

Penggunaan Energi dan Pemanasan Global: Prospek bagi Indonesia ^{*)}

Agus Sugiyono ^{**)}

Abstrak

Penggunaan energi dapat mencemarkan lingkungan karena adanya limbah padat, limbah cair, dan polutan akibat emisi. Dalam makalah ini akan dibahas dampak dari penggunaan energi khususnya emisi gas rumah kaca (GRK) yang erat kaitannya dengan pemanasan global

Kyoto Protocol membuat suatu terobosan untuk membantu negara maju dalam mengurangi emisi GRK dengan menggunakan mekanisme perdagangan emisi yang sering disebut *flexible mechanism*. Mekanisme tersebut adalah: *Joint Implementation*, *International Emission Trading*, dan *Clean Development Mechanism* (CDM). Mekanisme ini memungkinkan kerjasama yang dapat saling menguntungkan antara negara maju dengan negara berkembang. CDM memperbolehkan negara berkembang menjual emisinya yang masih rendah kepada negara maju yang kelebihan emisi. Untuk melihat prospek kerjasama yang dapat menguntungkan bagi Indonesia digunakan Model MARKAL. Dengan memanfaatkan CDM maka diharapkan negara berkembang, khususnya Indonesia dapat mengambil manfaat dari mekanisme tersebut dengan mengembangkan energi terbarukan.

Kata kunci: penggunaan energi, pemanasan global, perdagangan emisi

1. Pendahuluan

Sektor energi merupakan sektor yang penting di Indonesia karena selain sebagai penggerak pertumbuhan ekonomi dalam negeri juga sebagai komoditi ekspor. Tetapi pertumbuhan perekonomian ini juga dapat membawa dampak yang negatif bagi sumber daya alam seperti air, udara, dan tanah. Dampak negatif tersebut dapat berupa pencemaran sebagai akibat dari penggunaan energi. Penggunaan energi dapat mencemarkan lingkungan karena adanya limbah padat, limbah cair, dan polutan akibat emisi dari pembakaran energi fosil seperti: partikel, SO₂, NO_x, dan Carbon Dioxide (CO₂).

Dalam makalah ini akan dibahas dampak dari penggunaan energi khususnya emisi CO₂ yang erat kaitannya dengan pemanasan global (*global warming*). Masalah pemanasan global mendapat perhatian dunia setelah Konferensi Tingkat Tinggi (KTT) yang diadakan oleh PBB pada bulan Juni 1992 di Rio de Janeiro yang lebih dikenal sebagai KTT Bumi (*Earth Summit*). Setelah KTT Bumi telah diadakan beberapa pertemuan internasional dan hasil yang penting adalah Rapat Tahunan COP (*Conference Of the Party*) III di Kyoto pada tahun 1997 yang diadakan oleh UNFCCC (*United Nation Framework Convention on Climate Change*).

^{*)} Tugas Matakuliah Ekonomi Lingkungan, 2002

^{**)} Peneliti BPPT dan saat ini sedang melanjutkan studi S3 bidang ekonomi di UGM

Rapat tersebut mengeluarkan *Kyoto Protocol*. Isi kesepakatan ini adalah kewajiban bagi negara maju yang disebut *Annex I Countries* untuk mengurangi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) sebesar 5 % dibawah level tahun 1990 pada periode 2008 sampai 2012. Dengan keputusan ini banyak negara maju diperkirakan tidak akan bisa memenuhi target untuk mengurangi emisi di negaranya. Oleh karena itu muncul sistem perdagangan emisi (*tradeable emission permit*) yang memperbolehkan negara berkembang menjual emisi yang masih rendah kepada negara maju yang kelebihan emisi.

Sistem perdagangan emisi ini dapat ditempuh dengan mekanisme tertentu yang yang memungkinkan kerjasama yang dapat saling menguntungkan antara negara maju dengan negara berkembang. Dalam makalah ini akan dibahas lebih lanjut mekanisme yang mungkin dapat diterapkan di Indonesia. Pembahasan akan dibatasi pada emisi GRK khususnya emisi CO₂ yang diakibatkan dari penggunaan energi. Untuk melihat prospek kerjasama yang dapat menguntungkan bagi Indonesia digunakan Model MARKAL (*Market Allocation*). Model MARKAL adalah suatu model yang memakai teknik *linear programming* (LP) dengan meminimumkan biaya penyediaan energi dengan masukan permintaan energi. Periode pembahasan dimulai dari tahun dasar 1995 sampai dengan tahun 2025.

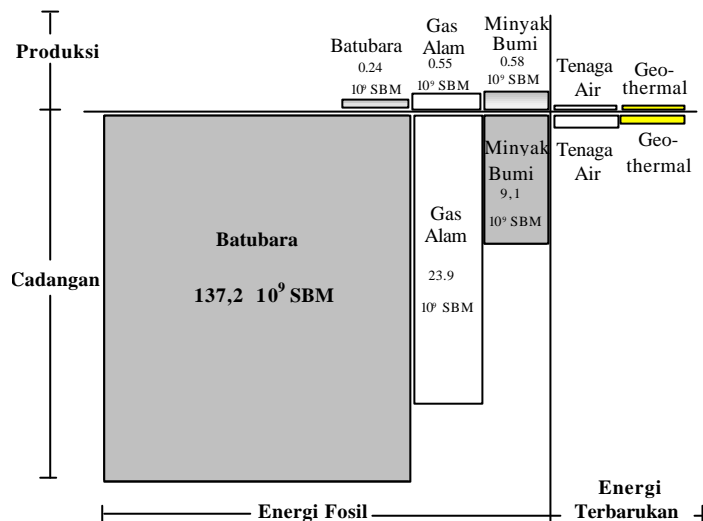
2. Pemanfaatan Energi di Indonesia

2.1. Sumber Energi

Sumber energi di Indonesia dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu: sumber energi fosil dan sumber energi terbarukan. Sumber energi fosil terdiri atas minyak bumi, gas alam dan batubara. Cadangan minyak bumi saat ini sudah sangat terbatas sedangkan cadangan gas alam masih mencukupi dan cadangan batubara masih melimpah. Batubara merupakan sumber energi fosil dengan cadangan terbesar, yaitu sebesar $36,34 \times 10^9$ ton. Sedangkan cadangan gas alam sebesar 137,79 TSCF (*Tera Standard Cubic Feet*) dan minyak bumi sebesar $9,09 \times 10^9$ SBM (Setara Barel Minyak).

Sedangkan energi terbarukan dapat berupa energi air, geothermal, energi angin dan energi matahari. Tetapi yang sampai saat ini sudah dikembangkan secara komersial hanya energi air dan geothermal. Cadangan energi terbarukan dinyatakan dalam GW yang merupakan kapasitas terpasang yang mampu untuk dikembangkan. Cadangan energi air sebesar 75,62 GW dan geothermal sebesar 16,10 GW. Cadangan energi terbarukan ini belum banyak dimanfaatkan pada saat ini. Sampai tahun 1997 pemanfaatan energi air hanya sebesar 3 % dan geothermal sebesar 2 %.

Secara ringkas cadangan dan produksi (termasuk penggunaan dalam negeri dan diekspor) untuk masing-masing sumber energi ditunjukkan pada Gambar 1. Di sini masing-masing energi yang dinyatakan dalam satuan fisik disamakan menjadi satuan energi yaitu SBM supaya dapat digambarkan dalam dimensi yang sama. Pada Gambar 1 terlihat bahwa batubara mempunyai cadangan yang melimpah tetapi penggunaannya masih sangat sedikit. Bila dilihat dari rasio cadangan dibagi produksi (*R/P Ratio*) maka batubara masih mampu untuk digunakan selama lebih dari 500 tahun. Sedangkan gas alam dan minyak bumi mempunyai *R/P Ratio* masing-masing sebesar 43 tahun dan 16 tahun dengan asumsi bahwa tidak ditemukan cadangan yang baru. Dengan melihat cadangan batubara ini, diperkirakan bahwa di masa depan batubara akan mempunyai peran yang besar sebagai penyedia energi nasional.



Gambar 1. Cadangan dan Produksi Energi (Sugiyono, 2000)

2.2. Proyeksi Penggunaan Energi

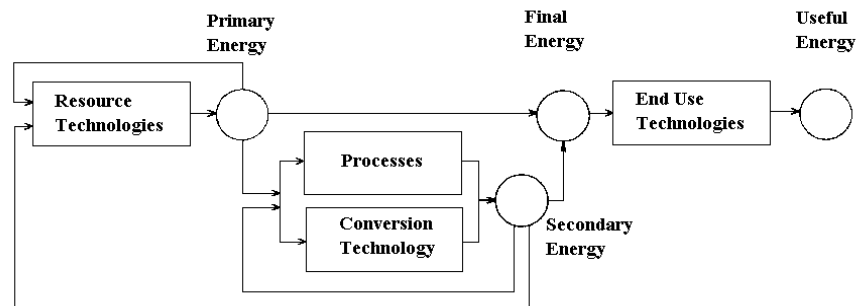
Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa dalam membuat analisis digunakan Model MARKAL. Model ini mempunyai fungsi obyektif meminimumkan biaya dengan kendala cadangan energi dan teknologi energi yang tersedia sedangkan permintaan energi merupakan variabel eksogen.

Model MARKAL dibangun berdasarkan jaringan sistem energi seperti pada Gambar 2. Jaringan sistem energi secara umum terbagi menjadi empat kategori teknologi, yaitu :

- *resource technology*, seperti penambangan, import dan eksport.
- proses, yang mengubah satu bentuk *energy carrier* ke bentuk *energy carrier* lain.
- teknologi konversi, yang menghasilkan listrik atau panas.

- *end-use technology*, yang mengubah satu bentuk *final energy* menjadi *useful energy* dengan menggunakan *demand device* (DMD) seperti kompor untuk memasak, lampu penerangan, dan ketel uap.

Berdasarkan jaringan ini dibentuk suatu matriks LP dan dilakukan optimasi.



Gambar 2. Jaringan sistem energi

Berdasarkan hasil model MARKAL, penggunaan energi diperkirakan meningkat dari 784 juta SBM pada tahun 1995 menjadi 1.808 juta SBM pada akhir periode proyeksi (2025). Penggunaan energi tumbuh sebesar rata-rata 3 % per tahun. Proyeksi penggunaan energi untuk setiap jenis energi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Proyeksi Penggunaan Energi Primer (Sugiyono, 1999)

Juta SBM	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025
Gas Alam	179,2	189,5	225,3	236,7	250,0	266,7	305,0
Minyak Bumi	306,9	255,3	240,4	283,9	331,9	414,0	529,2
Batubara	73,9	112,7	132,3	175,9	295,7	460,3	609,7
Biomasa	187,9	197,1	206,0	216,2	235,0	250,5	273,6
Terbarukan	36,3	55,6	68,2	91,7	101,1	91,6	90,2
	784,3	810,4	872,5	1.004,7	1.213,8	1.483,2	1.807,8

Catatan: Output Model Markal dengan fungsi obyektif meminimumkan biaya, *base case*

Pada Tabel 1 terlihat bahwa batubara merupakan sumber energi terbesar untuk jangka panjang. Hal ini dapat dipahami karena batubara masih melimpah di Indonesia dan biaya produksinya relatif murah. Pangsa penggunaan batubara sebagai sumber energi primer saat ini hanya sebesar 9 % dan akan meningkat secara nyata pada tahun 2025 yaitu sebesar 34 %. Peningkatan penggunaan batubara rata-rata sebesar 7 % per tahun. Minyak bumi sebagai sumber energi primer masih cukup berperan karena penggunaan bahan bakar minyak di sektor transportasi masih sulit disubstitusi dengan bahan bakar lain. Pangsa penggunaan minyak bumi

pada tahun 2025 mencapai 29 %. Sedangkan gas alam tumbuh sekitar 3 % per tahun dan pangsaanya menurun dari 23 % pada tahun 1995 menjadi 17 % pada tahun 2025.

Pertumbuhan penggunaan biomasa sebagai bahan bakar hanya sekitar 1 % per tahun selama periode proyeksi. Biomasa merupakan energi non-komersial dan digunakan di sektor rumah tangga. Untuk menunjang diversifikasi energi, pemerintah terus mendukung pengembangan energi terbarukan. Tetapi karena biaya produksi masih relatif mahal, penggunaan energi terbarukan (energi air dan geothermal) hanya mengalami pertumbuhan rata-rata sebesar 3 % per tahun.

2.3. Dampak Penggunaan Energi

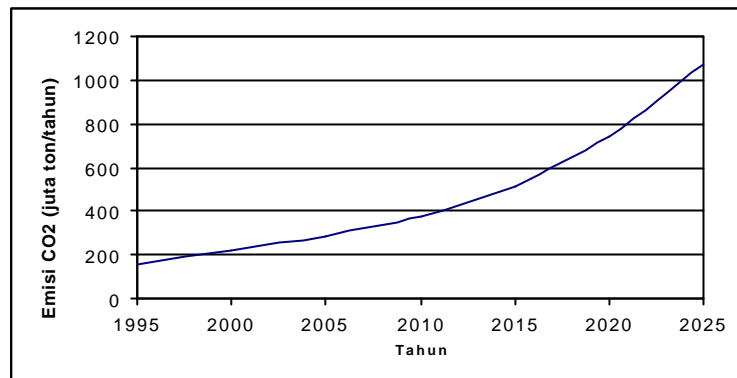
Penggunaan energi fosil akan menghasilkan emisi seperti: partikel, SO₂, NO_x, dan CO₂. Emisi partikel, SO₂, dan NO_x adalah bahan polutan yang berhubungan langsung dengan kesehatan manusia. Disamping itu, masyarakat internasional juga menaruh perhatian terhadap isu lingkungan global seperti terjadinya pemanasan global. Emisi CO₂ merupakan sumber terbesar yang bertanggung jawab terhadap terjadinya pemanasan global. Emisi CO₂ tidak berhubungan langsung dengan kesehatan. Pengaruh partikel emisi terhadap kesehatan dan lingkungan secara ringkas dijelaskan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengaruh Partikel Emisi Terhadap Kesehatan dan Lingkungan (Princiotta, 1991)

Emisi	Pengaruh terhadap Kesehatan	Pengaruh Terhadap Lingkungan
SO ₂	- Problem saluran pernapasan - Radang paru-paru menahun	- Hujan asam yang dapat merusakkan lingkungan danau, sungai dan hutan - Mengganggu jarak pandang
NO _x	- Sakit pada saluran pernapasan	- Hujan asam - Ozon menipis yang mengakibatkan kerusakan hutan
Partikel/Debu	- Iritasi pada mata dan tenggorokan - Bronkitis dan kerusakan saluran pernapasan	- Mengganggu jarak-pandang
CO ₂	Tidak berpengaruh secara langsung	- Pemanasan global - Merusak ekosistem

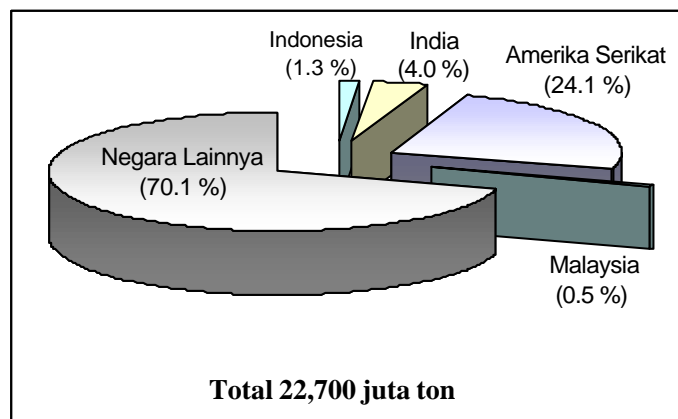
Berdasarkan hasil proyeksi penggunaan energi dapat dibuat proyeksi emisi CO₂ berdasarkan tetapan emisi yang dikeluarkan oleh IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*). Pada Gambar 3 ditunjukkan proyeksi emisi CO₂ karena penggunaan energi di Indonesia selama kurun waktu 1995 - 2025. Pada tahun 1995 total emisi CO₂ sebesar 156 juta

ton per tahun dan meningkat menjadi 1.077 juta ton per tahun pada tahun 2025 atau meningkat rata-rata sebesar 6,6 % per tahun dalam kurun waktu 30 tahun.



Gambar 3. Proyeksi Emisi CO₂

Berdasarkan *World Development Report 1998/99* dari Bank Dunia, total emisi CO₂ dunia pada tahun 1995, baik berasal dari penggunaan energi maupun dari sumber lain sebesar 22.700 juta ton. Negara yang mempunyai emisi CO₂ terbesar adalah Amerika Serikat yaitu sebesar 5.468 juta ton atau sebesar 24,1 % dari total emisi CO₂ dunia, sedangkan Indonesia mempunyai emisi sebesar 296 juta ton atau sebesar 1,3 % dari total emisi CO₂ dunia. Pada Gambar 4 ditampilkan emisi CO₂ dari negara-negara yang dipilih. Meskipun Indonesia belum mempunyai kewajiban untuk mengurangi emisi CO₂ ini, namun sebagai anggota masyarakat global, Indonesia turut serta berinisiatif melakukan studi dan membuat strategi untuk menguranginya.



Gambar 4. Emisi CO₂ dari Negara-Negara yang Dipilih (1995)

3. Pemanasan Global

Efek rumah kaca adalah proses masuknya radiasi dari sinar matahari dan karena ada GRK maka radiasi tersebut terjebak di dalam atmosfer sehingga menaikkan suhu permukaan bumi. GRK inilah yang menyerap gelombang panas dari sinar matahari yang dipancarkan bumi. GRK yang penting ialah CO₂, Methane (CH₄), Nitrous Oxide (N₂O), Chloroflourocarbon (CFC) (yang dapat dibagi menjadi dua, yaitu: Haloflourocarbon (HFC) dan Perfluorocarbon (PFC)), dan Sulfur Hexafluoride (SF₆). Sumbangan terjadinya pemanasan global yang terbesar adalah CO₂ sebesar 61 %, diikuti oleh CH₄ sebesar 15 %, CFC sebesar 12 %, N₂O sebesar 4 % dan sumber lain sebesar 8 % (Callan, 2000). Yang menjadi sumber utama dari emisi CO₂ adalah penggunaan energi dan penggundulan hutan. Untuk selanjutnya dalam makalah ini faktor yang mempengaruhi pemanasan global hanya ditinjau dari emisi CO₂ akibat penggunaan energi.

Radiasi sinar matahari yang terjebak akan memberi kehangatan bagai makhluk hidup di bumi. Efek ini sebenarnya bukanlah sesuatu yang buruk. Justru dengan efek ini memberikan kesempatan adanya kehidupan di bumi. Kalau tidak ada efek rumah kaca maka suhu rata-rata permukaan bumi bukanlah 15 °C seperti sekarang tetapi -18 °C. Yang menjadi masalah adalah jumlah GRK ini bertambah secara berlebihan sehingga bisa mengakibatkan kerusakan lingkungan secara global. GRK yang bertambah secara berlebihan ini akan menahan lebih banyak radiasi dari pada yang dibutuhkan oleh kehidupan di bumi, sehingga terjadi gejala yang disebut pemanasan global. Dampak dari pemanasan global ini antara lain yaitu: suhu air laut naik, perubahan pola iklim seperti curah hujan, perubahan frekuensi dan intensitas badai, dan tinggi permukaan air laut naik karena mencairnya es di kutub.

Secara lengkap GRK yang menjadi sebab terjadinya pemanasan global ditunjukkan pada Tabel 3. Setiap GRK mempunyai potensi pemanasan global (*Global Warming Potential* - GWP) yang diukur secara relatif berdasarkan emisi CO₂ dengan nilai 1. Makin besar nilai GWP makin bersifat merusak.

Beberapa studi telah dilakukan untuk membuat estimasi keuntungan bila dilakukan pencegahan terjadinya pemanasan global. Ada dua studi yang penting yaitu dari OECD (*Organisation of Economic Co-operation and Development*) di Paris dan studi dari ekonom Wilfred Beckerman. Studi yang pertama membuat estimasi biaya untuk menanggulangi akibat pemanasan global baik untuk jangka pendek maupun jangka panjang. Hasil estimasi untuk wilayah Amerika Serikat ditampilkan pada Tabel 4. Kenaikan suhu sebesar 2,5 °C merupakan prediksi konvensional yang bisa terjadi untuk jangka pendek, sedangkan kenaikan suhu sebesar 10 °C terjadi pada waktu yang sangat panjang. Dari hasil studi ini terlihat bahwa

keuntungan bila mengadakan pencegahan terjadinya pemanasan global pada suhu 2,5 °C adalah sebesar 61,6 milyar dolar (atau sekitar 1.1 % PDB Amerika Serikat) dan meningkat menjadi 338,6 milyar dolar bila terjadi pemanasan global untuk jangka 250 – 300 tahun. Sedangkan hasil dari studi Beckerman memperkirakan bahwa sektor pertanian bila terjadi pemanasan global dapat untung atau rugi yang berkisar antara 10 milyar dolar.

Tabel 3. Gas Rumah Kaca dan Potensi Pemanasan Global

Nama	Rumus Kimia	GWP untuk 100 tahun
Carbon Dioxide	CO ₂	1
Methane	CH ₄	21
Nitrous Oxide	N ₂ O	310
Perflouromethane	CF ₄	6500
Perflouroethane	C ₂ F ₆	9200
Perflourobutane	C ₄ F ₁₀	7000
Sulphur Hexaflouride	SF ₆	23900
HFC-23	CHF ₃	11700
HFC-32	CH ₂ F ₂	650
HFC-43-10	C ₅ H ₂ F ₁₀	1300
HFC-125	C ₂ HF ₅	2800
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	1300
HFC-143a	C ₂ H ₃ F ₃	3800
HFC-152a	C ₂ H ₄ F ₂	140
HFC-227ea	C ₃ HF ₇	2900
HFC-236fa	C ₃ H ₂ F ₆	6300
HFC-245ca	C ₃ H ₃ F ₅	560

Sumber: UNFCCC

Tabel 4. Estimasi Kerusakan Tahunan Ekonomi Amerika Serikat Akibat Pemanasan Global (milyar dolar pada harga 1990)

Kerusakan Utama	10 °C	
	2,5 °C	Pemanasan Jangka Panjang
Pertanian	17,5	95,0
Kehilangan Hutan	3,3	7,0
Kehilangan Spesies	4,0	16,0
Permukaan Laut Naik		35,0
- Tanggul	1,2	
- Kehilangan lahan basah	4,1	
- Kehilangan lahan kering	1,7	
Kebutuhan Listrik	11,7	67,0
Pemanas Non-Listrik	-1,3	-4,0
Kesehatan Masyarakat	5,8	33,0
Migrasi	0,5	2,8
Badai	0,8	6,4
Aktivitas Hiburan	1,7	4,0
Penyediaan Air	7,0	56,0
Infrastruktur Kota	0,1	0,6
Lapisan Ozon	3,5	19,8
Total	61,6	338,6

Sumber: Callan, 2000

4. Prospek Perdagangan Emisi

4.1. Kyoto Protocol

Pada tahun 1992, PBB mendirikan *Framework Convention on Climate Change* (yang disingkat UNFCCC) yang merupakan institusi internasional untuk menangani masalah pemanasan global. Pada saat itu ditandatangani kesepakatan antara 74 negara untuk melaporkan kondisi emisi GRK di negara masing-masing. Negara maju (*Annex I Countries*) berkewajiban untuk mengukur dan membuat kebijakan dan langkah-langkah untuk mengurangi emisi GRK pada level tahun 1990. Sedangkan negara berkembang (*Non-Annex I Countries*) hanya berkewajiban melakukan inventori dan melaporkan ke UNFCCC. Meskipun demikian pada saat itu kesepakatan hanya bersifat sukarela untuk mengurangi emisi belum ada sanksi bagi yang melanggarnya.

Rapat tahunan COP (*Conference Of the Party*) III di Kyoto pada tahun 1997 yang diadakan oleh UNFCCC mengeluarkan *Kyoto Protocol* yang mengharuskan negara maju untuk mengurangi emisi GRK sebesar 5 % dari level tahun 1990 pada periode 2008 sampai 2012. Dengan keputusan ini banyak negara maju diperkirakan tidak akan bisa memenuhi target untuk mengurangi emisi di negaranya. Oleh karena itu muncul mekanisme perdagangan emisi yang memperbolehkan negara maju (yang mempunyai emisi tinggi) berkerja sama dengan negara berkembang (yang mempunyai emisi rendah) untuk memenuhi target tersebut.

4.2. Mekanisme Perdagangan Emisi

Kyoto Protocol membuat suatu terobosan untuk membantu negara maju dalam mengurangi emisi GRK dengan menggunakan mekanisme yang sering disebut *flexible mechanism*. Mekanisme tersebut adalah:

- *Joint Implementation* (JI) yang merupakan perjanjian bilateral antara dua institusi untuk menjalankan proyek mitigasi emisi GRK. Proyek dalam JI hanya dapat dilakukan antar negara maju dan salah satu proyek percontohan adalah *Activities Implemented Jointly* (AIJ).
- *International Emission Trading* (IET) yang mengacu pada pertukaran kredit emisi atau batas emisi yang diijinkan antar negara maju dan baru bisa dilakukan setelah tahun 2008. IET mempunyai implikasi bahwa yang bisa ditukarkan adalah total emisi GRK yang dapat dikurangi untuk satu negara dengan satu negara lainnya.
- *Clean Development Mechanism* (CDM) yang merupakan proyek kerjasama antara negara maju yang akan mengurangi emisi GRK-nya dengan negara berkembang. Baik institusi

swasta maupun publik di suatu negara dapat menggunakan mekanisme ini. Bila dibandingkan dengan dua mekanisme sebelumnya maka CDM merupakan alternatif yang dapat digunakan oleh negara berkembang untuk mendapatkan manfaat dari adanya pemanasan global.

4.3. Inventori dan Mitigasi

Indonesia secara berkala melaporkan inventori emisi GRK kepada UNFCCC. Yang berkewajiban membuat inventori adalah Kementerian Lingkungan Hidup dan sudah mengirimkan laporannya berjudul *First National Communication of Republic of Indonesia for 1990 – 1994*. Emisi CO₂ yang merupakan bagian terbesar dari emisi GRK di Indonesia dengan pangsa sebesar hampir 70 % sedangkan gas lainnya sebesar 30 %. Pada tahun 1994 total emisi GRK sekitar 470 juta ton ekivalen CO₂. Sumber utama emisi GRK adalah sektor energi dan sektor kehutanan. Sektor energi mempunyai pangsa sebesar 46 % dari total emisi GRK yang berasal dari penggunaan bahan bakar fosil pada bermacam-macam aktivitas seperti: produksi energi, pengolahan energi dan juga pembakaran energi yang digunakan baik untuk pembangkit listrik maupun untuk keperluan industri lainnya. Besarnya emisi GRK ini tergantung dari jenis energi yang digunakan, misalnya menggunakan minyak bumi berbeda emisinya dengan penggunaan gas alam maupun batubara.

Mitigasi dikembangkan untuk memperoleh level emisi tertentu dengan menambahkan teknologi pada peralatan tertentu. Teknologi untuk mitigasi GRK dapat dikelompokkan menjadi dua kategori yaitu: untuk sisi penawaran dan untuk sisi permintaan. Untuk sisi penawaran dapat dilakukan dengan menggunakan sistem konversi yang lebih efisien, mengubah bahan bakar dari energi yang mempunyai emisi tinggi menjadi energi yang mempunyai emisi rendah, dan meningkatkan penggunaan energi terbarukan. Untuk sisi permintaan dapat menggunakan *demand side management*, dan menggunakan peralatan yang lebih efisien seperti lampu TL.

Energi terbarukan seperti pembangkit listrik tenaga air dan panas bumi mempunyai kelebihan sebagai pilihan untuk mitigasi GRK. Energi ini dapat membangkitkan listrik tanpa melalui pembakaran tidak seperti pada penggunaan energi fosil. Pembangkit listrik tenaga air dapat dikatakan bebas dari emisi GRK, sedangkan pembangkit listrik tenaga panas bumi hanya menghasilkan seperenam dari emisi GRK yang dihasilkan dari penggunaan gas alam untuk pembangkit listrik.

4.4. Biaya Pengurangan Emisi

Perkiraan biaya untuk mengurangi emisi GRK (*abatement cost – biaya pengurangan emisi*) bervariasi tergantung dari lokasi spesifik, tingkat perekonomian, penguasaan teknologi, dan teknik dalam menghitung emisi. Biaya diperkirakan berkisar antara 20 sampai 150 dolar Amerika (US\$) per ton Carbon (tC) yang dikurangi (Cooper, 2000). Di negara berkembang biaya pengurangan emisi lebih rendah bila dibandingkan dengan negara maju. Sehingga memungkinkan negara maju untuk melakukan pengurangan emisi dengan berinvestasi di negara berkembang melalui CDM.

Table 5. Biaya Pengurangan Emisi CO₂

Mitigation Options	CO ₂ Reductio	Additional	Abatement Cost
	10 ⁶ tC ²⁾	10 ⁶ US\$ ³⁾	US\$/tC
Baseline ¹⁾	3,397.3	454,260.0	-
Cogeneration	16.6	-3,939.0	-236.8
New Motor Electric	9.5	-398.8	-41.8
Solar Thermal	0.8	-34.0	-41.6
Compact Flour. Lamp	54.0	-571.4	-10.6
Improve Refrigerator	3.5	-8.0	-2.3
HiTech Refrigerator	4.3	-6.6	-1.5
New Mini Hydro P.P.	7.9	6.0	0.8
New Hydro P.P.	9.2	72.2	7.8
New Gas C. Cycle PP.	1.9	19.0	10.0
Adv. Compct. F. Lamp	22.0	224.5	10.2
Compact Refrigerator	2.7	47.1	17.3
Compact Panel Refrig.	2.1	48.9	22.4
New Biomass P.P.	2.4	62.3	25.4
New Gas Turbine PP.	1.0	29.4	27.0
Geothermal P.P.	100.9	4,429.0	43.9
New HSD Gas Turbine	1.0	212.4	194.7
New Coal PP. 600 MW	1.0	349.2	320.1
New Coal PP 4000 MW	3.0	1,512.0	504.0
Standard Flour. Lamp	1.9	1,088.0	569.9

1) Berdasarkan biaya total dan total emisi CO₂ dalam sistem energi Indonesia tanpa mitigasi

2) tC = tons of Carbon

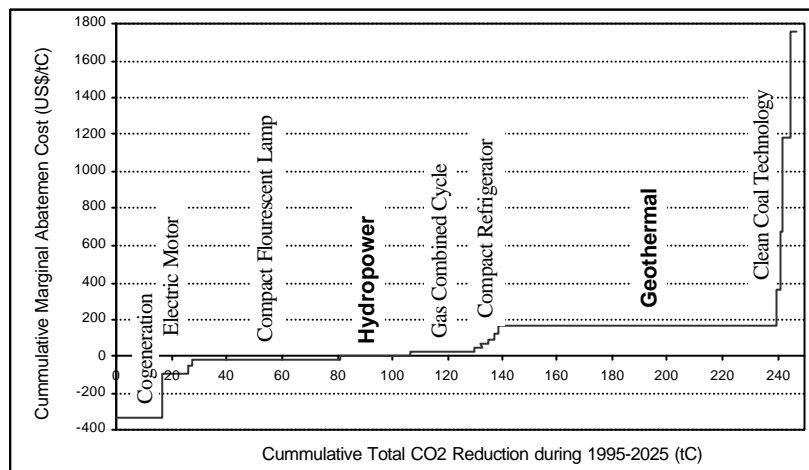
3) Biaya berdasarkan harga konstan US\$ 1995

4) Sumber: BPPT, Output MARKAL Model. Nopember, 2000

Biaya pengurangan emisi di Indonesia yang dihitung berdasarkan Model MARKAL ditampilkan pada Tabel 5. Pembangkit listrik tenaga air dapat mengurangi emisi CO₂ sekitar 17,1 juta tC sepanjang periode 1995 – 2025 dengan biaya pengurangan emisi berkisar antara 0,8 – 7,8 US\$/tC. Sedangkan panas bumi dapat mengurangi emisi CO₂ sekitar 100,9 juta tC dengan biaya sekitar 43,9 US\$/tC. Bila dibandingkan dengan biaya secara internasional maka biaya di Indonesia masih sangat murah sehingga memungkinkan Indonesia untuk memperoleh

keuntungan dari dampak pemanasan global ini. Negara-negara maju dapat memberikan tambahan investasi untuk pengembangan energi terbarukan di Indonesia, sementara mereka akan mendapat keuntungan karena besar pengurangan emisinya dihitung sebagai pengurangan emisi di negara maju yang bersangkutan.

Biaya pengurangan emisi biasanya ditampilkan dalam bentuk Kurva CERI (*Cost of Emission Reduction Initiative*). Kurva CERI menampilkan biaya untuk mitigasi emisi CO₂ pada sumbu Y dan emisi CO₂ yang dapat dikurangi pada sumbu X seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Dengan menggunakan kurva ini maka akan lebih mudah mengetahui besar kecilnya CO₂ yang dapat dikurangi pada biaya pengurangan emisi tertentu untuk masing-masing teknologi. Dari Gambar 5 terlihat bahwa yang berpotensi untuk mengurangi emisi CO₂ pada ada tiga yaitu penggunaan lampu TL, pembangkit listrik tenaga air dan geothermal. Penggunaan lampu TL merupakan sisi permintaan yang banyak berhubungan dengan individu sehingga sukar untuk dilaksanakan dalam jumlah besar.



Gambar 4. Kurva CERI untuk Indonesia

5. Kesimpulan

Dengan memanfaatkan *fleksible mechanism* yaitu CDM maka diharapkan negara berkembang, khususnya Indonesia dapat mengambil manfaat dari mekanisme tersebut dengan mengembangkan energi terbarukan. Pengembangan energi terbarukan disamping dapat mengurangi emisi GRK juga mempunyai keuntungan yaitu:

- mengurangi biaya investasi bagi negara berkembang
- transfer teknologi, dan
- memperoleh teknologi yang ramah lingkungan.

Energi terbarukan yang mempunyai prospek untuk dikembangkan adalah pembangkit listrik tenaga air dan panas bumi. Pengembangan kedua jenis pembangkit ini masih sulit dilaksanakan saat ini karena biaya investasinya tinggi. Biaya investasi yang harus dibayar oleh pemerintah diharapkan mendapatkan disubsidi melalui CDM sehingga pengembangan energi terbarukan dapat menjadi ekonomis dan mampu bersaing dengan pengembangan energi fosil.

Daftar Pustaka

- Callan, S.J. and Thomas, J.M. (2000) *Environmental Economics and Management: Theory, Policy, and Applications*, The Dryden Press.
- Chayes, A. (1998) *A Suggested Model for Implementing the Clean Development Mechanism*, Harvard Law School.
- Cooper, R.N. (2000) *International Approaches to Global Climate Change*, The World Bank Research Observer, Vol.15, No.2, August 2000.
- Ellerman, A.D., Jacoby, H.D., Decaux, A. (1998) *The Effects on Developing Countries of the Kyoto Protocol and CO₂ Emissions Trading*, Joint Program on the Science and Policy of Global Change, Massachusetts Institute of Technology.
- Larson, D.F. and Parks, P. (1998) *Risks, Lessons Learned and Secondary Markets for Greenhouse Gas Reduction*, World Bank's Research Department – ECON.
- Princiotta, F.T. (1991) *Pollution Control for Utility Power Generation, 1990 to 2020*, Proceeding of Energy and the Environment in the 21st, The MIT Press, p. 624-649.
- Sugiyono, A. (1999) *Energy Supply Optimization with Considering the Economic Crisis in Indonesia*, Proceeding of the 8th Scientific Meeting, Indonesia Student Association in Japan, Osaka.
- Sugiyono, A. (2000) *Prospek Penggunaan Teknologi Bersih untuk Pembangkit Listrik dengan Bahan Bakar Batubara di Indonesia*, Jurnal Teknologi Lingkungan, Vol.1, No.1, hal. 90-95, BPPT, Jakarta.
- Sugiyono, A. (2001) *Renewable Energy Development Strategy in Indonesia: CDM Funding Alternative*, Proceeding of the 5th Inaga Annual Scientific Conference and Exhibition, Inaga, Yogyakarta.