gas CCGT	45	55	40	55
Solar PV	17	20	13	21
Wind onshore	26	26	29	42
Wind offshore	34	32	51	42

CCGT: combine cycle gas turbine

Sumber: IEA, 2020

Oleh sebab itu, untuk mereduksi emisi CO<sub>2</sub> secara akseleratif perlu mempertimbangkan untuk pengembangan PLTN dan sekaligus mereduksi pembangkit fosil secara bertahap. Selain itu, juga perlu mempertimbangkan pilihan sumber EBT yang tepat agar emisi dapat ditekan lebih rendah lagi. EBT yang masih menghasilkan emisi yang relatif besar sebaiknya dikurangi atau diganti dengan jenis EBT lainnya yang lebih rendah *output* emisi GRK-nya. Misalnya saja seperti PLTS, PLTP, PLTA, dan PLTB yang nilai emisi CO<sub>2</sub>-nya tidak lebih dari 50 gram per kWh. Nuklir dan EBT harus berjalan beringan tanpa mendiskreditkan salah satunya.

Komisi Ekonomi Perserikatan Bangsa-Bangsa untuk Eropa (UNECE) telah merilis sebuah dokumen yang menyatakan bahwa tenaga nuklir dapat membantu mewujudkan Perjanjian Paris dan Agenda tahun 2030 untuk mendukung pembangunan berkelanjutan. Tenaga nuklir merupakan sumber energi listrik rendah karbon yang berkontribusi penting dalam mencegah dampak perubahan iklim.

## 4.5.2 Pembahasan Regresi Linear Data *Time Series*

### 4.5.2.1 Gambaran Umum

Dalam riset ini, peneliti ingin melihat pengaruh sejumlah variabel sumber energi terhadap emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia. Fungsi ekonometrika yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

$$\text{CO}_2 = \alpha + \beta_1 \text{FE} + \beta_2 \text{PLTA} + \beta_3 \text{RE} \quad (4.7)$$

$$\text{CO}_2 = f(\text{FE}, \text{PLTA}, \text{RE}) \quad (4.8)$$

Dimana:

$\alpha$  = Konstanta/*intersep*

$\beta_{1-3}$  = Koefisien/*slope*

CO<sub>2</sub> = Emisi karbondioksida

FE = Konsumsi energi dari sumber fosil (minyak bumi, gas, dan batubara)

PLTA = Konsumsi Energi dari PLTA

RE = Konsumsi energi dari sumber EBT

### Hipotesis Regresi Data *Time Series*

Hipotesis yang diajukan dalam pengujian ini adalah:

H1 = Konsumsi energi dari sumber fosil (FE) berpengaruh signifikan secara positif terhadap emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia

H2 = Konsumsi energi dari air (PLTA) berpengaruh signifikan secara negatif terhadap emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia

H3 = Konsumsi energi dari EBT berpengaruh signifikan secara negatif terhadap emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia

Uji "t" parsial dalam analisis regresi:

- 1) Jika nilai signifikansi (Sig). < probabilitas 0,05 maka ada pengaruh variabel bebas (FE, PLTA, atau RE) terhadap variabel terikat (CO<sub>2</sub>). Hipotesis penelitian diterima (H1 atau H alternatif penelitian diterima).
- 2) Jika nilai signifikansi (Sig). > probabilitas 0,05 maka ada tidak pengaruh variabel bebas (FE, PLTA, atau RE) terhadap variabel terikat (CO<sub>2</sub>). Hipotesis penelitian ditolak (H0 diterima).

#### 4.5.2.2 Hasil Olahan Regresi Berganda Data *Time Series*

**Tabel 4.49 Regresi Berganda Data *Time Series***

Dependent Variable: CO2  
 Method: Least Squares  
 Date: 12/30/21 Time: 20:39  
 Sample: 2000 2020  
 Included observations: 21  
 White-Hinkley (HC1) heteroskedasticity consistent standard errors and covariance

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	89.22083	32.79030	2.720952	0.0145
FE	1.956988	0.394458	4.961214	0.0001
PLTA	-14.66823	13.53638	-1.083616	0.2937
RE	24.71918	6.771390	3.650533	0.0020
R-squared	0.963720	Mean dependent var		402.7905
Adjusted R-squared	0.957318	S.D. dependent var		101.7527
S.E. of regression	21.02167	Akaike info criterion		9.098628
Sum squared resid	7512.484	Schwarz criterion		9.297585
Log likelihood	-91.53560	Hannan-Quinn criter.		9.141807
F-statistic	150.5280	Durbin-Watson stat		1.859068
Prob(F-statistic)	0.000000	Wald F-statistic		122.7957
Prob(Wald F-statistic)	0.000000			

Sumber: diolah oleh peneliti, 2021

Dari hasil regresi menunjukkan sejumlah fenomena data:

- 1) Nilai R-square menunjukkan besaran 0,963 yang artinya model yang digunakan untuk melihat pengaruh variabel bebas (FE, PLTA, dan RE) terhadap besaran emisi GRK (CO<sub>2</sub>) di Indonesia mendekati angka 1. Sekitar 92,7 persen ( $0,963^2 \times 100$ ) emisi CO<sub>2</sub> di Indonesia dapat dijelaskan oleh konsumsi energi dari fosil, PLTA, dan EBT. Sisanya, sekitar 6,3 persen dijelaskan oleh faktor lain di luar variabel-variabel yang diteliti. Hal ini menunjukkan bahwa garis regresi yang terestimasi memiliki ukuran yang relatif dekat dengan data sesungguhnya. Variabel-variabel yang digunakan menunjukkan persamaan model yang relatif baik. Variabel dependen (CO<sub>2</sub>) hampir secara keseluruhan dapat diterangkan oleh variabel-variabel independen.

- 3) Nilai Prob (F-statistik) signifikan = 0.000 yang artinya variabel dependen secara bersama-sama berpengaruh signifikan terhadap emisi GRK (CO<sub>2</sub>).
- 4) Dari 3 variabel independen yang diuji dalam persamaan model ini terdapat 2 variabel saja yang memiliki nilai t-hitung < 0,05. Variabel tersebut adalah FE dan RE. Untuk variabel yang tidak signifikan dari model ini adalah variabel PLTA.
- 5) Estimasi:
  - a) FE memiliki koefisien (*slope*) yang positif menandakan bahwa setiap penambahan konsumsi energi fosil akan meningkatkan jumlah emisi CO<sub>2</sub>. *Slope* FE sebesar 1.956988 artinya setiap penambahan konsumsi energi fosil sebesar 1 MTOE maka akan menambah buangan emisi ke lingkungan sebesar 1,957 MTCO<sub>2e</sub>. Bila disetarakan dengan satuan energi listrik maka 1 kWh yang dihasilkan dari energi fosil akan menghasilkan beban emisi ke lingkungan sebesar 168.2707 gram CO<sub>2e</sub>.
  - b) RE memiliki koefisien (*slope*) yang positif menandakan bahwa setiap penambahan konsumsi energi fosil akan meningkatkan jumlah emisi CO<sub>2</sub>. *Slope* RE sebesar 24.71918 yang berarti setiap penambahan konsumsi energi dari REI sebesar 1 MTOE maka akan menambah buangan emisi ke lingkungan sebesar 24,719 MTCO<sub>2e</sub>. Bila disetarakan dengan satuan energi listrik maka 1 kWh yang dihasilkan dari EBT (RE) akan menghasilkan beban emisi ke lingkungan sebesar 2.125,467 gram CO<sub>2e</sub>.
  - c) Untuk variabel PLTA tidak signifikan secara statistika. Namun, sumber energi ini apabila kapasitasnya ditingkatkan maka berpeluang besar mereduksi emisi

CO<sub>2</sub> di Indonesia. Indikasinya terlihat dari nilai *slope* yang negatif. Perlu kuantitas yang lebih banyak lagi agar variabel PLTA dapat berpengaruh signifikan dalam mereduksi emisi CO<sub>2</sub>.

- d) Angka interpretasi data dari model ekonometrika (*top to down*) relatif berbeda dengan hasil penghitungan teknis dengan metode *down to top*. Hal ini dikarenakan dalam penghitungan ekonometrika bersifat makro dan bukan teknis yang sangat spesifik. Penghitungan makro tidak mempertimbangkan penggunaan teknologi dan jumlah buangan emisi CO<sub>2</sub> yang spesifik untuk masing-masing jenis energi.
- 6) Dalam penelitian ini terdapat dua variabel yang berpengaruh secara signifikan terhadap variabel dependennya. Ada variabel FE dan RE. Persamaan regresinya dapat ditulis seperti di bawah ini:

Estimation Equation:

$$\text{CO}_2 = C(1) + C(2)*\text{FE} + C(3)*\text{PLTA} + C(4)*\text{RE} \quad (4.9)$$

Namun, karena ada satu variabel (PLTA) yang tidak signifikan terhadap variabel dependen, maka persamaan model dituliskan seperti di bawah ini:

Substituted Coefficients:

$$\text{CO}_2 = 89.2208349872 + 1.95698819678*\text{FE} + 24.7191813656*\text{RE} \quad (4.10)$$

**Tabel 4.50 Persamaan Regresi Berganda Data *Time Series***

Negara	C	Koef FE	FE*	Koef RE	RE*
Indonesia	89.22083	1.956988	1	24.71918	1

\*) Dikalikan dengan satu satuan variabel yang digunakan dalam model. Diasumsikan dalam kondisi *ceteris paribus*

Sumber: diolah oleh peneliti, 2021

Tabel 4.51 Interpretasi Model

Negara	Penjumlahan <i>intersep</i> dan <i>slope</i>	Estimasi* Penambahan Emisi (grCO <sub>2e</sub> /kWh)
Indonesia	115.897	9,965.35

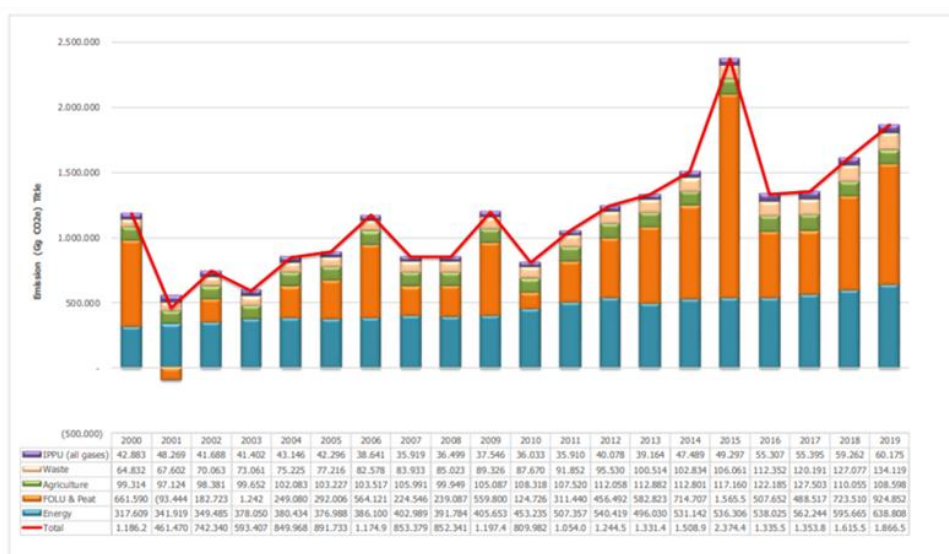
\*) Dengan asumsi semua variabel yang signifikan bertambah satu satuan dalam kondisi *ceteris paribus*

Sumber: diolah oleh peneliti, 2021

Dengan persamaan model regresi linear berganda tersebut menunjukkan jika dalam kondisi *ceteris paribus* (faktor-faktor lainnya dianggap tetap/sama) jumlah emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan sektor energi akan terus meningkat secara signifikan. Diperkirakan setiap konsumsi energi secara akumulatif setara 1 kWh listrik akan menghasilkan buangan emisi CO<sub>2</sub> sekitar 9,96 kilogram. *Output* emisi GRK di Indonesia ini sangatlah besar.

Bila merunut data dari Kementerian Lingkungan Hidup, tingginya emisi CO<sub>2</sub> sektor EBT di Indonesia itu kemungkinan besar berhubungan dengan emisi GRK yang dihasilkan oleh sektor *forestry and other land use* (FOLU). Pada tahun 2000-2020, dari 5 sektor penyumbang emisi GRK di Indonesia, sektor FOLU dan energi selang-seling selalu menjadi kontributor terbesarnya.

Diagram 4.3 Profil emisi GRK selama periode 2000-2019



Sumber: KLHK, 2020

Menurut Laporan dari Kementerian Lingkungan Hidup (KLHK), Kecenderungan setiap tahun sektor kehutanan dan kebakaran gambut (FOLU) serta sektor energi merupakan sektor penyumbang emisi yang dominan terhadap emisi GRK Nasional yang cenderung melebihi 50 persen dari total emisi nasional.

**Tabel 4.52 Emisi Sektor Kehutanan dan Penggunaan Lainnya (Gg CO<sub>2</sub>e)**

Tahun	Kategori				Total Emisi
	Peat Fire	Peat Decomposition	Non-Grassland to Grassland	Non-Cropland to Cropland	
2000	161,571	277,655	270,959	391,993	1,102,178
2001	50,885	281,557	66,441	26,380	425,263
2002	301,753	282,588	82,315	42,116	708,772
2003	132,075	283,779	71,627	33,434	520,915
2004	232,018	287,215	99,505	107,069	725,807
2005	258,887	293,525	88,878	82,296	723,586
2006	510,710	299,711	97,079	103,563	1,011,063
2007	62,747	305,412	99,710	163,041	630,910
2008	81,744	310,912	95,679	153,298	641,633
2009	299,920	316,817	124,660	195,125	936,522
2010	51,383	325,789	54,603	45,421	477,196
2011	189,026	336,073	61,566	53,376	640,041
2012	207,050	349,262	73,566	108,068	737,946
2013	205,076	359,863	65,204	186,399	816,542
2014	499,389	342,202	13,676	124,793	980,060
2015	822,736	276,186	27,450	299,107	1,425,479
2016	90,267	383,189	44,990	148,710	667,156
2017	12,512	383,418	62,437	301,322	759,689
2018	121,322	385,600	26,773	445,011	978,706
2019	456,427	398,178	77,806	93,335	1,025,746

Sumber: KLHK, 2020

Bila dipilah-pilah lebih spesifik lagi, penyumbang emisi terbesar di Indonesia sejatinya hingga saat ini berasal dari sektor FOLU. Dari 15 subsektor FOLU, setidaknya ada empat subsektor yang berkontribusi besar terhadap buangan emisi GRK yang besar. Subsektor tersebut adalah *peat fire*, *peat decomposition*, *non-grassland to grassland*, dan *non-cropland to cropland*. Keempat subsektor FOLU ini pada kurun tahun 2000-2019, rata-

rata menyumbang emisi GRK per tahun sekitar 796 juta ton CO<sub>2</sub>e. Angka ini jauh meningkatkan emisi dari kelompok energi yang rata-rata per tahun berkontribusi sekitar 456 juta ton CO<sub>2</sub>.

Besarnya buangan emisi yang berasal dari *peat fire*, *peat decomposition*, *non-grassland to grassland*, dan *non-cropland to cropland* tersebut mengindikasikan terjadinya proses peralihan lahan hutan untuk kepentingan lainnya. Menurut Ari Wibowo, dalam Jural Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan Vol. 7 No. 4. mengatakan bahwa salah satu kawasan hutan dengan tingkat kandungan karbon yang tinggi adalah lahan gambut. Besarnya kandungan karbon pada lahan gambut akan terlepas menjadi emisi apabila lahan gambut tersebut dikonversi, didrainase dan mudah terbakar sehingga memerlukan perhatian khusus dan kebijakan yang tepat untuk menanganinya.

Salah satu kegiatan ekonomi yang masif melakukan peralihan fungsi hutan adalah budidaya perkebunan. Subsektor perkebunan yang paling besar membutuhkan areal tanam dalam proses produksinya adalah kelapa sawit. Berdasarkan data BPS tahun 2020, luas lahan perkebunan kelapa sawit ini menguasai sekitar 88 persen seluruh areal perkebunan besar di seluruh Indonesia. Dalam satu dekade ini, luas lahan tanaman sawit terus meningkat rata-rata sebesar 5,8 persen atau hampir 370 ribu hektar per tahun. Hingga tahun 2020 lalu, luas areal budidaya secara nasional sudah mencapai sekitar 8,8 juta hektar.

**Tabel 4.53 Luas Areal Tanam pada Perkebunan Besar**

Jenis Tanaman	Luas Tanaman Perkebunan Besar Menurut Jenis Tanaman (Ribuan Hektar)										
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Karet	496.7	524.3	519.2	529.9	538.9	545.5	544.9	555.8	435.9	406.8	375.9
Kelapa Sawit	5,161.6	5,349.8	5,995.7	6,108.9	6,332.4	6,724.9	6,462.1	6,685.2	8,507.4	8,559.8	8,854.5
Coklat	92.2	94.3	81.1	79.8	41.3	41.9	42.1	37.1	26.8	18.0	19.1
Kopi	47.6	48.7	47.6	47.6	46.8	46.8	47.8	46.9	42.5	24.1	21.9
Teh	66.3	67.3	65.3	66.4	65.5	61.3	48.2	59.0	52.0	59.8	61.5
Kina	3.0	3.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	-	-	61.5
Tebu	436.6	192.5	194.9	208.7	209.7	217.3	208.2	192.3	179.8	173.9	192.1
Tembakau	3.4	2.9	2.9	3.1	2.5	0.6	0.4	0.1	0.1	0.3	0.1

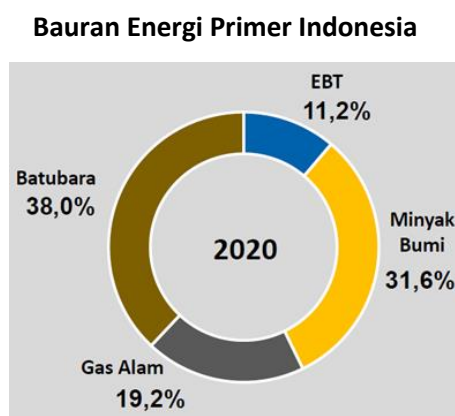
Sumber: BPS, 2021

Tingginya okupansi lahan hutan untuk budidaya kelapa sawit membuat komoditas ini turut dituduh sebagai salah satu penyebab deforestasi di Indonesia. Menurut Ari Wibowo, dalam jurnal “Konversi Hutan Menjadi Tanaman Kelapa Sawit Pada Lahan Gambut: Implikasi Perubahan Iklim dan Kebijakan” menyebutkan bahwa pertumbuhan pesat tanaman sawit akibat dorongan nilai ekonomi dari tanaman tersebut ini seringkali harus dibayar mahal karena bertentangan dengan pelestarian lingkungan. Perluasan pembangunan perkebunan kelapa sawit pada akhirnya akan mengkonversi kawasan hutan untuk dijadikan lahan budidaya.

Akibatnya, semua produk yang dihasilkan oleh kelapa sawit pun akhirnya memiliki muatan dampak emisi GRK yang besar. Pasalnya, akan dikaitkan dengan proses budidaya kelapa sawit yang pada tahap-tahap awal akan mendorong terjadinya alih fungsi lahan hutan (deforestasi) yang menyebabkan dampak emisi CO<sub>2</sub>.

Bila dikaitkan dengan hasil regresi berganda mengenai dampak emisi di Indonesia dalam penelitian ini maka pengaruh positif EBT dalam menyumbang emisi GRK di Indonesia dapat diterima secara ilmiah. Meskipun, secara idealnya konsumsi energi dari EBT itu bersifat mereduksi emisi CO<sub>2</sub> bukan sebaliknya yang justru mendorong peningkatan emisi GRK.

#### Diagram 4.4 Bauran Energi dari EBT di Indonesia



Sumber: Ditjen EBTKE, ESDM

#### Potensi dan Pemanfaatan EBT di Indonesia

ENERGI	POTENSI (GW)	PEMANFAATAN* (MW)
SURYA	3.295	194
HIDRO	95	6.432
BIOENERGI	57	1.923
BAYU	155	154
PANAS BUMI	24	2.186
LAUT	60	0
<b>TOTAL</b>	<b>3.686</b>	<b>10.889</b>

Sumber: Ditjen EBTKE, ESDM

Hingga tahun 2020, bauran energi dari kelompok EBT masih sebesar 11,2 persen. Bila diteliti lebih dalam lagi, EBT yang sudah dimanfaatkan di Indonesia ada beberapa seperti panas bumi, bioenergi, hidro, surya, dan bayu. Dari kelima sumber energi dari EBT ini yang memberikan dampak keluaran emisi CO<sub>2</sub> terbesar adalah bioenergi.

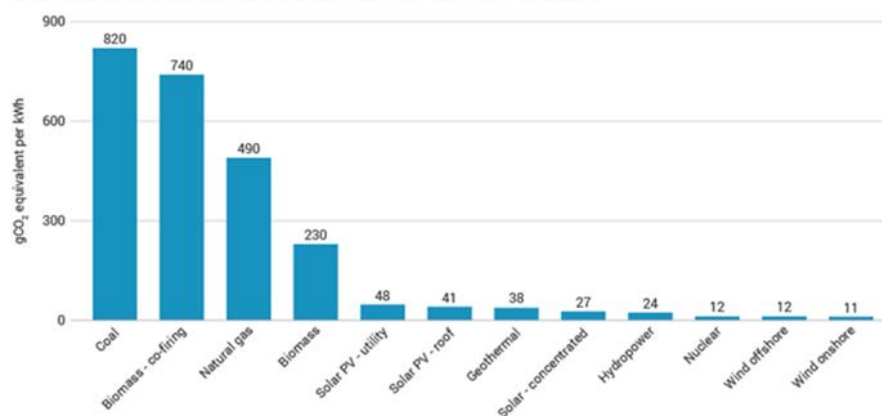
Berdasarkan data dari *World Nuclear Association*, menunjukkan bahwa emisi CO<sub>2</sub> dari kelompok biomass itu sekitar 230 gram CO<sub>2</sub> per kWh. Jadi, emisi yang dihasilkan EBT bioenergi di Indonesia juga berada pada kisaran estimasi itu. Nilai emisi ini jauh lebih banyak dibandingkan emisi yang dihasilkan oleh EBT lainnya seperti hidro, surya, bayu, dan geothermal.

Bila melihat data dari IEA mengenai konsumsi energi final dari tahun 1990-2019 terlihat terjadi transisi konsumsi energi yang cukup signifikan di Indonesia. Pada kurun 1990, konsumsi energi yang besar berasal dari jenis “biofuel and waste”. Pada saat itu jenis energi dari kelompok ini menguasai sekitar 53 persen. Selanjutnya, disusul kelompok energi dari jenis minyak dengan besarn sekitar 31 persen. Untuk jenis energi seperti batubara, gas alam, elektrifikasi pada saat itu relatif masih sedikit yakni masing-masing tingkat konsumsinya kurang dari 8 persen.

#### Diagram 4.5 Emisi GRK dari Berbagai Jenis Sumber Energi

##### Nuclear is low-carbon

Nuclear power plants produce no greenhouse gas emissions during operation, and over the course of its life-cycle, nuclear produces about the same amount of carbon dioxide-equivalent emissions per unit of electricity as wind, and one-third of the emissions per unit of electricity when compared with solar.



Average life-cycle carbon dioxide-equivalent emissions for different electricity generators (Source: IPCC)

Sumber: Nuclear World Association

Seiring waktu, terjadi peralihan konsumsi energi final secara bertahap. Minyak, batubara, gas alam, dan kelistrikan meningkat secara perlahan dan di saat bersamaan jenis energi dari “biofuel dan waste” menurun. Pada tahun 2019, “biofuel dan waste” menyusut drastis menjadi sekitar 15-an persen. Minyak mendominasi konsumsi energi final menjadi sekitar 43 persen. Diikuti batubara sekitar 15 persen, listrik hampir 14 persen, dan gas alam kisaran 10 persen.

**Tabel 4.54 Total Konsumsi Energi Final Berdasarkan Source/Sumber (persen)**

Tahun	Coal	Crude oil	Oil products	Natural gas	Biofuels and waste	Electricity
1990	1.92	2.72	31.67	7.60	53.01	3.07
1995	2.17	1.38	38.60	7.34	46.16	4.34
2000	3.79	1.70	38.23	9.62	41.00	5.67
2005	6.25	1.48	37.79	10.30	37.18	7.00
2010	11.78	2.41	35.25	10.87	31.01	8.68
2015	5.55	0.73	46.34	11.47	24.16	11.74
2019	15.29	1.26	43.47	10.30	15.78	13.90

Sumber: IEA, 2020

Besarnya konsumsi Indonesia pada jenis energi “biofuel dan waste” pada masa silam menyebabkan penghitungan dalam regresi berganda menghasilkan nilai emisi yang besar dari jenis energi dari EBT. Besarnya nilai emisi tersebut memiliki keterkaitan erat dengan degradasi lingkungan yang terjadi pada proses budidaya untuk menghasilkan bioenergi itu.

Salah satu bioenergi yang menjadi andalan Indonesia adalah biodiesel. Komoditas ini memiliki peran yang vital dalam mengurangi ketergantungan Indonesia terhadap impor BBM. Dengan kebijakan mandatori biodiesel B20-B30 untuk sejumlah lini kegiatan ekonomi harapannya impor BBM dapat ditekan sehingga neraca perdagangan sektor migas dapat surplus.

Hanya saja, kebijakan terkait biodiesel ini sebaiknya disertai dengan aturan yang bersifat melindungi kawasan hutan. Pembangunan areal budidaya kelapa sawit seharusnya dialokasikan dan diarahkan pada lahan-lahan terdegradasi di luar lahan gambut yang masih luas di Indonesia.

Hindari perluasan budidaya kelapa sawit yang justru merusak lingkungan karena melakukan praktik deforestasi.

Lahan hutan yang sudah terlanjur dikembangkan menjadi budidaya perkebunan kelapa sawit sebaiknya dikelola dengan baik. Pasalnya, lahan perkebunan kelapa sawit yang sudah berkembang memiliki andil positif dalam reduksi emisi GRK. Data emisi sektor FOLU dari KLHK pada tahun 2000-2019, menunjukkan subsektor *cropland remaining cropland* memberikan andil reduksi emisi GRK per tahun sekitar 34,37 juta ton CO<sub>2</sub>e per tahun. Artinya, lahan perkebunan yang dikelola secara baik juga memiliki sifat reduksi emisi CO<sub>2</sub> selayaknya tanaman hutan. Oleh sebab itu, pemerintah harus tegas dalam mengatur kebijakan terkait budidaya tanaman kelapa sawit. Selain itu, harus konsisten dalam setiap kebijakan yang sudah diputuskan. Kebijakan mandatori biodiesel yang akan terus ditingkatkan kadar bahan bakar nabatinya harus dijalankan secara konsisten dengan tetap mengedepankan prinsip ramah lingkungan.

#### 4.5.3 Pembahasan Pengolahan Data Kuasi Kualitatif Dengan Metode QSD

##### 4.5.3.1 Prioritas Kepentingan Dalam Menuju NZE 2060 di Indonesia

**Tabel 4.55 Prioritas Kepentingan Dalam Menuju NZE 2060 di Indonesia**

<b>Indikator/Variabel/Header</b>	<b>Bobot/Nilai</b>	<b>Prioritas</b>
Kebijakan politik	27	1
Optimalisasi EBT	23	2
Regulasi EBT (investasi)	21	3
Penguatan teknologi	21	3

Dalam menuju *Net Zero Emission* 2060 ada sejumlah prioritas kepentingan yang ditempuh oleh pemerintah Indonesia. Secara berurutan terdiri dari kebijakan politik, optimalisasi EBT, regulasi EBT (investasi), dan penguatan teknologi. Penjelasan lebih lanjut akan dijabarkan di bawah ini:

1) Kebijakan Politik

Kebijakan politik menjadi kunci penting dalam menuju NZE 2060. Politik yang terkait dengan kebijakan ini tidak hanya politik di tingkat nasional, tetapi juga politik di tingkat global. Dengan ikutnya Indonesia dalam kesepakatan “Paris Agreement” dalam “COP 21” maka Indonesia berkomitmen bersama warga dunia untuk bersama-sama mereduksi emisi CO<sub>2</sub>.

Komitmen itu selanjutnya ditindaklanjuti dengan mengesahkan UU No. 16/2016 tentang Paris Agreement. UU ini sebagai payung hukum penting Indonesia dalam rangka melaksanakan sejumlah kebijakan pemerintah terkait upaya reduksi emisi GRK. Selain mengesahkan UU No. 16/2016, pemerintah juga berupaya menerapkan implementasi komitmen global itu dalam bentuk NDC guna mereduksi emisi GRK sebesar 29 persen dengan usaha sendiri pada tahun 2030.

NDC 2030 tersebut juga akan dilanjutkan dengan *long term strategy* (LTS) hingga tahun 2060 untuk mencapai NZE. Pemerintah akan berupaya semaksimal mungkin dengan melibatkan segenap *stakeholder* agar target mencapai NZE dapat tercapai di masa depan. Kebijakan politik yang merupakan hasil keputusan dari para pemangku kebijakan mulai dari level pemerintahan hingga politik akan menjadi panduan penting dalam merumuskan langkah-langkah menuju NZE 2060.

Mendapat dukungan dari sektor politik sangatlah penting karena pemerintah akan mendapatkan setidaknya dukungan dari sisi regulasi dan juga penganggaran. Dengan adanya payung hukum ini maka akan mendorong terciptanya rantai pasok yang mendukung berbagai program terkait rencana

menuju NZE 2060. Dari sisi ekonomi, dengan adanya kepastian regulasi maka para investor akan lebih yakin menanamkan modalnya guna mendukung kebijakan pemerintah sekaligus meraih keuntungan secara bisnis.

## 2) Optimalisasi EBT

EBT akan terus dioptimalkan pemanfaatannya di Indonesia. Pelan tapi pasti EBT akan menjadi sumber energi yang menjadi prioritas untuk diunggulkan dalam penyediaan energi secara nasional.

Kementerian ESDM sudah memiliki tiga target besar yang harus dipenuhi. Dari segi waktu ada target jangka pendek, menengah, dan panjang. Untuk jangka pendek sudah tertuang dalam kebijakan energi nasional (KEN) dimana bauran EBT pada energi primer tahun 2025 harus mencapai 23 persen. Jangka menengah, Indonesia sudah komitmen pada "COP "21 di Paris, untuk menurunkan emisi CO<sub>2</sub> pada tahun 2030 sebesar 29 persen dengan usaha sendiri dan 41 persen dengan bantuan dari pihak luar atau internasional (asing). Target jangka panjang, dalam COP 26 Indonesia menyampaikan akan mencapai *Net Zero Emission* pada tahun 2060. Target jangka panjang ini dapat diraih lebih cepat apabila mendapat dukungan dari dunia internasional.

**Tabel 4.56 Proyeksi Bauran EBT Indonesia**

Tahun	Bauran EBT (persen)
2021	12.9
2022	12.8
2023	13.4
2024	14.4
2025	23
2026	23.1
2027	23.1
2028	23.5

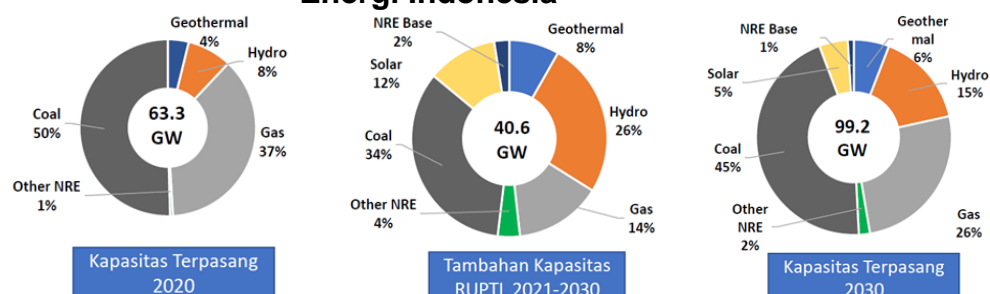
2029	24.2
2030	26,5

Sumber: Ditjen EBTKE, Kementerian ESDM

Untuk jangka pendek, pemerintah akan berusaha mendorong EBT dari PLTS untuk akseleratif meningkat pesat. Hal ini dikarenakan potensi PLTS di Indonesia sangatlah besar dan proses instalasinya cepat. Selain itu, secara harga, PLTS sekarang relatif sudah kompetitif atau cukup murah. Jadi, target bauran energi sebesar 23 persen pada tahun 2025 optimis dapat terpenuhi.

Dalam jangka menengah menuju NDC 2030, pemerintah sudah menyiapkan skenario “green RUPTL” dalam rentang 2021-2030 ini akan didominasi oleh pembangkit yang bersumber dari EBT.

**Diagram 4.6 Rencana Pengembangan Pembangkit Energi Indonesia**



Sumber: Ditjen EBTKE, ESDM

Total penambahan kapasitas baru pada kurun 2021-2030 mencapai kisaran 40,6 GW. Sekitar 51,6 persen atau 20,9 GW berasal dari porsi EBT. Pada tahun 2030 nanti diperkirakan pembangkitan dari hidro kontribusinya mencapai 15 persen, panas bumi 6 persen, PLTS 5 persen, dan EBT lainnya sekitar 3 persen.

**Tabel 4.57 Peta Jalan Transisi Energi menuju Karbon Netral 2060**

Tahun	Target
2025	EBT 23 persen didominasi oleh PLTS
2030	EBT 26,5 persen didominasi hidro, panas bumi, dan PLTS
2035	EBT 57 persen PLTS, hidro, dan panas bumi
2040	EBT 66 persen didominasi PLTS, hidro, dan bioenergi
2050	EBT 93 persen didominasi PLTS, hidro, dan bioenergi
2060	EBT 100 persen didominasi PLTS, hidro, dan angin

Sumber: Ditjen EBTKE, ESDM

EBT akan menjadi tulang punggung penting bagi penyediaan energi di Indonesia. Dalam jangka panjang pemerintah akan secara bertahap meningkatkan bauran energi dari EBT akan terus membesar. Puncaknya pada tahun 2060, sumber energi di Indonesia ditargetkan 100 persen dari EBT. Sumber energi dari surya, air, dan bioenergi akan menjadi andalan Indonesia di masa mendatang

- 3) **Regulasi EBT (investasi) dan Penguatan Teknologi**  
 Untuk mendorong masuknya investasi dari IPP, Kementerian ESDM dan juga sejumlah kementerian terkait menyusun “Rperpres tentang EBT”. Dalam Rperpres itu ada tiga skema pembelian tenaga listrik yaitu pertama, *feed in tariff*. Skema ini diberlakukan untuk pembangkit EBT dengan kapasitas hingga 5 MW. Skema ini harapannya dapat dikerjakan oleh pemerintah daerah atau BUMD serta pihak swasta lokal daerah. Kedua, dengan mekanisme pembelian harga patokan tertinggi. Skema ini diberlakukan untuk pengembangan EBT di atas 5 MW. Ditujukan bagi semua pihak dipersilahkan untuk berpartisipasi turut serta mengembangkan EBT di Indonesia. Ketiga, berdasarkan harga kesepakatan yang ditujukan untuk jenis EBT tertentu. Misal, pembangkit energi laut, pembangkit

listrik tenaga sampah, pembangkit listrik tenaga bahan bakar nabati.

Oleh sebab itu, dengan adanya rencana pengesahan Peraturan Presiden tentang EBT tersebut merupakan suatu langkah yang baik guna menarik minat investor di sektor EBT. Dengan adanya payung hukum itu, maka PT PLN dapat membeli listrik dari IPP dengan sejumlah mekanisme. Harga *feed in tariff*; harga patokan tertinggi; dan/atau harga kesepakatan dengan atau tanpa memperhitungkan faktor lokasi. Apabila hal ini terwujud maka peluang untuk menarik hadirnya investor EBT akan semakin besar karena skema itu menjanjikan keuntungan.

Dengan adanya regulasi terkait pembelian tenaga listrik tersebut maka akan menguntungkan kedua belah pihak. Investor dapat segera balik modal dan meraih keuntungan. PLN atau pemerintah dapat memperoleh akselesari bauran energi lebih cepat dan peluang harga beli dari IPP yang murah di masa mendatang.

Dalam menuju *Net Zero Emission* (NZE) atau karbon netral pada tahun 2060 penggunaan teknologi mutakhir adalah suatu keniscayaan. Berbagai kendala yang dihadapi saat ini akan dapat teratasi secara bertahap dengan penggunaan teknologi yang andal.

**Tabel 4.58 Penerapan Teknologi dalam Menuju Karbon Netral 2060**

<b>Tahun</b>	<b>Penggunaan Teknologi</b>
2024	Interkoneksi smart grid dan smart meter
2025	<i>Pumped storage</i> mulai COD untuk backup PLTS
2031	Mulai pemanfaatan hidrogen untuk listrik Penggunaan baterai listrik semakin masif
2040	Pengguna kendaraan listrik semakin banyak
2048	Pembangkit listrik tenaga arus laut mulai COD
2049	PLTN pertama mulai COD

2051	Pemanfaatan hidrogen semakin masif
2060	Penggunaan kendaraan listrik, kompor listrik, dan jargas semakin besar

Sumber: Ditjen EBTKE, ESDM

Kendala *intermittent* dari pembangkitan EBT akan teratasi dengan sistem *smart grid* yang terkoneksi dengan pembangkitan *base load*. Energi dari hidrogen akan semakin masif pemanfaatannya dengan penemuan teknologi yang dapat menyimpan dan mengkonversi energi tersebut menjadi sumber tenaga. Teknologi penyimpanan energi di dalam baterai akan semakin berkembang baik untuk keperluan transportasi ataupun keperluan sehari-hari. Teknologi yang andal serta mengutamakan keselamatan yang tinggi akan digunakan untuk pengembangan reaktor PLTN. Selain itu, pemerintah juga akan mengembangkan teknologi yang dapat membangkitkan energi dari arus laut. Masyarakat di masa depan akan semakin familiar dengan alat-alat atau teknologi yang mengedepankan kelestarian lingkungan.

#### 4.5.3.2 Prioritas Tindakan Dalam Pembangunan PLTN di Indonesia

**Tabel 4.59 Prioritas Tindakan Dalam Pembangunan PLTN di Indonesia**

<b>Indikator/Variabel/Header</b>	<b>Bobot/Nilai</b>	<b>Prioritas</b>
Komitmen nasional	42	1
Sinergi BRIN	32	2
Teknologi PLTN mutakhir	26	3

Dalam pengembangan atau pembangunan PLTN di Inonesia, ada sejumlah prioritas tindakan yang ditempuh oleh pemerintah Indonesia atau stakeholders terkait PLTN. Secara berurutan terdiri dari komitmen nasional, sinergi BRIN, dan teknologi PLTN mutakhir. Penjelasan lebih lanjut akan dijabarkan di bawah ini:

- 1) Komitmen Nasional

Komitmen nasional sangat penting posisinya dalam memutuskan pembangunan reaktor PLTN di Indonesia. Komitmen nasional ini merupakan bentuk pernyataan resmi dari pemerintah yang mendapat dukungan resmi secara politik dalam menyatakan “Go” atau “Not Go” dalam rencana pembangunan PLTN.

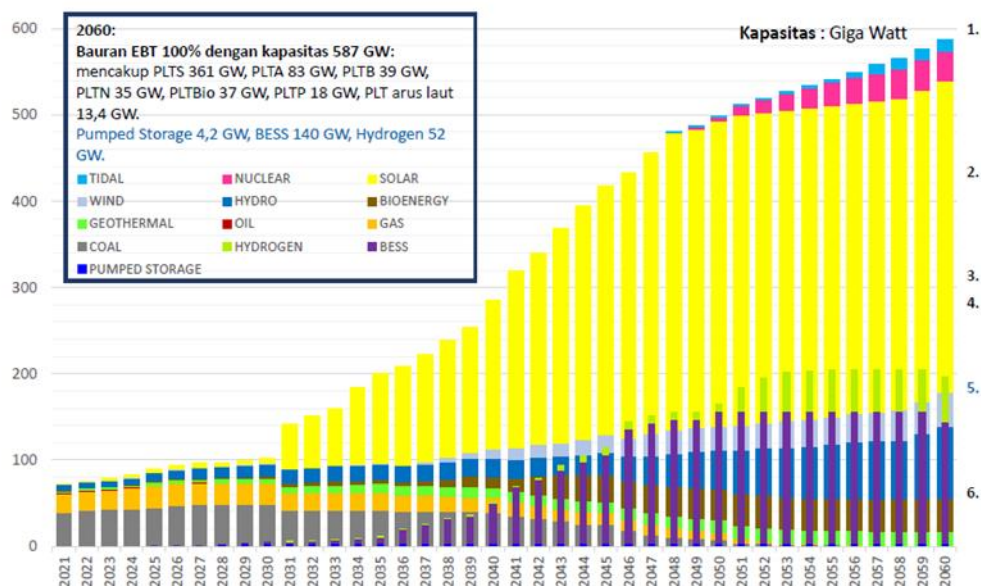
Dengan komitmen tersebut maka akan terjalin kesepakatan bersama antara pemerintah, politik, dan sejumlah *stakeholder* bahwa Indonesia serius untuk membangun PLTN. Komitmen ini akan menciptakan *supply chain* dalam pengembangan nuklir. Mulai dari vendor yang akan membangun reaktor, mekanisme pembiayaan, hingga suplai bahan baku untuk PLTN. Selain IAEA dan negara-negara asal vendor, negara-negara di sekitar Indonesia pun akan turut meninjau tentang sistem keselamatan dari reaktor yang rencananya akan dibangun. Jadi, akan semakin memperkuat pengawasan terhadap faktor keamanan dan keselamatan terhadap reaktor PLTN yang akan dikembangkan.

Komitmen nasional ini umumnya akan didahului dengan pembentukan NEPIO (*nuclear energy program implementation organization*). Untuk saat ini, kementerian ESDM sedang menyusun peraturan menteri mengenai pembentukan NEPIO agar organisasi ini segera berjalan untuk menyiapkan segala macam persyaratan yang diperlukan dalam pengembangan nuklir. Selain itu, dengan terbentuknya NEPIO maka dapat segera mengundang IAEA untuk melakukan *assessment* terkait persiapan pengembangan nuklir di Indonesia. *Assessment* ini sangat penting untuk meloloskan Indonesia ke tahap berikutnya untuk merealisasikan pembangunan reaktor PLTN.

## Diagram 4.7 Rencana Penyediaan Listrik Jangka Panjang

### RENCANA PENYEDIAAN TENAGA LISTRIK MENUJU NZE

VRE as the backbone, didominasi oleh PLTS



Sumber: Ditjen EBTKE, ESDM

Dari rencana jangka panjang pemerintah terlihat apabila Indonesia akan mengembangkan reaktor PLTN dalam menuju NZE 2060. Kementerian ESDM menyatakan bahwa pada tahun 2049 PLTN akan mulai *Commercial Operation Date* (COD). Direncanakan Indonesia akan memiliki reaktor PLTN dengan jumlah kapasitas pembangkit sebesar 35 MW yang akan dibangun secara bertahap. Untuk merealisasikan rencana tersebut maka pemerintah harus mempersiapkannya jauh-jauh hari. Komitmen nasional dari seluruh pemangku kepentingan menjadi kunci penting untuk segera menyatakan “go” atau “not go” bagi PLTN.

Untuk mencapai target COD PLTN pada tahun 2049, narasumber dari Ditjen EBTKE, Kementerian ESDM menyatakan bahwa pemerintah harus menyatakan komitmennya terhadap PLTN paling lambat pada tahun 2025.

Narasumber lain dari DEN, menyatakan komitmen ini setidaknya sudah harus disampaikan maksimal pada tahun 2030.

Namun, sebelum komitmen nasional itu dinyatakan, pemerintah sudah harus mempersiapkan organisasi atau lembaga yang bertanggung jawab dalam program nuklir itu. NEPIO sudah harus terbentuk sebelum komitmen tentang pembangunan nuklir diputuskan. Tujuannya, agar semua jajaran kebijakan dan *stakeholder* sudah melakukan serangkaian persiapan guna mendukung kebijakan pembangunan PLTN. Untuk saat ini, keputusan mengenai pembentukan NEPIO sudah berada di tangan Kementerian ESDM.

## 2) Sinergi BRIN

Meleburnya sejumlah lembaga riset negara dalam institusi Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) merupakan benefit bagi pengembangan PLTN. Organisasi Riset Tenaga Nuklir (ORTN) yang sebelumnya bernama BATAN sekarang tidak bekerja sendirian. ORTN berpeluang besar untuk menjalin kerjasama dengan organisasi riset lainnya di dalam institusi BRIN guna memperkuat assessment IAEA dalam meloloskan rencana pengembangan PLTN di Indonesia.

ORTN-BRIN dapat memberikan dukungan riset yang mutakhir terkait pengembangan reaktor PLTN yang tepat untuk dibangun di Indonesia. ORTN-BRIN juga dapat mengembangkan riset-riset terkait material atau penambangan bahan baku uranium yang lebih mutakhir. Selain itu, ORTN-BRIN dapat melakukan edukasi dan sosialisasi terkait PLTN kepada segenap *stakeholder* agar PLTN dapat diterima. Jadi, PLTN dapat diterima dan minim

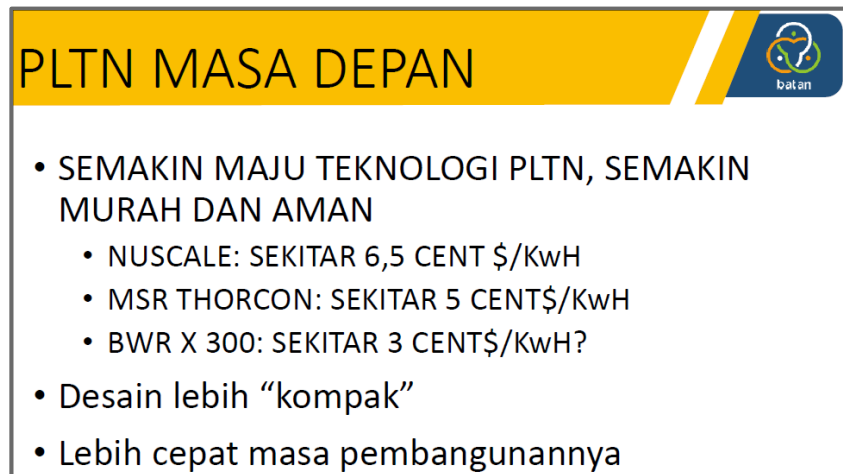
penolakan dari masyarakat ataupun pihak-pihak tertentu lainnya. Dengan semakin banyak pihak (*stakeholders involvement*) yang terlibat secara positif di luar ORTN-BRIN sehingga jalan menuju realisasi pembangunan PLTN akan semakin terbuka lebar.

### 3) Teknologi PLTN Mutakhir

Isu terkait dengan keamanan dan keselamatan PLTN merupakan masalah krusial yang seringkali menghambat program pembangunan PLTN di suatu negara. Oleh sebab itu, untuk mitigasi bahaya tersebut maka pilihan menggunakan PLTN teknologi mutakhir merupakan suatu keniscayaan.

Penggunaan reaktor PLTN generasi IV yang memiliki sistem *inherent safety* merupakan pilihan yang bijak guna memaksimalkan faktor keamanan dan keselamatan. Selain itu, dengan menggunakan PLTN generasi IV yang bersifat modular maka waktu pembangunan reaktor dapat lebih dipersingkat. Dari sisi biayapun juga dapat lebih ditekan karena waktu pengerjaan menjadi lebih pendek.

Pengembangan PLTN berteknologi maju sangat menjanjikan di Indonesia. Dengan desain modular yang kompak membuat biaya investasi mulai awal riset hingga PLTN dekomisioning menghasilkan harga jual listrik yang kompetitif. Menurut BATAN-BRIN, hasil simulasi PLTN di Indonesia bisa kurang dari 7 sen/kWh. Harga ini membuat PLTN sangat kompetitif dengan pembangkitan dari fosil yang relatif murah.

**Diagram 4.8 Estimasi Harga Jual Listrik dari PLTN**

**PLTN MASA DEPAN**

- SEMAKIN MAJU TEKNOLOGI PLTN, SEMAKIN MURAH DAN AMAN
  - NUSCALE: SEKITAR 6,5 CENT \$/KwH
  - MSR THORCON: SEKITAR 5 CENT\$/KwH
  - BWR X 300: SEKITAR 3 CENT\$/KwH?
- Desain lebih “kompak”
- Lebih cepat masa pembangunannya

Sumber: BATAN-ORTN

Selain unggul dari segi desain, keamanan, dan harga jual energi, PLTN generasi mutakhir juga relatif lebih menarik dari segi politik. Peralnya, pemimpin pemerintahan (kebijakan) akan lebih bisa mengontrol isu-isu negatif yang disampaikan oleh pihak-pihak yang anti nuklir. Selain itu, reaktor modular ini sudah dapat dikembangkan oleh beberapa vendor dengan kapasitas pembangkitan yang kecil kurang dari 300 MW sehingga relatif cocok dikembangkan di daerah kepulauan seperti Indonesia.