

# **Model Energi Global<sup>1</sup>**

**Ir, Agus Sugiyono, M.Eng.**

Peneliti BPP Teknologi

## **Intisari**

Model energi global dapat merupakan salah satu alat untuk perencanaan energi, yaitu untuk menganalisis keterkaitan ekonomi, energi dan lingkungan bagi keseluruhan wilayah di dunia dengan memperhitungkan perdagangan energi antar negara untuk jangka panjang. Dalam makalah ini dibahas model energi global yang sudah ada saat ini, yaitu : model Edmond-Reilly, model Global 2100 dan model MARIA. Model-model ini dikembangkan dari model sederhana untuk satu wilayah negara dengan menambahkan perdagangan energi antar negara dan mengadaptasi teknik terbaru yang lebih baik untuk menganalisis persoalan bidang energi. Bagi Indonesia yang sedang mempersiapkan memasuki era perdagangan bebas, perlu mengadaptasi model energi global yang telah ada tersebut. Karena model-model tersebut menggunakan PC maka tidaklah sulit untuk segera direalisasikan.

## **1. Pendahuluan**

Sejalan dengan pertumbuhan permintaan energi, perlu suatu studi kelayakan untuk membangun infrastruktur penyediaan energi termasuk di dalamnya mempersiapkan teknologi dan finansialnya. Penggalan sumber energi serta dampak negatifnya terhadap lingkungan merupakan salah satu karakteristik persoalan dalam perencanaan energi. Untuk menangani situasi yang kompleks ini, perencana mempunyai beberapa cara untuk menganalisis yang meliputi : kebijaksanaan jumlah dan harga energi, investasi, riset dan pengembangan lainnya. Keseluruhan aktivitas ini mempunyai tingkat ketidakpastian yang dapat di luar kendali dari suatu negara, seperti harga energi dunia. Hal ini memerlukan analisis berdasarkan data-data yang tersedia dan biasanya menggunakan komputer sebagai alat bantu untuk keperluan tersebut dalam bentuk model energi.

Model energi pada saat ini telah digunakan secara luas oleh berbagai negara sejak terjadi krisis minyak pada tahun 1973-1974. Model matematik banyak digunakan dalam model energi. Model tersebut bervariasi mulai dari model yang berorientasi pada sisi penyediaan energi saja sampai model yang menyeluruh yang meliputi sistem energi dan ekonomi.

Dalam kerjasama ekonomi Asia-Pasific (APEC) yang bertujuan untuk menggalang kerjasama ekonomi dan menciptakan perdagangan bebas di wilayah tersebut, bidang energi juga mendapat perhatian yang besar. Untuk keperluan itu perlu suatu perencanaan yang baik dalam menangani kerjasama bidang energi. Model energi global dapat merupakan salah satu alat untuk keperluan

---

<sup>1</sup> Laporan Teknis, Desember 1995

perencanaan energi tersebut. Model ini menganalisis keterkaitan ekonomi, energi dan lingkungan untuk keseluruhan wilayah di dunia dengan memperhitungkan perdagangan energi antar negara untuk jangka panjang. Model ini sudah banyak digunakan meskipun belum ada yang dikhususkan untuk keperluan APEC.

Dalam makalah ini akan dibahas beberapa model energi global yang dapat dimodifikasi oleh perencana energi di Indonesia untuk menganalisis persoalan bidang energi dalam menghadapi pasaran bebas. Dibahas juga perangkat lunak dan perangkat keras yang banyak digunakan saat ini.

## 2. Model Energi Umum

Berbagai model energi telah dikembangkan untuk membantu dalam perencanaan energi. Model yang berdasarkan ekonometrik banyak digunakan untuk membuat proyeksi kebutuhan energi, sedangkan untuk strategi penyediaan energi, digunakan teknik optimasi dengan fungsi obyektif tertentu. Disamping itu, juga telah dikembangkan model rekursif yang berdasarkan kesetimbangan permintaan dan penyediaan energi dengan mengatur parameter harga. Secara umum klasifikasi model energi ditunjukkan pada Tabel 1.

Table 1. Klasifikasi Model Energi [1]

Model Energi	Tujuan	Metodologi
Model permintaan energi	Mengkaji dan menganalisis struktur dan variable permintaan.	-ekonometrik -engineering process
Model penyediaan energi	Mengidentifikasi jenis energi dan teknologi mix.	-simulasi -optimasi
Model ekonomi energi	Menganalisis hubungan timbal balik antara sektor energi dan ekonomi.	- simulasi dan optimasi -input output dan ekonometrik -system dynamic

Sebagai tanggapan dari kenaikan penggunaan energi untuk memacu pertumbuhan ekonomi dan kerusakan lingkungan yang ditimbulkan, dewasa ini keterkaitan sistem energi, ekonomi makro dan lingkungan telah menjadi parameter dalam pemodelan energi. Pada umumnya model energi saat ini terdiri atas 3 modul yaitu modul ekonomi makro, modul sistem energi, dan modul lingkungan. Analisis ekonomi makro diperlukan untuk memberi gambaran tentang struktur ekonomi saat ini dan pertumbuhannya. Termasuk di dalamnya input-output dari sektor energi dan analisis keterkaitan sektor energi terhadap perekonomian.

Sistem energi dapat merupakan sistem yang kompleks yang terdiri atas hubungan antara aliran energi dan teknologi energi. Aliran energi menggambarkan jaringan sistem energi dari sumber sampai ke konsumen. Analisis dalam model harus dapat memilih beberapa alternatif yang sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan. Analisis dapat difokuskan pada sisi permintaan, misalnya : evaluasi permintaan energi sekunder yang berdasarkan pertumbuhan ekonomi, konservasi, *demand*

*side management*, dan substitusi antar berbagai jenis energi sekunder. Alternatif lain yaitu analisis sisi penyediaan yang dapat memenuhi permintaan dengan mempertimbangkan sumber energi primer dan teknologi yang tersedia. Dalam perencanaan dan pengambilan keputusan, analisis sisi permintaan harus disesuaikan dengan proyeksi pertumbuhan energi yang konsisten dengan pertumbuhan perekonomian dan sosial serta asumsi kebijaksanaan yang akan diterapkan.

Table 2. Beberapa jenis model energi [2][3]

Model	Organisasi	Perangkat keras	Perangkat lunak	Metode	Ruang lingkup
CO2DB	IIASA	-PC 386 -8 MB RAM -VGA color monitor	-DOS 5.0 -db-VISTA -Graphic C	-Database	-Ekonomi makro -Sistem energi -Dampak lingkungan
EFOM	CEC	-PC 386 & coprocessor -4 MB RAM -VGA graphic card	-DOS 5.0 atau UNIX -FORTRAN atau GAMS/MINOS	-Program linier	-Sistem energi -Detail sistem listrik -Dampak lingkungan
MARKAL	IEA/ETSAP	-PC 386 -4 MB RAM -Color monitor	-DOS 5.0 -OMI dan HSLP atau XPRESS	-Program linier	-Sistem energi -Detail sistem listrik -Dampak lingkungan
MESSAGE III	IIASA	-PC 386 & coprocessor 8 MB RAM 300 MB hard disk -atau Workstation	-UNIX atau MS-DOS -FORTRAN -MINOS, MOPS atau OSL	-Program linier -Simulasi ekonometrik	-Ekonomi makro -Sistem energi -Detail sistem listrik -Dampak lingkungan
ENPEP	IIASA/ U.S. DOE	-PC 386 -2 MB RAM -VGA color monitor	-DOS 3.1	-Simulasi	-Sistem energi -Detail sistem listrik -Dampak lingkungan
LEAP	TELLUS Institute	-PC 286 -640 KB RAM -CGA monitor	-DOS 3.1	-Simulasi	-Ekonomi makro -Sistem energi -Dampak lingkungan
MESAP	IER	-PC 386 -30 MB hard disk	-DOS atau UNIX -MINOS -Paradox atau Quattro -SYSTAT dan IAS	-Simulasi ekonometrik -Program linier	-Ekonomi makro -Sistem energi -Detail sistem listrik -Dampak lingkungan
SUPER/ OLADE-BID	OLADE/IDB	-PC 386 & coprocessor -8 MB RAM -40 MB hard disk	-DOS & Windows -SIPLEX	-Least cost	-Sistem energi -Detail sistem listrik -Dampak lingkungan
ETA- MACRO	Stanford University	-PC 386 & coprocessor -4 MB RAM	-DOS -GAMS/MINOS	-Ekonometrik -Dynamic nonlinier programming	-Ekonomi makro -Sistem Energi
ESG	Swiss Federal Institute of Technology	-PC 386 & coprocessor atau Mac II -16 MB RAM	-DOS 3.0 atau UNIX -Spread sheet program -FORTRAN	-Ekonometrik -Alokasi proporsional	-Input/Output ekonomi -Sistem Energi -Dampak lingkungan

CEC : Commission of the European Communities  
 IEA : International Energy Agency  
 IER : Institute for Energy Economics and the Rational Use of Energy, University of Stuttgart  
 IIASA : International Institute for Applied System Analysis  
 OLADE : Latin American Energy Organization

Dampak penggunaan energi terhadap udara, tanah dan air, serta limbah yang dihasilkan diperhitungkan berdasarkan data yang tersedia, contohnya : karakteristik teknologi energi yang digunakan serta standard dan peraturan dari baku mutu lingkungan. Jumlah emisi tergantung dari jenis energi yang dipakai, teknologi yang digunakan serta peralatan pengurang emisi yang terpasang.

Pada Tabel 2 ditampilkan beberapa jenis model energi yang banyak digunakan saat ini. Model-model tersebut hanya diimplementasikan untuk level satu negara, tanpa ada keterkaitan perdagangan energi antar negara.

## 2.1 Database

Database energi seperti *historical data* penggunaan energi di berbagai sektor serta jenis energi diperlukan untuk membuat model permintaan energi. Secara lebih umum lagi, model energi juga memerlukan data jumlah penduduk, pertumbuhan industri, pertumbuhan ekonomi, serta data teknis, ekonomi dan karakteristik lingkungan dari teknologi energi.

## 2.2 Perangkat keras

Beberapa tahun yang silam, dibutuhkan komputer mainframe untuk pemodelan energi. Komputer mainframe memerlukan ruangan yang besar serta sistem pendingin khusus. Bagi perencana bidang energi tidak mudah untuk membeli komputer jenis ini karena memerlukan biaya investasi dan biaya operasi yang tinggi. Tetapi saat ini model energi mulai ada kecenderungan untuk menggunakan *personal computer* (PC) meskipun masih ada sebagian yang menggunakan komputer mainframe. Penggunaan PC dalam model energi ini karena : kemampuan prosesor semakin baik, waktu proses makin cepat, kapasitas memori dan kapasitas hard-disk semakin besar serta harganya yang relatif murah. Prosesor yang sekarang banyak digunakan yaitu 486 dan Pentium. Prosesor yang terakhir ini mampu untuk melakukan proses pada kecepatan 100 MHz dengan memori 16 MByte. Dengan PC yang tersedia saat ini, model energi global dapat diimplementasikan.

## 2.3 Perangkat lunak

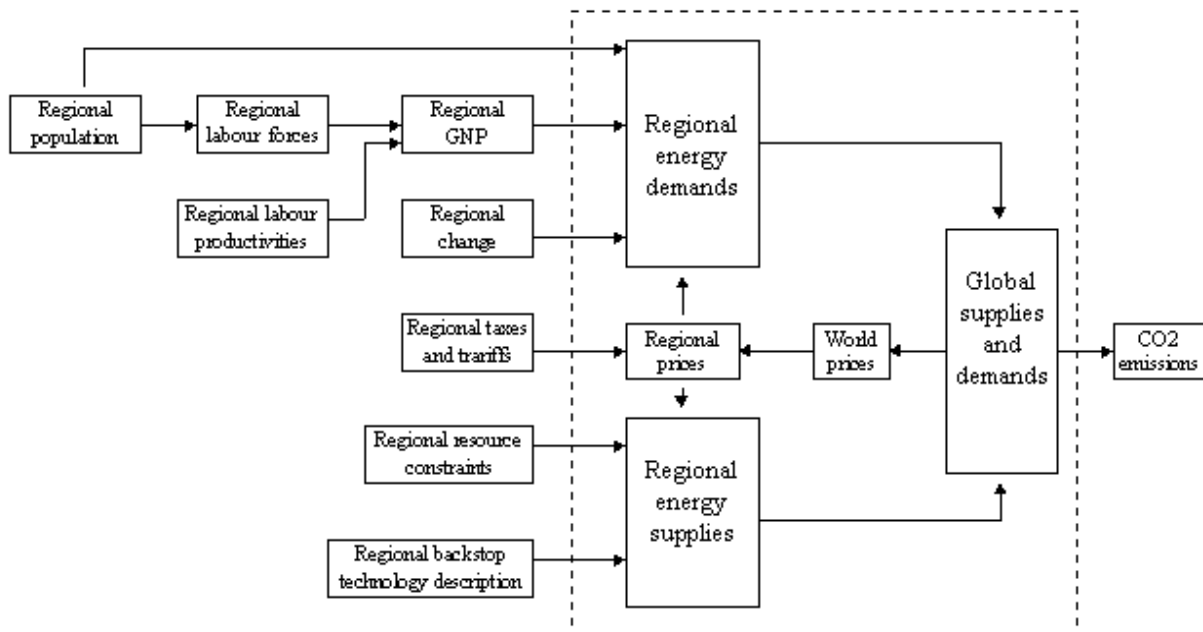
Sejalan dengan perbaikan kemampuan dari perangkat keras, perangkat lunak untuk pemodelan energi juga terus mengalami perbaikan. *Speed sheet* seperti Lotus-123 dan EXCEL merupakan perangkat lunak yang telah banyak dipakai dalam pemodelan energi disamping program yang dibuat menggunakan bahasa Fortran. Ada juga yang berupa paket program yang mudah digunakan tetapi merupakan model *black-box* yang tidak bisa dikembangkan sendiri oleh pemakai model tersebut.

Untuk keperluan optimasi, telah dikembangkan paket program seperti XPRESS-MP dan GAMS (*General Algebraic Modeling System*). Kedua paket program ini proses optimisasinya relatif cepat meskipun dilakukan pada PC. GAMS mempunyai kelebihan dibandingkan XPRESS-MP yaitu dapat digunakan untuk menyelesaikan program nonlinier dengan modul MINOS. GAMS menggunakan metode *simplex* standard yang dikembangkan oleh G. Danzig untuk menyelesaikan program linier. Untuk program nonlinier, digunakan algoritma *projected Lagrangean* bila fungsi pembatasnya tidak linier dan menggunakan algoritma *reduced gradient* yang dikombinasikan dengan *quasi Newton* bila fungsi obyektif tidak linier.

### 3. Model Energi Global

Saat ini telah dikembangkan pendekatan terintegrasi dalam perencanaan energi, disamping memperhitungkan kondisi perekonomian dan lingkungan juga keterkaitan perdagangan energi antar negara yang sering disebut model energi global. Model-model tersebut diantaranya adalah model Edmond-Reilly, Global 2100 dan MARIA. Model-model ini dikembangkan dari model sederhana untuk satu wilayah negara dengan menambahkan perdagangan energi antar negara.

#### 3.1 Model Edmond-Reilly



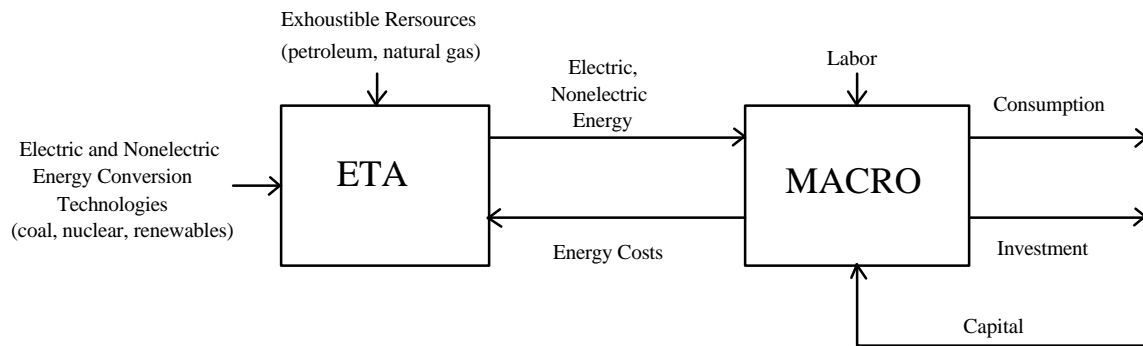
Gambar 1. Struktur model Edmonds-Reilly [4]

Model Edmonds-Reilly yang dipublikasi tahun 1983 merupakan model energi global yang terbagi menjadi 9 wilayah (Amerika, negara OECD bagian barat, negara OECD Asia, Eropa bagian tengah, Asia bagian tengah, Timur Tengah, Afrika, Amerika Latin, dan Asia bagian timur dan selatan). Model terdiri atas 4 modul, yaitu : penyediaan, permintaan, kesetimbangan energi, dan emisi CO<sub>2</sub>. Modul pertama dan kedua menghitung besarnya penyediaan dan permintaan energi untuk 9 jenis energi primer (minyak bumi, gas alam, batubara, energi terbarukan, nuklir, dan tenaga matahari) untuk tiap wilayah. Modul kesetimbangan energi menghitung kesetimbangan pasar global dari perdagangan energi. Analisis dilakukan sampai tahun 2050 dengan tahun 1975 sebagai tahun dasar untuk pemodelan. Model ini menggunakan bahasa Fortran dan dapat dijalankan menggunakan PC. Struktur model Edmonds-Reilly ditunjukkan pada Gambar 1.

Dalam model ini, penyediaan ditentukan berdasarkan model ekstrapolasi sederhana. Produksi dari sumber energi yang terbatas ditentukan berdasarkan fungsi logistik. Parameter utama untuk menentukan permintaan energi adalah : jumlah penduduk, aktivitas ekonomi dan harga dari berbagai jenis energi primer. Harga energi dunia dan permintaan energi untuk tiap wilayah ditentukan berdasarkan kesesuaian dengan fungsi penyediaan energi melalui model kesetimbangan.

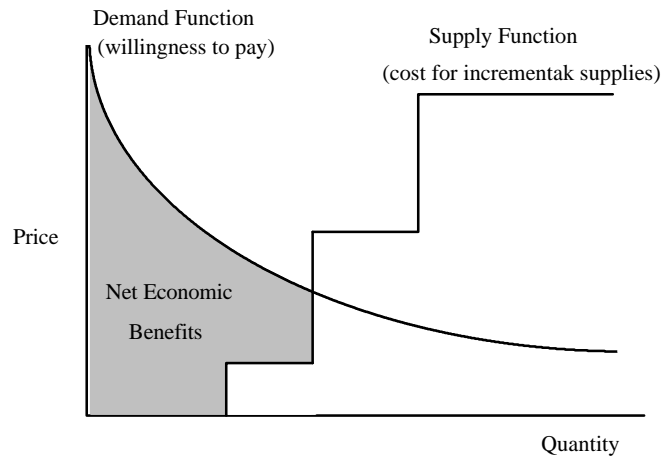
### 3.2 Model Global 2100

A.S. Manne dan R.G. Richels mengembangkan model Global 2100 pada tahun 1990 untuk PC dengan menggunakan perangkat lunak GAMS/MINOS. Model ini merupakan pengembangan dari model ETA-MACRO yang merupakan interaksi antara sektor energi dan kesetimbangan ekonomi. Submodel ETA merupakan model untuk pengkajian teknologi energi dan submodel MACRO merupakan model untuk pertumbuhan ekonomi yang menggunakan fungsi produksi dengan substitusi antara kapital, tenaga kerja dan input energi. Gambar 2 memperlihatkan keterkaitan antara teknologi energi dan ekonomi makro dalam ETA-MACRO.



Gambar 2. Skema model ETA-MACRO [2]

Model ETA-MACRO merupakan alat untuk memproyeksikan penyediaan dan permintaan energi jangka panjang. Penyediaan, permintaan dan harga dihitung melalui *dynamic nonlinear programming*. Metode kesetimbangan parsial diterapkan untuk menghitung besarnya penyediaan energi pada satu perioda. Kemampuan konsumen untuk mengkonsumsi ditunjukkan dengan fungsi peluruhan dan fungsi penyediaan diformulasikan sebagai fungsi step yang meningkat terhadap kuantitas seperti ditunjukkan pada Gambar 3..

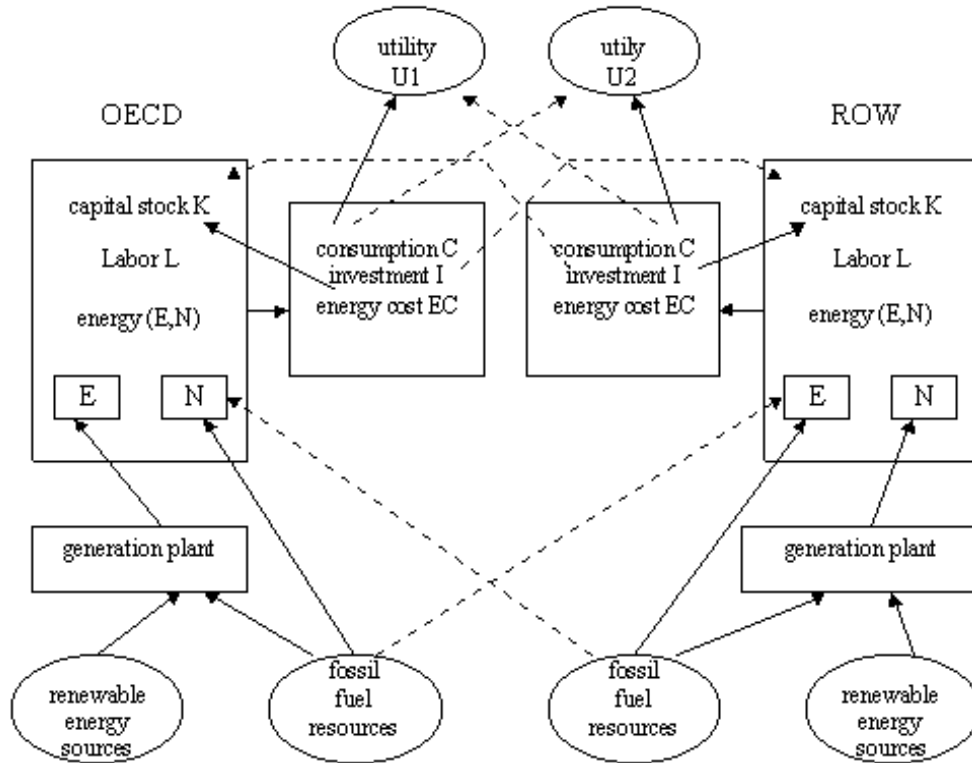


Gambar 3. Mekanisme pasar dan proses optimalisasi [2]

Model Global 2100 terbagi menjadi 5 wilayah, yaitu : Amerika Serikat, OECD, Bekas negara Rusia, Cina, dan negara-negara lainnya. Proyeksinya mempunyai interval 10 tahun dari tahun 2000 sampai tahun 2100 dengan tahun 1990 sebagai tahun dasar untuk pemodelan. Aktivitas ekonomi tiap wialyah dinyatakan dalam satu fungsi produksi dengan beberapa pilihan energi teknologi. Pertumbuhan produk domestik bruto (PDB) merupakan kunci utama untuk pertumbuhan permintaan energi, disamping jumlah penduduk. Dalam model ini pertumbuhan konsumsi energi sebanding dengan kelipatan dua dari pertumbuhan PDB untuk jangka panjang.

### 3.3 Model MARIA

Model MARIA (*Multi-regional Approach for Resource and Industry Allocation*) dikembangkan dari model DICE (*Dynamic Integrated Climate-Economy Model of the Economics of Global Warming*) oleh S. Mori pada tahun 1994. W. Nordhaus mengembangkan model DICE untuk memproyeksikan hubungan antara aktivitas manusia dengan kerusakan lingkungan akibat pemanasan global pada pertumbuhan ekonomi dunia. Model MARIA menambahkan sistem energi pada model DICE. Model ini memproyeksikan teknologi energi untuk jangka panjang disamping memproyeksikan juga harga bahan bakar fosil di pasar dunia dan kemungkinan perdagangan emisi CO<sub>2</sub>. Sumber energi primer dalam model ini adalah : batubara, minyak bumi, gas alam, nuklir, biomasa, dan sumber energi baru lainnya. Energi sekunder terbagi atas energi listrik (E) dan non listrik (N), sedangkan sektor konsumsi final dikelompokkan menjadi : sektor industri, transportasi dan sektor lainnya. Seluruh dunia dibagi menjadi 2 wilayah, yaitu : negara OECD dan negara-negara lainnya (ROW : Rest of World).



Gambar 4. Struktur model MARIA [6]

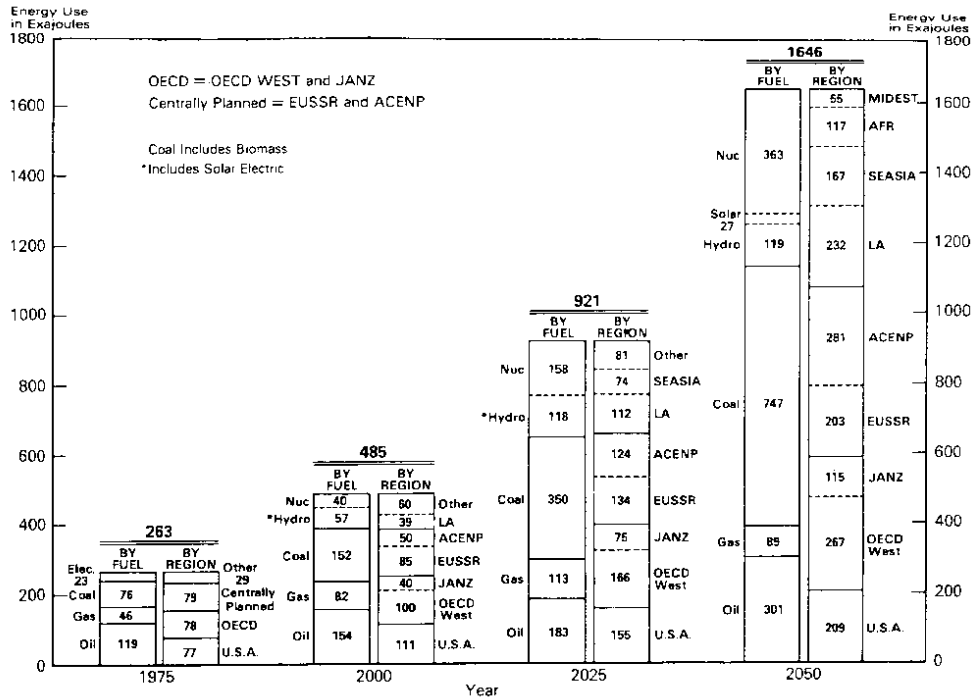
Model ini menggunakan perangkat lunak GAMS dan dapat dijalankan menggunakan PC. Gambar 4 memperlihatkan struktur dari model MARIA. Seperti pada model Global 2100, model ini merupakan *dynamic nonlinear programming*. Kalau dalam model Global 2100 menggunakan fungsi produksi CES (*Constant Elasticity of Substitution*), model ini menggunakan fungsi produksi Cobb-Douglas dengan parameter kapital, tenaga kerja, energi listrik, dan energi nonlistrik. Untuk menjamin hasil perhitungan yang optimal baik untuk tiap wilayah maupun global pada mekanisme perdagangan internasional, model ini menggunakan *Negishi-weight* pada fungsi obyektifnya. Secara matematik, *Negishi-weight* merupakan invers *Lagrange-multiplier* dari fungsi pembatas yang sebanding dengan konsumsi perkapita untuk tiap wilayah.

#### 4. Proyeksi Energi Global

Model Edmonds-Reilly mempunyai pembagian wilayah yang lebih terinci dari pada model lain. Dalam makalah ini hanya hasil proyeksi model Edmonds-Reilly yang dibahas. Gambar 5 memperlihatkan proyeksi energi primer untuk berbagai wilayah dan jenis energi. Mulai tahun 2025 pangsa batubara dalam penyediaan energi dunia mencapai 38 % dan naik menjadi 46 % pada tahun 2050. Permintaan energi untuk wilayah Asia bagian timur dan selatan juga terus meningkat. Pada



tahun 2025 pangsanya hanya 8 % dari total permintaan energi dunia, meningkat menjadi 10 % pada tahun 2050.



Gambar 5. Proyeksi energi primer [5]

## 5. Penutup

Model energi global dikembangkan dari model energi untuk satu wilayah yang telah ada dan mengadaptasi teknik terbaru yang lebih baik untuk menganalisis persoalan bidang energi. Model ini dapat memberi gambaran umum sumber energi yang ekonomis untuk masa depan di tiap wilayah dengan mempertimbangkan perdagangan energi antar wilayah. Bagi Indonesia yang sedang mempersiapkan memasuki era perdagangan bebas, perlu mengadaptasi model energi global yang telah ada seperti model Edmond-Reilly, model Global 2100 atau model MARIA. Karena model-model tersebut menggunakan PC maka tidaklah sulit untuk segera direalisasikan.

## Daftar Pustaka

- [1] A. Reuter dan A. Voss, *Tools for energy planning in developing countries*, Energy - The International Journal, Vol. 15, No. 7/8, hal. 705-714, 1990.
- [2] A.S. Manne dan R.G. Richels, *Buying Greenhouse Insurance : The economic costs of CO2 emission limit*, The MIT Press, 1992.
- [3] IAEA, *Decades : Computerised tools for comparative assessment of electricity generation options and strategies*, Mei, 1994.

- [4] J. Edmonds and J. Reilly, *A long-term global energy-economic model of carbon dioxide release from fossil fuel use*, Energy Economics, hal. 74-88, April 1983.
- [5] J. Edmonds and J. Reilly, *Global Energy Production and Use to the Year 2050*, Energy, Vol. 8, No. 6, hal. 419-432, 1983.
- [6] S. Mori, *MARIA - Multi-regional Approach for Resource and Industry Allocation model - and its first simulations*, Technical report, Department of Industrial Administration, Science University of Tokyo, October 1994.
- [7] W.A. Buehring, *Energy and Economy Modeling on the Microcomputer*, Energy - The International Journal, Vol. 15, No. 7/8, hal. 697-704, 1990.