

# PERMINTAAN DAN PENYEDIAAN ENERGI BERDASARKAN KONDISI PEREKONOMIAN DI INDONESIA DENGAN MENGGUNAKAN MODEL *NONLINEAR PROGRAMMING*

Oleh: Agus Sugiyono<sup>\*)</sup>

## ABSTRACT

*Energy demand and supply model is developed using combination of top-down and bottom-up paradigm. Mathematically, the model is represented as a nonlinear programming problem and solved using GAMS software. The model is implemented to forecast energy demand and supply in Indonesia from the year 2000 until 2030. Using personal computer with Pentium 200 MHz processor, the problem is solved in 3 minutes. Two scenarios were built to analyze the output, i.e. NOK scenario for a condition if there is no economic crisis and BAU scenario for the current situation with economic crisis. Output of the model shows that under NOK scenario energy demand grow with 4.3 % per year and with BAU scenario the growth is only 2.9 % per year. Coal is a main energy supply to fulfill the demand if there is no economic crisis. Under the current situation, natural gas and coal have a big share for primary energy supplies.*

## I PENDAHULUAN

### 1. Latar Belakang

Secara umum ada dua paradigma dalam membuat model energi, yaitu paradigma model *top-down* dan model *bottom-up*. Model *top-down* membuat analisis perilaku perekonomian secara makro yang berdasarkan harga dan elastisitas. Model *bottom-up* mempertimbangkan berbagai pilihan teknologi untuk penyediaan energi dan sektor pengguna energi dalam terminologi biaya, bahan bakar dan karakteristik emisi. Dalam model *top-down*, representasi pilihan teknologi kurang terinci bila dibandingkan dalam model *bottom-up*. Saat ini beberapa model telah dikembangkan dengan menggabungkan dua paradigma tersebut. Model gabungan menggunakan pendekatan *bottom-up* untuk sektor energi dan digabungkan dengan sektor ekonomi lainnya melalui paradigma model *top-down*.

Di Indonesia berbagai model energi telah digunakan untuk membantu para pengambil keputusan dalam perencanaan energi. Model yang berdasarkan ekonometrik, seperti MEDEE-S, digunakan untuk membuat proyeksi kebutuhan energi. Teknik optimasi dengan fungsi obyektif meminimumkan biaya, seperti MARKAL, digunakan untuk membuat strategi penyediaan energi. Model energi yang digunakan di Indonesia saat ini belum menerapkan teknik penggabungan dua paradigma seperti di atas.

### 2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk membuat proyeksi permintaan dan penyediaan energi di Indonesia. Untuk keperluan tersebut dibuat model permintaan dan penyediaan energi yang menggunakan paradigma gabungan *top-down* dan *bottom-up*. Proyeksi permintaan dan penyediaan energi dilakukan untuk dua kasus perekonomian di Indonesia yaitu sebelum

---

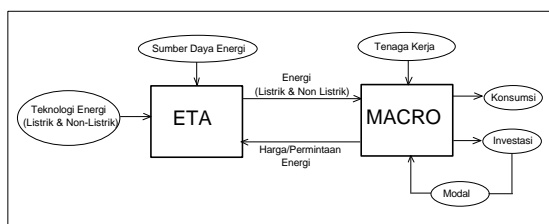
<sup>\*)</sup> Staf Peneliti Direktorat Teknologi Konversi dan Konservasi Energi, BPPT

dan setelah krisis ekonomi. Penelitian dilakukan di Laboratorium Mori, Science Universitas of Tokyo, Jepang pada tahun 1994 - 1995 dan dilanjutkan di BPPT, Jakarta pada tahun 1997 - 1999.

### 3. Metodologi

#### 3.1. Metode

Metode yang digunakan dalam pembuatan model guna penelitian permintaan dan penyediaan energi di Indonesia adalah model kesetimbangan umum (*general equilibrium model*). Metode ini diadaptasi dari model ETA-MACRO seperti pada Gambar 1[4][5]. Kesetimbangan umum dalam model ini direpresentasikan sebagai persamaan matematik dalam bentuk *nonlinear programming*.



Sumber : Manne, A.S. and Richels, R.G., 1992; Sugiyono, A. and Mori, S., 1995

Gambar 1. Model ETA-MACRO

Model dibuat dengan tahun dasar 1995 dan untuk memproyeksikan permintaan dan penyediaan energi di Indonesia sampai tahun 2030. Periode proyeksi diambil 5 tahun untuk 1 periode, sehingga ada 7 periode dalam model. Untuk periode pertama (tahun 2000) ada beberapa hal yang harus diperhitungkan akibat adanya krisis ekonomi di Indonesia yang terjadi mulai tahun 1997. Beberapa parameter harus diubah supaya sesuai dengan kondisi krisis tersebut. *Discount rate* untuk seluruh periode diambil 10 %. Satuan energi yang digunakan adalah MTOE (*Million Ton Oil Equivalent*) dan

nilai mata uang menggunakan konstant *US dollar* tahun 1990.

#### 3.2. Perangkat Lunak

Model dibuat menggunakan bahasa GAMS (*General Algebraic Modeling System*). Model ini mempunyai 1556 persamaan dan 1225 variabel. Dengan menggunakan personal komputer yang mempunyai *processor* Pentium 200 MHz dibutuhkan waktu sekitar 3 menit untuk mengeksekusi model. GAMS dapat dijalankan pada personal komputer baik yang berbasis Windows maupun DOS (*Disk Operating System*).

GAMS menggunakan metode simpleks standard yang dikembangkan oleh G. Danzig untuk menyelesaikan persamaan *linear programming*. Untuk menyelesaikan persoalan *nonlinear programming* ada dua metode yang digunakan :

- Algoritma *Lagrangean* yang dikembangkan oleh S. M. Robinson bila yang tidak *linear* adalah fungsi pembatas.
- Algoritma *Reduced Gradient* yang dikembangkan oleh P. Wolfe dikombinasikan dengan Algoritma *Quasi-Newton* yang dikembangkan W.C. Davidon bila yang tidak *linear* adalah fungsi obyektif.

Baik untuk menyelesaikan persoalan *linear* maupun *nonlinear programming*, ada modul tambahan yang digunakan bila jumlah variabelnya besar. Modul OSL dapat digunakan hanya untuk menyelesaikan persoalan *linear programming*. Sedangkan modul MINOS dapat digunakan untuk menyelesaikan persoalan baik *linear* maupun *nonlinear programming*.

#### 3.3. Perangkat Keras

Perangkat keras minimum yang diperlukan untuk menjalankan model ini adalah personal komputer yang menggunakan *processor* Intel 486 atau yang lebih tinggi dengan RAM (*Random*

Access Memory) minimal 8 Mbyte dan hardisk sebesar 200 Mbyte.

**3.4. Data**

Data yang berkaitan dengan kondisi makroekonomi diperoleh dari IMF (*International Monetary Fund*) dan BPS (Biro Pusat Statistik) dari tahun 1980 sampai tahun 1996. Sedangkan data yang berhubungan dengan energi diperoleh dari beberapa publikasi dari institusi yang berhubungan dengan bidang energi seperti DJLPE (Direktorat Jenderal Listrik dan Pengembangan Energi), KNI-WEC (Komite Nasional Indonesia - *World Energy Council*), PT PLN Persero, BPPT, dan Pertamina. Data setelah terjadi krisis ekonomi diperoleh dari berbagai artikel di surat kabar dan majalah yang terbit selama tahun 1997 sampai dengan awal tahun 1999.

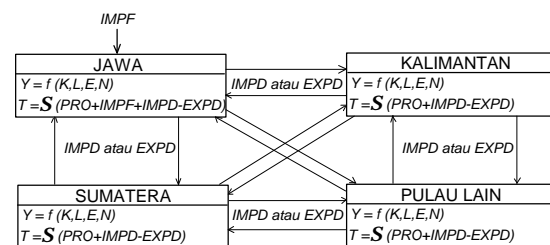
**II MODEL NONLINEAR PROGRAMMING**

Secara umum penyelesaian persoalan *nonlinear programming* lebih sulit untuk mendapatkan solusi yang optimal bila dibandingkan dengan persoalan *linear programming*. Pembuatan model harus dilakukan secara bertahap, mulai dari yang paling sederhana dan kemudian dikembangkan secara bertahap hingga menjadi kompleks sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Persoalan *nonlinear programming* kebanyakan dapat mudah memperoleh solusi yang optimal jika variabel utama ada nilai awalnya. Nilai awal ini dapat diimplementasikan dengan menggunakan konstanta, *bound* dan *scaling variable* dalam bahasa GAMS.

**1. Aliran Energi-Ekonomi**

Dalam model, Indonesia dibagi menjadi 4 wilayah yaitu Jawa, Sumatera, Kalimantan, dan pulau lainnya. Tiap wilayah dapat mengimport maupun mengekspor energi ke wilayah lain. Di

wilayah Jawa ditambah lagi dapat mengimport energi dari luar negeri. Untuk masing-masing wilayah diasumsikan tidak ada mobilitas dalam hal modal maupun tenaga kerja. Blok diagram model secara global ditunjukkan pada Gambar 2. *Y* merepresentasikan *output* dari fungsi produksi, *K* adalah modal, *L* adalah tenaga kerja, *E* adalah energi listrik, dan *N* adalah energi non-listrik. Sedangkan *T* merepresentasikan jumlah penyediaan energi total yang terdiri atas produksi (*PRO*), import dari luar negeri (*IMPF*, khusus wilayah Jawa), import domestik (*IMPD*) dan ekspor domestik (*EXPD*).



Sumber : Sugiyono, A. and Mori, S., 1995

Gambar 2. Blok Diagram Model

Masing-masing wilayah mempunyai aliran energi seperti pada Gambar 3. Aliran energi ini merupakan jaringan yang menghubungkan sisi penyedia energi ke sisi pemakai energi melalui teknologi energi dan berbagai jenis bahan bakar. Untuk mengurangi kerumitan, energi primer dibagi menjadi lima kelompok yaitu : batubara, gas alam, minyak bumi, energi terbarukan (selain biomasa yaitu tenaga air, dan geothermal) dan biomasa (sebagai energi tidak komersial). Sisi pemakai dikelompokkan menjadi tiga yaitu : sektor industri, sektor transportasi dan sektor lainnya. Sedangkan energi sekunder dikelompokkan menjadi energi listrik dengan teknologi pembangkit listrik dan energi non-listrik yang teknologi penggunaannya tergantung dari jenis pemanfaatan di sisi pemakai.

Tabel 1. Cadangan Energi Primer

Cadangan	Minyak	Gas Alam		Batubara		Energi Air		Geothermal	
	10 <sup>9</sup> TOE	TSCF	10 <sup>9</sup> TOE	10 <sup>9</sup> Ton	10 <sup>9</sup> TOE	GW	10 <sup>9</sup> TOE	GW	10 <sup>9</sup> TOE
Jawa	0,275	8,89	0,217	0,06	0,028	4,5	0,001	7,8	0,004
Sumatera	0,834	19,84	0,484	24,68	12,955	15,8	0,007	4,9	0,003
Kalimantan	0,193	22,81	0,556	11,5	6,033	21,6	0,010	-	-
Pulau Lainnya	0,108	38,49	0,938	0,1	0,056	33,6	0,015	3,4	0,001
<b>Indonesia</b>	<b>1,411</b>	<b>90,03</b>	<b>2,195</b>	<b>36,34</b>	<b>19,071</b>	<b>75,5</b>	<b>0,033</b>	<b>16,1</b>	<b>0,007</b>

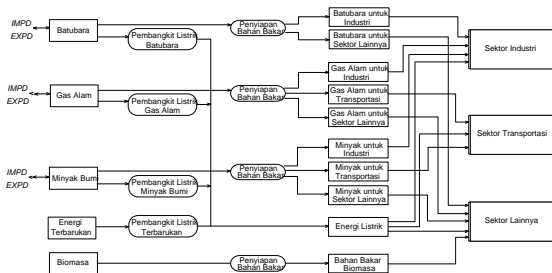
Sumber : Symon, A., 1997; Sugiyono, A. and Mori, S., 1995

2. Rumus Matematik

Rumus utama adalah fungsi produksi *Cobb-Douglas* untuk menghitung *gross domestic product* atau *output (Y)* pada periode *t* untuk wilayah *r*.

$$Y_{t,r} = A_{t,r} [K_{t,r}^{KPVS} L_{t,r}^{(1-KPVS)}]^{(1-ESUB)} [E_{ind,t,r}^{ELVS} N_{ind,t,r}^{(1-ELVS)}]^{ESUB} \quad (1)$$

$E_{ind,t,r}$  dan  $N_{ind,t,r}$  menyatakan produksi energi listrik dan non-listrik untuk sektor industri dalam satuan MTOE.  $L$  adalah tenaga kerja yang merupakan fungsi eksogenous.  $K$  menyatakan modal dan  $A$  adalah faktor *technical progress*. Parameter ekonomi makro yang digunakan adalah *ESUB* yang menyatakan nilai pangsa energi, *KPVS* dan *ELVS* masing-masing menyatakan nilai pangsa kapital dan nilai pangsa energi listrik.



Sumber : Sugiyono, A. and Mori, S., 1995

Gambar 3. Aliran Energi [5]

Permintaan energi untuk sektor transportasi dan sektor lainnya dihitung dengan menggunakan Persamaan 2 dan Persamaan 3. Penyediaan energi baik untuk

energi listrik dan non-listrik harus mampu memenuhi permintaan energi.

$$N_{tra,t,r} + \frac{E_{tra,t,r}}{EF_{tra,t,r}} \geq B_{tra,t,r} Y_{t,r}^a L_{t,r}^{(1-a)} \quad (2)$$

$$N_{lain,t,r} + \frac{E_{lain,t,r}}{EF_{lain,t,r}} \geq B_{lain,t,r} Y_{t,r}^b L_{t,r}^{(1-b)} \quad (3)$$

Parameter **a** dan **b** menyatakan nilai pangsa pendapatan untuk sektor transportasi dan sektor lainnya. *EF* menyatakan efisiensi penggunaan energi listrik dan *B* adalah konstanta.

Fungsi pembatas yang lain adalah ketersediaan sumber energi (*RES*), khususnya sumber energi fosil seperti batubara, gas alam dan minyak bumi. Jumlah energi yang diproduksi ditambah ekspor (*EXPD*) dan dikurangi import (*IMPD* dan *IMPF*) harus lebih kecil atau sama dengan ketersediaan sumber energi (Tabel 1).

$$\sum_t (E_{t,r} + N_{t,r} + EXPD_{t,r} - IMPD_{t,r} - IMPF_{t,r}) \leq RES_r \quad (4)$$

Total import dan ekspor domestik harus seimbang dan jumlah totalnya sama dengan nol.

$$\sum_t (EXPD_{t,r} - IMPD_{t,r}) = 0 \quad (5)$$

Dalam model ini, cadangan energi primer diasumsikan tetap dan tidak ada penemuan baru selama periode proyeksi. Produksi

energi terbarukan untuk setiap periode dibatasi sesuai dengan kapasitas cadangannya seperti ditunjukkan pada Persamaan 6 untuk cadangan energi air dan geothermal (*RESREN*) dan Persamaan 7 untuk energi biomasa (*RESBIO*).

$$E_{t,r} \leq RESREN_{t,r} \quad (6)$$

$$N_{t,r} \leq RESBIO_{t,r} \quad (7)$$

Produksi dapat dimanfaatkan menjadi konsumsi (*C*), investasi (*I*) dan untuk membayar biaya penggunaan energi. Biaya penggunaan energi (*EC*) terdiri atas biaya produksi dan biaya transportasi. Biaya produksi ditunjukkan pada Tabel 2 sedangkan biaya transportasi ditunjukkan pada Tabel 3. Jarak antar wilayah diasumsikan sebesar 1000 km.

Tabel 2. Biaya Produksi Energi

	Biaya Produksi US Dollar per TOE				
	Minyak Bumi	Gas Alam	Batu bara	Air & Geoth.	Bio-masa
Listrik ( <i>ECST</i> )	500	480	550	600	-
Non-Listrik ( <i>NCST</i> )	105	73	84	-	50

Sumber : Fujii, Y., 1993; Sugiyono, A. and Mori, S., 1995

Tabel 3. Biaya Transportasi Energi

	Biaya Transportasi ( <i>CSTR</i> ) US Dollar/TOE/1000 km
LNG	4,79
Pipa Gas Alam	19,00
Minyak Bumi	0,67
Batubara	0,98
Jaringan Listrik	170,11

Sumber : Fujii, Y., 1993; Sugiyono, A. and Mori, S., 1995

$$Y_{t,r} = C_{t,r} + I_{t,r} + EC_{t,r} \quad (8)$$

$$EC_{t,r} = ([E_{t,r} \times ECST] + [N_{t,r} \times NCST] + [IMPD + IMPF + EXPD] \times CSTR) \times n \quad (9)$$

*n* menyatakan jumlah tahun dalam satu periode dan dalam model ini nilainya adalah 5.

Nilai modal untuk periode *t+1* merupakan fungsi dari modal sebelumnya

dan nilai investasi seperti pada Persamaan 10.

$$K_{t+1,r} = (1 - d)^n K_{t,r} + n \times I_{t,r} \quad (10)$$

Parameter *d* adalah tingkat depresiasi. Untuk menghindari pertumbuhan teknologi baru yang terlalu cepat maka dibuat fungsi pembatas seperti pada Persamaan 11 untuk energi listrik dan Persamaan 12 untuk energi non-listrik.

$$E_{t+1,r} = (1 - d)^n E_{t,r} \quad (11)$$

$$N_{t+1,r} = (1 - d)^n N_{t,r} \quad (12)$$

Fungsi obyektif dari model ini adalah memaksimalkan kesejahteraan sosial yang dinyatakan dengan Persamaan 13. *S* adalah pangsa pendapatan per kapita untuk setiap wilayah dan *d* adalah *discount rate*.

$$Max \sum_{t,r} (S_r \times L_{t,r} \times \log \left( \frac{C_{t,r}}{L_{t,r}} \right) \times (1 - d)^t) \quad (13)$$

Penggunaan energi akan menghasilkan emisi seperti SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>. Dalam model ini hanya emisi CO<sub>2</sub> yang diperhitungkan sesuai dengan semaraknya pembicaraan masalah pemanasan global akhir-akhir ini. Emisi CO<sub>2</sub> dihitung secara langsung dari penggunaan energi untuk setiap sektor dengan teknologi tertentu. Rumus yang digunakan ditunjukkan pada Persamaan 14 dan koefisien emisi setiap jenis energi baik menggunakan teknologi untuk pembangkit (*ECH*) maupun teknologi non-pembangkit (*NCH*) ditampilkan pada Tabel 4.

$$CO2_{t,r} = (E_{t,r} \times ECH + N_{t,r} \times NCH) \quad (14)$$

### III HASIL PENELITIAN

Dalam makalah ini dianalisis hasil dari eksekusi model yang dibuat. Dua skenario dibuat untuk dianalisis yaitu skenario bila tidak terjadi krisis ekonomi (*NOK*) dan skenario *base line* (*BAU*) yang

merupakan kondisi seperti saat ini setelah terjadi krisis ekonomi. Skenario NOK merepresentasikan studi yang dilakukan sebelum terjadinya krisis ekonomi. Disamping itu juga dilakukan analisis sensitivitas terhadap *discount rate* untuk melihat pengaruhnya terhadap permintaan energi dan terhadap pertumbuhan ekonomi.

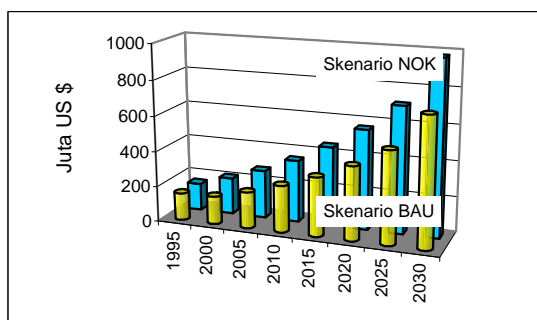
Tabel 4. Koefisien emisi CO<sub>2</sub> dalam ton CO<sub>2</sub> per TOE

Bahan Bakar	Koefisien Emisi CO <sub>2</sub>	
	Pembangkit Listrik	Non Pembangkit Listrik
Batubara	3.667	3.667
Minyak Bumi	3.025	3.025
Gas Alam	2.119	2.119
Energi Terbarukan	0.000	0.000

Sumber : Manne, A.S. and Richels, R.G., 1992.

### 1. Pendapatan Nasional

Proyeksi pendapatan nasional untuk skenario NOK dan BAU ditunjukkan pada Gambar 4. Untuk skenario NOK pada tahun 2000 pendapatan nasional diperkirakan masih mengalami pertumbuhan sebesar 6,0 % per tahun dan rata-rata pertumbuhan sebesar 5,4 % per tahun untuk jangka panjang. Hasil ini sangat optimistik yang bertitik-tolak dari data historis selama kurun waktu 15 tahun yang menunjukkan bahwa pertumbuhan ekonomi Indonesia rata-rata tumbuh sebesar 6,5 % per tahun.



Gambar 4. Pendapatan Nasional

Karena terjadi krisis ekonomi yang mengakibatkan banyak proyek infrastruktur tertunda dan berkurangnya jumlah produksi dari industri besar dan menengah, maka untuk skenario BAU pendapatan nasional pada tahun 2000 diperkirakan hanya tumbuh sebesar 0,3 % per tahun dan untuk jangka panjang akan tumbuh rata-rata sebesar 4,5 % per tahun.

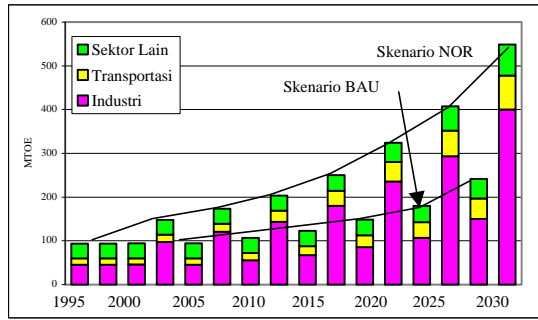
### 2. Permintaan Energi Sektor

Pertumbuhan permintaan energi selaras dengan pertumbuhan ekonomi dan penduduk. Pertumbuhan ekonomi sudah dibahas sebelumnya, sedangkan pertumbuhan penduduk dalam model ini diasumsikan sebagai fungsi eksogenous yang tumbuh sebesar 1,8 % per tahun sampai tahun 2000 dan menurun pertumbuhannya menjadi sebesar 1,0 % per tahun untuk jangka panjang.

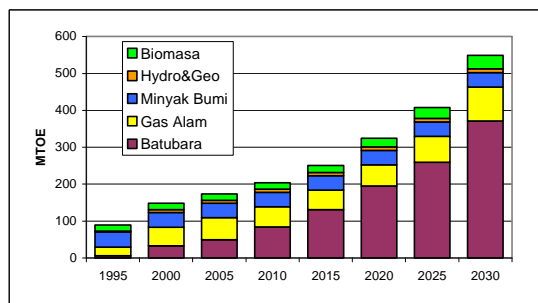
Permintaan energi untuk setiap sektor ditunjukkan pada Gambar 5. Permintaan energi untuk skenario NOK mengalami pertumbuhan dari 90 MTOE pada tahun 1995 menjadi sebesar 549 MTOE pada tahun 2030 atau tumbuh sebesar 4,3 % per tahun. Untuk jangka panjang sektor industri merupakan sektor terbesar dalam menggunakan energi yaitu sebesar 72 % dari total permintaan energi. Untuk skenario BAU pertumbuhan permintaan energi hanya sebesar 2,9 % per tahun. Pada tahun 1995 permintaan energi adalah sebesar 90 MTOE dan naik menjadi sebesar 241 MTOE pada tahun 2030. Pangsa terbesar dalam penggunaan energi tetap didominasi oleh sektor industri.

### 3. Penyediaan Energi Primer

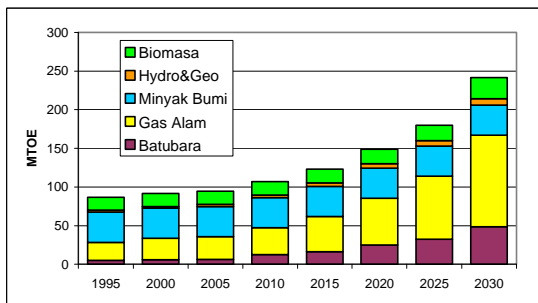
Untuk memenuhi permintaan energi, batubara dan gas alam merupakan energi primer yang paling ekonomis untuk memenuhi sebagian besar kebutuhan tersebut. Penyediaan energi untuk skenario NOK ditunjukkan pada Gambar 6 dan untuk skenario BAU ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 5. Permintaan Energi Sektoral



Gambar 6. Penyediaan Energi Skenario NOK



Gambar 7. Penyediaan Energi Skenario BAU

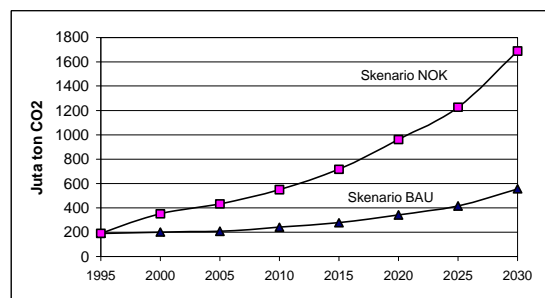
Pada tahun dasar pangsa batubara hanya sekitar 6 % dari total penyediaan energi. Pangsa terbesar penyediaan energi adalah dari minyak bumi sebesar 45 % dan diikuti gas alam sebesar 26 %, serta biomasa sebesar 20 %. Sisanya diisi oleh energi air dan geothermal. Pada skenario NOK, batubara meningkat dengan tajam yaitu sebesar 12,5 % per tahun. Hal ini akibat kenaikan permintaan energi tidak

bisa hanya dipenuhi oleh gas alam sehingga batubara merupakan pilihan yang paling ekonomis. Minyak bumi tidak banyak mengalami pertumbuhan karena adanya keterbatasan sumber dalam negeri. Pada akhir periode proyeksi, batubara mempunyai pangsa sebesar 67,6 % diikuti oleh gas alam (16,8 %), minyak bumi (7,1 %), biomasa (6,5 %) dan sisanya adalah energi air dan geothermal.

Pada skenario BAU, batubara dan gas alam mengalami pertumbuhan rata-rata sebesar 6,6 % dan 4,7 % per tahun. Sedangkan energi terbarukan (energi air dan geothermal) juga tumbuh rata-rata sebesar 3,9 % per tahun. Untuk jangka panjang, pangsa terbesar dari penyediaan energi adalah gas alam (49,1 %) diikuti oleh batubara (20,2 %), minyak bumi (16,1 %), dan biomasa (11,2 %). Energi air serta geothermal tetap di posisi terkecil dengan pangsa sebesar 3,5 %.

4. Emisi CO<sub>2</sub>

Dengan meningkatnya penggunaan bahan bakar fosil, khususnya batubara maka emisi CO<sub>2</sub> juga akan meningkat. Perbandingan emisi CO<sub>2</sub> akibat penggunaan energi, baik untuk skenario NOK maupun BAU ditampilkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Emisi CO<sub>2</sub>

5. Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas dilakukan dengan mengubah harga *discount rate* dari 10 % menjadi 5 %. Makin rendah nilai *discount rate* maka akan menaikkan pendapatan nasional. Hal ini pada akhirnya akan

meningkatkan permintaan energi. Dengan discount rate 10 % maka pada tahun 2020 Indonesia akan menjadi net importir minyak. Dengan *discount rate* yang lebih rendah maka lebih murah mengimport minyak dari pada memproduksi minyak sendiri.

#### IV KESIMPULAN

Permintaan energi akan tumbuh sebesar 4,3 % per tahun seandainya tidak terjadi krisis ekonomi. Dalam kondisi krisis ekonomi seperti saat ini, pertumbuhan permintaan energi diproyeksikan hanya sebesar 2,9 % per tahun. Untuk memenuhi kebutuhan energi tersebut batubara menjadi primadona sebagai sumber energi primer bila tidak terjadi krisis. Dengan adanya krisis ekonomi yang mengakibatkan permintaan energi tidak mengalami banyak kenaikan maka gas alam dan batubara yang berperan besar sebagai sumber energi primer.

Dengan berperannya bahan bakar fosil sebagai energi di masa depan maka emisi CO<sub>2</sub> dari penggunaan energi juga akan meningkat. Dalam model ini hanya emisi CO<sub>2</sub> yang diperhitungkan. Untuk pengembangan studi selanjutnya, model dapat dikembangkan untuk menganalisis emisi seperti SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, dan debu.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Brooke, A., Kendrick, D., and Meeraus, A., 1992, *GAMS: A User's Guide*, The Scientific Press, USA.
2. Fujii, Y., 1993, *Energy System for Mitigation and Evaluation of CO<sub>2</sub> Emission Problem*, in Japanese, Ph.D. Dissertation, Tokyo University, Tokyo.
3. Loulou, R., Shukla, P.R., and Kanudia, A., 1997, *Energy and Environment Policies for a Sustainable Future*, Allied Publishers Limited, New Delhi.
4. Manne, A.S. and Richels, R.G., 1992, *Buying Greenhouse Insurance : The Economic Costs of CO<sub>2</sub> Emission Limit*, The MIT Press.
5. Sugiyono, A. and Mori, S., 1995, *Energy-Economy Model to Evaluate the Future Energy Demand-Supply in Indonesia*, Proceeding of Energy System and Economic Conference, The Institute of Energy and Resource, Japan. p. 365-370.
6. Symon, A., 1997, *Energy in Indonesia*, Financial Times Energy Publishing Asia Pacific, Singapore.