

OPTIMASI SUPLAI ENERGI DALAM MEMENUHI KEBUTUHAN TENAGA LISTRIK JANGKA PANJANG DI INDONESIA

M. Sidik Boedoyo dan Agus Sugiyono

Abstract

Energy supply optimization is aimed to meet electricity demand for domestic by considering energy reserve and technology options that efficient and environmental friendly.

Based on output of MARKAL Model, the priority of efficient technology is more on retrofiting of de-NO_x, de-SO_x and elective static precipitator on coal utilization. Hydropower and cogeneration also have been chosen for power generation system.

While, other clean technologies such as PFBC (Purverized Fluidized Bed Combustion), IGCC (Integerated Gas Combined Cycle), SHS (Solar Home System), and Fuel Cell are not chosen because their costs are still not competitive.

I. PENDAHULUAN

Dengan memperkirakan laju pertumbuhan ekonomi nasional yang mulai tahun 2000 akan berangsur-angsur pulih hingga mencapai 5,6% pada tahun 2029, diperkirakan selama tiga puluh lima tahun mendatang, konsumsi energi dalam negeri akan meningkat rata-rata sebesar 2,80% per tahun. Dari total konsumsi energi pada periode 1994-1999 diperkirakan sebesar 9% disuplai oleh listrik dan pada periode 2024-2029 akan meningkat menjadi 16%.

Konsumen terbesar dari bahan bakar listrik untuk semua periode adalah sektor industri, kemudian disusul sektor rumah tangga, komersial dan pemerintahan. Sedangkan yang paling kecil mengkonsumsi listrik adalah sektor transportasi, karena pada sektor transportasi bahan bakar listrik hanya dimanfaatkan oleh kereta rel listrik (KRL). Dikemudian hari diharapkan listrik semakin diminati masyarakat, bukan hanya masyarakat industri, tetapi juga oleh semua masyarakat pengguna energi. Hal tersebut disebabkan listrik dapat dikategorikan sebagai bahan bakar bersih yang tidak berdampak negatif terhadap lingkungan, selain itu juga mudah dimanfaatkan, walaupun biaya pemanfaatan bahan bakar listrik masih relatif mahal.

Meskipun pemanfaatan listrik cukup prospektif, tetapi terdapat kendala dalam proses pembangkitannya, mengingat sebagian besar dari bahan bakar yang dimanfaatkan oleh

pembangkit listrik di Indonesia adalah bahan bakar fosil. Untuk itu, agar pembangkit listrik tersebut tidak mengeluarkan emisi yang berdampak negatif terhadap lingkungan dan listrik yang diproduksi dapat dimanfaatkan secara berkesinambungan, diperlukan pemilihan teknologi yang efisien dan ramah lingkungan dengan mempertimbangkan cadangan energi yang berlimpah dan sedapat mungkin memanfaatkan sumber energi yang terbarukan.

Pemilihan teknologi efisien dan ramah lingkungan tersebut harus didasarkan pada teknologi yang mempunyai kriteria handal, ekonomis, dan aman terhadap lingkungan, juga harus memperhatikan cadangan energi yang relatif masih banyak dan terbarukan, sehingga prioritas pemilihan teknologi pembangkit listrik yang efisien dan ramah lingkungan diprioritaskan pada pemanfaatan batubara dan tenaga air.

Untuk mengetahui pilihan teknologi dan energi yang tepat dalam rangka memenuhi kebutuhan listrik nasional, dilakukan penelitian tentang "Optimasi Suplai Energi Dalam Memenuhi Kebutuhan Tenaga Listrik Jangka Panjang Di Indonesia". Sasaran dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

- Meneliti jenis dan besarnya kapasitas pembangkit listrik yang optimal dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik jangka panjang di Indonesia;
- Memberikan gambaran Pembangkit Listrik Masa Depan di Indonesia;

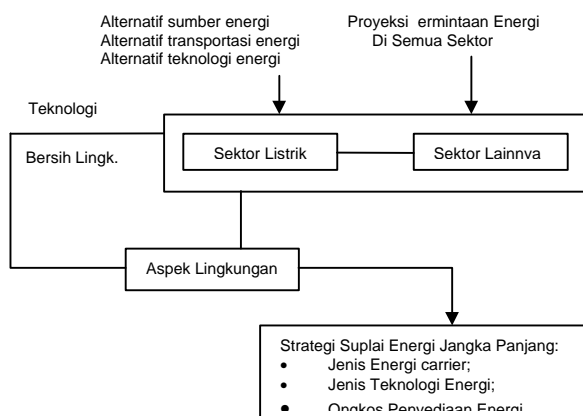
- Menerapkan pemanfaatan komputer yang telah terpasang di BPPT.

II. METHODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian "Optimasi Suplai Energi Dalam Memenuhi Kebutuhan Tenaga Listrik Jangka Panjang Di Indonesia" diperlukan adanya *software* pendukung, dalam hal ini dipilih Model MARKAL. Model MARKAL dipilih karena model ini memiliki kemampuan untuk menganalisis sistem energi secara menyeluruh termasuk sektor listrik dengan seluruh alternatif sistem energi, mencakup alternatif sumber energi dan teknologi energi. Dengan demikian, seluruh *variable* sistem energi secara transparan dapat diamati.

Pada penelitian ini, optimasi pemilihan teknologi pembangkit listrik telah dipertimbangkan pemanfaatan teknologi bersih lingkungan, seperti

- Bahan bakar batubara dengan menggunakan teknologi CFBC (*circulating fluidised bed combustion*), AFBC (*atmospheric Fluidized Bed Combustion*), PFBC (*Purverized Fluidized Bed Combustion*), IGCC (*Integerated Gas Combined Cycle*);
- Bahan bakar Gas dengan menggunakan teknologi *Gas Combined Cycle* dan IGCC;
- Panas buang dengan menggunakan teknologi kogenerasi;
- Energi surya, energi air dan panas bumi dengan menggunakan teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Surya, PLTA, Mini/Micro Hydro dan PLTP yang kesemuanya merupakan Energi bersih untuk keperluan dalam negeri.



Sumber: Fathor Rahman, KNI-WEC.1993

GAMBAR 1 DIAGRAM ALIR MODEL MARKAL SECARA RINGKAS

Dengan mempertimbangkan biaya sistem penyediaan energi yang rendah, dampak penggunaan energi terhadap lingkungan yang minimal, dan opsi teknologi di atas, dilakukan running Model Markal. Hasil dari Model Markal yang berhubungan dengan sektor listrik adalah jenis pembangkit dan kapasitas pembangkit listrik yang memberikan dampak positif bagi ekonomi makro, memberikan kesinambungan suplai energi jangka panjang, dan mendorong penggunaan energi non fosil. Diagram alir secara ringkas dari Model MARKAL ditunjukkan pada Gambar 1.

III. ANALISIS DATA PEMBANGKIT LISTRIK DI INDONESIA

Perusahaan listrik negara (PT PLN), swasta, industri (*captive power*), dan koperasi adalah perusahaan yang berwenang memproduksi dan mendistribusikan listrik untuk kebutuhan semua sektor pengguna listrik di Indonesia. Kapasitas terpasang pembangkit listrik yang ada saat ini adalah sebagai berikut.

- Pada tahun 1995, total kapasitas terpasang pembangkit tenaga listrik nasional (PLN+swasta, industri, dan koperasi) mencapai 27.803,53 MW. 53,6 % dari total kapasitas terpasang, yaitu sebesar 14.894,9 MW dibangkitkan oleh PLN, sedangkan sekitar 72,16% dari total kapasitas terpasang yang dibangkitkan oleh PLN terdapat di Pulau Jawa.
- Pada tahun 1996, total kapasitas terpasang pembangkit tenaga listrik nasional meningkat menjadi 28.613,44 MW. Total kapasitas terpasang dari pembangkit tenaga listrik nasional tersebut, sudah termasuk *captive power* sebesar 11.531,009 kVA. Sekitar 47,8 % dari total *captive power* telah dihubungkan dengan jaringan listrik PLN.
- Jenis dan kapasitas pembangkit listrik nasional pada tahun 1996 tersebut adalah PLTU minyak sebesar 2.504,58 MW, PLTD sebesar 10.187,68 MW, PLTG minyak sebesar 711,95 MW, PLTGU minyak sebesar 328,95 MW, PLTA sebesar 3.366,01 MW, PLTP sebesar 307,5 MW, PLTU batubara sebesar 2.879,56 MW, PLTU gas sebesar 1.340,46 MW, PLTG gas sebesar 2.591,17, PLTGU gas sebesar 4.093,16, dan PLTU biomasa sebesar 302,42 MW.
- Pada tahun 1997, total kapasitas terpasang pembangkit tenaga listrik nasional meningkat menjadi 39.290,82 MW. Total kapasitas terpasang dari pembangkit tenaga listrik nasional tersebut, sudah termasuk *captive power* sebesar 20.344,98 kVA. Akan tetapi pada tahun 1998, *captive power* akan

menurun hingga menjadi 14.316,83 kVA, sedangkan pembangkit listrik PLN, kapasitasnya sedikit meningkat hingga menjadi 20.580,76 MW.

IV. ANALISIS HASIL PENELITIAN

4.1 Perkiraan Kapasitas Terpasang Dari Pembangkit Listrik Di Indonesia

Berdasarkan *output* Model MARKAL seperti ditunjukkan pada Tabel 1, diperkirakan pertumbuhan kapasitas terpasang pembangkit listrik di Indonesia dari tahun 1994 s.d. tahun 2029 rata-rata meningkat sebesar 2,07% per tahun. Peningkatan tertinggi dari kapasitas terpasang pembangkit listrik berasal dari PLTU batubara yang meningkat lebih dari 10 kali lipat selama tujuh periode. Dengan rata-rata laju peningkatan yang tertinggi tersebut mengakibatkan pangsa PLTU batubara terhadap total kapasitas terpasang meningkat dari 13,15% per tahun pada awal periode menjadi 68,03% per tahun pada akhir periode. Tingginya kapasitas PLTU batubara disebabkan adanya kebijakan pemerintah untuk memanfaatkan bahan bakar batubara yang cadangannya melimpah sebagai bahan bakar pembangkit listrik. Selain itu, biaya pembangkitan PLTU batubara dapat bersaing dengan pembangkit listrik minyak dan gas.

Dengan semakin meningkatnya kapasitas PLTU batubara, penggunaan BBM sebagai bahan bakar PLTD dan PLTU minyak/gas semakin lama akan semakin menurun. Pada

periode pertama, kapasitas pembangkit listrik PLTD dan PLTU minyak/gas rata-rata per tahun mencapai sekitar 51,35% terhadap total kapasitas listrik, sedangkan pada periode ketujuh tinggal 4,70%. Penurunan ini sejalan dengan usaha pemerintah untuk menghubungkan jaringan listrik interkoneksi Jawa-Bali menjadi jaringan listrik interkoneksi Sumatera-Jawa-Bali. Dengan demikian, kedudukan PLTD dan PLTU minyak/gas akan digantikan oleh pembangkit listrik skala besar, seperti PLTU batubara. Penyebab lain dari turunnya PLTD dan PLTU minyak/gas adalah terbatasnya cadangan minyak bumi kita. Penggunaan PLTD dan PLTU minyak/gas ditujukan hanya pada daerah-daerah yang belum tersedia jaringan interkoneksi atau pada daerah terisolasi.

Kapasitas pembangkit listrik berbahan bakar gas mendekati konstan disetiap periode, pemanfaatan gas tersebut terutama untuk PLTGU karena pembangkit ini mempunyai efisiensi yang lebih tinggi dibanding dengan PLTG.

Pembangkit listrik terbarukan seperti PLTP, PLTA, dan biomasa diperkirakan akan meningkat. Peningkatan peranan pembangkit listrik terbarukan lebih disebabkan karena meningkatnya pembangkit listrik tenaga air, sedangkan dua jenis pembangkit listrik terbarukan lainnya mengalami penurunan. Tingginya peningkatan kapasitas PLTA selain karena lebih murah, juga karena PLTA merupakan jenis pembangkit listrik yang tidak menghasilkan bahan-bahan polutan. Kapasitas terpasang dari PLTA akan mengalami peningkatan sebesar 2,96% per tahun dari periode periode pertama sampai ke periode ketujuh.

TABEL 1 PERKIRAAN KAPASITAS TERPASANG DARI PEMBANGKIT LISTRIK DI INDONESIA

| Jenis Pembangkit | Rata-Rata pertahun (GW) | | | | | | | Pertumbuhan/Tahun % |
|-----------------------------|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|
| | 94-99 | 99-04 | 04-09 | 09-14 | 14-19 | 19-24 | 24-29 | |
| PLTU Batubara | 4,13 | 7,39 | 8,60 | 12,06 | 21,41 | 33,99 | 43,70 | 6,97 |
| PLTD | 10,46 | 9,49 | 8,46 | 8,27 | 3,03 | 3,03 | 3,02 | -3,49 |
| PLTG | 2,32 | 1,93 | 1,69 | 1,51 | 0,75 | 1,98 | 1,98 | -0,45 |
| PLTGU | 3,78 | 3,78 | 3,78 | 3,78 | 5,73 | 3,87 | 3,87 | 0,07 |
| PLTP | 0,83 | 0,90 | 0,90 | 0,90 | 0,89 | 0,12 | 0,00 | |
| PLTA | 3,91 | 6,29 | 7,53 | 9,88 | 10,84 | 10,84 | 10,84 | 2,96 |
| PLTU Dual Fuel (olga steam) | 5,67 | 5,26 | 4,13 | 3,58 | 3,27 | 0,00 | 0,00 | |
| Biomasa | 0,31 | 0,31 | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,21 | 0,21 | -1,11 |
| PFBC | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| IGCC Batubara | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Kogenerasi | 0,00 | 0,00 | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,62 | |
| PLTS | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Fuel Cell | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Total | 31,41 | 35,35 | 36,01 | 40,90 | 46,84 | 54,66 | 64,24 | 2,07 |

Sumber: *Output* Model MARKAL

Seperti yang telah dijelaskan pada methodologi penelitian di atas, perkiraan kapasitas pembangkit listrik telah dipertimbangkan pemanfaatan pembangkit listrik bersih lingkungan lainnya, misalnya PFBC IGCC, kogenerasi, SHS, dan Fuel Cell. Namun, karena biaya pembangkitan dari jenis pembangkit listrik ini tidak dapat bersaing dengan jenis pembangkit konvensional, kecuali kogenerasi, menyebabkan jenis pembangkit ini tidak terpilih sebagai teknologi pembangkit listrik di masa depan.

Pembangkit listrik kogenerasi, selain menghasilkan uap, juga menghasilkan listrik, sehingga sangat tepat dimanfaatkan di industri yang masih belum memanfaatkan gas buangnya. Sesuai dengan *output* Model MARKAL, pembangkit listrik kogenerasi mulai bersaing pada periode ketiga dengan kapasitas yang relatif konstan sekitar 0,67 GW sampai dengan periode ketujuh.

4.2 Gambaran Energi Mix Pembangkit Listrik Indonesia Dalam Memenuhi Kebutuhan Listrik Jangka Panjang

Pada periode 1994-1999, sumber energi batubara, BBM dan gas bumi dapat bersaing dalam memenuhi kebutuhan energi di pembangkit listrik, karena biaya pembangkitannya relatif masih murah. Akan tetapi selama kurun waktu tiga puluh lima tahun, batubara mengalami laju pertumbuhan yang paling pesat dibandingkan sumber energi BBM dan gas bumi, sehingga pada akhir periode pemanfaatan BBM dan gas bumi menurun drastis. Hal tersebut disebabkan selain cadangan minyak bumi di Indonesia sudah semakin terbatas, pemanfaatan minyak bumi lebih diarahkan untuk memenuhi kebutuhan energi sektor transportasi. Sedangkan gas bumi walaupun cadangannya masih cukup akan

tetapi seperti halnya minyak bumi, gas bumi juga sangat diperlukan sebagai bahan baku industri yang diharapkan dapat tumbuh pesat, sehingga akan menghasilkan nilai tambah yang besar.

Apabila diamati besarnya cadangan minyak bumi, gas bumi dan batubara di Indonesia per 1 Januari 1999 terlihat bahwa batubara merupakan sumber energi yang mempunyai cadangan terbesar diantara yang lainnya. Besarnya cadangan minyak bumi, gas bumi dan batubara adalah 1338,41 MTOE, 3993,68 MTOE, 21.279,13 MTOE.

Selain sumber energi fosil (minyak bumi, gas bumi dan batubara), sumber energi non fosil (panas bumi, air, dan biomasa) juga dimanfaatkan sebagai sumber energi di pembangkit listrik di Indonesia. Dari ketiga sumber energi non fosil, apabila diperhitungkan biaya pembangkitannya, sumber energi air yang paling menguntungkan, sehingga di setiap periode kebutuhan energi air untuk memenuhi pembangkit listrik selalu meningkat. Berbeda dengan panas bumi, walaupun panas bumi dapat dikatakan bersih, akan tetapi mengingat biaya pembangkitannya tidak dapat bersaing dengan PLTU batubara yang dilengkapi dengan alat bersih lingkungan, menyebabkan panas bumi hanya dapat dimanfaatkan selama *lifetimenya* masih ada. Sedangkan biomasa, mengingat sumber terbesarnya hanya di luar Jawa dan di daerah terpencil, mengakibatkan pemanfaatan biomasa setiap periode akan menurun.

Besarnya konsumsi energi untuk pembangkit listrik menurut jenis energi diperlihatkan pada Tabel 2 dan pangsanya ditunjukkan pada Tabel 3 dan Grafik 1.

TABEL 2 KONSUMSI ENERGI MIX PEMBANGKIT LISTRIK INDONESIA

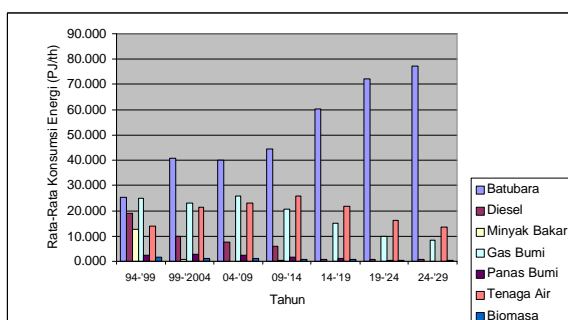
| Jenis Energi | Rata-Rata pertahun (PJ/Tahun) | | | | | | | Pertumbuhan/Tahun % |
|--------------|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------------------|
| | 94-99 | 99-04 | 04-09 | 09-14 | 14-19 | 19-24 | 24-29 | |
| Batubara | 269,22 | 481,87 | 561,34 | 780,22 | 1398,11 | 2257,16 | 2948,27 | 7,08 |
| Diesel | 204,14 | 119,22 | 106,92 | 103,99 | 17,40 | 24,89 | 24,89 | -5,84 |
| Minyak Bakar | 136,35 | 11,19 | 0,00 | 9,50 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| Gas Bumi | 265,17 | 269,62 | 357,58 | 366,29 | 349,42 | 312,02 | 321,03 | 0,55 |
| Panas Bumi | 27,14 | 30,55 | 30,85 | 31,11 | 30,61 | 8,42 | 0,00 | |
| Tenaga Air | 148,56 | 253,83 | 323,38 | 454,22 | 506,59 | 506,62 | 506,62 | 3,57 |
| Biomasa | 16,47 | 16,01 | 15,69 | 15,52 | 15,48 | 10,96 | 10,92 | -1,17 |
| Total | 1067,05 | 1182,29 | 1395,76 | 1760,85 | 2317,61 | 3120,07 | 3811,73 | 3,61 |

Sumber: Output Model Markal

TABEL 3 PANGSA KONSUMSI ENERGI MIX PEMBANGKIT LISTRIK INDONESIA

| Jenis Energi | Rata-Rata pertahun (%/th) | | | | | | |
|--------------|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 94-'99 | 99-'04 | 04-'09 | 09-'14 | 14-'19 | 19-'24 | 24-'29 |
| Batubara | 25,230 | 40,757 | 40,218 | 44,309 | 60,326 | 72,343 | 77,347 |
| Diesel | 19,131 | 10,084 | 7,660 | 5,906 | 0,751 | 0,798 | 0,653 |
| Minyak Bakar | 12,778 | 0,946 | 0,000 | 0,540 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Gas Bumi | 24,851 | 22,805 | 25,619 | 20,802 | 15,077 | 10,000 | 8,422 |
| Panas Bumi | 2,543 | 2,584 | 2,210 | 1,767 | 1,321 | 0,270 | 0,000 |
| Tenaga Air | 13,922 | 21,469 | 23,169 | 25,795 | 21,858 | 16,237 | 13,291 |
| Biomasa | 1,544 | 1,354 | 1,124 | 0,881 | 0,668 | 0,351 | 0,286 |

Sumber: Output Model Markal



GRAFIK 1 PANGSA KONSUMSI ENERGI MIX PEMBANGKIT LISTRIK INDONESIA

V. KESIMPULAN

- Pada tahun 1995, total kapasitas terpasang pembangkit tenaga listrik nasional (PLN+swasta, industri, dan koperasi) termasuk *captive power* telah mencapai 27.803,53 MW, dan pada tahun 1996, total kapasitas terpasang pembangkit tenaga listrik nasional meningkat menjadi 28.613,44 MW.
- Berdasarkan *output* Model MARKAL, dapat diperkirakan selama tiga puluh lima tahun (tahun 1994 s.d. tahun 2029) kapasitas terpasang pembangkit listrik di Indonesia akan tumbuh sebesar 2,07% per tahun, dengan laju peningkatan tertinggi berasal dari PLTU batubara yang meningkat lebih dari 10 kali lipat selama tujuh periode.
- Walaupun telah dipertimbangkan pemanfaatan pembangkit listrik bersih lingkungan lainnya, misalnya PFBC (*Purverized Fluidized Bed Combustion*), IGCC (*Integerated Gas Combined Cycle*), SHS (*Solar Home System*), dan Fuel Cell, tetapi jenis pembangkit listrik ini tidak dipilih sebagai *option*., karena biaya pembangkitannya tidak dapat bersaing.

- Hanya PLTA dan Kogenerasi yang dapat dijadikan *option*, selain karena biaya pembangkitannya bersaing, juga karena PLTA merupakan jenis pembangkit listrik yang tidak menghasilkan bahan-bahan polutan, sedangkan Kogenerasi dapat memanfaatkan gas buang industri..

DAFTAR PUSTAKA

- Jamin, Ermansyah. 1995. "Pengaturan usaha Penyediaan Tenaga Listrik yang Mendukung Persaingan Sehat untuk Efisiensi", Makalah dalam *Seminar Ketenagalistrikan Nasional Hari Listrik Nasional ke 50*, Jakarta 31 Oktober --2 Nopember
- Perusahaan Umum Listrik Negara. 1994. *Statistik PLN . 1995*.
- Perusahaan Umum Listrik Negara. 1994. *PLN Statistik 1993/1994*.
- Print out* komputer Model MARKAL.
- Rahman Fathor. 1993. "Analisis Hasil Optimasi Model MARKAL Tentang Suplai Energi Primer Sektor Listrik". Jakarta 31 Agustus - 2 September 1993.