

ANALISIS OPSI NUKLIR DALAM PERENCANAAN SISTEM KELISTRIKAN JARINGAN JAWA BALI DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM MESSAGE

Masdin, Sudi Ariyanto, Nuryanti ¹

ABSTRAK

ANALISIS OPSI NUKLIR DALAM PERENCANAAN SISTEM KELISTRIKAN JARINGAN JAWA BALI DENGAN MENGGUNAKAN PROGRAM MESSAGE. Pertumbuhan permintaan energi nasional masa mendatang masih menjadi tantangan besar bagi sektor penyediaan energi di Indonesia. Strategi penyediaan energi yang dikembangkan saat ini adalah strategi penyediaan energi yang memfokuskan pengembangan dan diversifikasi seluruh opsi energi dari bahan bakar fosil, energi terbarukan dan energi nuklir. Berdasar studi *Comprehensive Assessment Of Different Energy Source For Electricity Demand (CADES)*, permintaan energi final akan mengalami pertumbuhan dari 4.065 PJ pada tahun 2000 sampai mencapai 8.200 PJ pada tahun 2025. Pada tulisan ini dilakukan analisis jaringan sistem energi nasional yang dibagi menjadi 2 (dua) wilayah, yaitu wilayah Jawa Bali dan Luar Jawa Bali. Periode studi yang dilakukan adalah 25 tahun (2000 s/d 2025). Simulasi konfigurasi sistem jaringan yang didasarkan kriteria fungsi obyektif minimum terhadap seluruh biaya diselesaikan dengan menggunakan program komputer MESSAGE (*Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impacts*). Analisis yang menjadi perhatian pada tulisan ini adalah simulasi sektor perencanaan kelistrikan untuk wilayah Jawa Bali. Hasil simulasi ini memperlihatkan bahwa untuk skenario dengan tidak ada pembatasan pada semua bahan bakar pembangkit, skenario dengan mempertahankan bahan bakar minyak sebagai pemasok tetap untuk pembangkit maupun skenario dengan pembatasan suplai gas, PLTN tidak akan muncul selama periode studi dengan parameter harga yang digunakan dalam studi ini. Sedangkan jika terdapat pembatasan suplai gas dan dengan pembatasan emisi polutan (SO₂ atau CO₂) terhadap pembakaran batubara, menghasilkan suatu konfigurasi kelistrikan Jawa Bali dengan adanya pengoperasian PLTN pada sekitar tahun 2015.

ABSTRACT

ANALYSIS OF NUCLEAR OPTION IN PLANNING ON JAWA BALI INTEGRATED ELECTRICITY SYSTEM BY USING MESSAGE PROGRAM. The growth of national energy demand in the future still become a great challenge for energy supply sector in Indonesia. The current energy supply strategy focuses the development and diversification of all energy options including fossil fuel, renewable energy and nuclear energy. Based on the *Comprehensive Assessment Of Different Energy Source For Electricity Demand Study (CADES)*, final energy demand will grow from 4,065 PJ in 2000 to about 8,200 PJ in 2025. In this paper, the analysis of national energy system network will be divided into 2 regions, namely Java Bali region and Outside Java Bali region. Period of time horizon chosen in this study is 25 years (2000 to 2025). Simulation of network system configuration based on minimum objective function criteria was done by using MESSAGE (*Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impacts*) computer program. The focus of the analysis in this paper is simulation of electricity planning sector for Java Bali region. The result of simulation shows that for scenarios with no limitation on all fuel for power plant, scenario where fuel oil as constant supply for power plant and also configuration with limitation on gas supply, Nuclear Power Plant (NPP) does not appear during the study period using cost parameter set in this study. If there are limitations on gas supply and constrains of emissions (SO₂ and CO₂) due to coal combustion, NPP would become competitive and appear at about year 2015.

¹ Staf Bidang Sistem Energi P2EN

I. PENDAHULUAN

Tingkat kebutuhan energi memainkan peran yang sangat penting di dalam masyarakat dan merupakan input penting dalam menunjang pembangunan fisik dan sosial, serta pertumbuhan ekonomi nasional. Indonesia, sebagai salah satu dari kelompok negara yang sedang berkembang, sampai saat ini masih memiliki standar kehidupan dan konsumsi energi yang relatif rendah. Untuk memenuhi peningkatan kebutuhan energi secara substansial, baik energi primer maupun sekunder dalam jangka panjang sangat diperlukan strategi perencanaan energi nasional yang cermat dan bijaksana agar terjamin ketidak-tergantungan (independensi) dari energi negara lain.

Pertumbuhan yang substantial dalam permintaan energi domestik, bagaimanapun akan menjadi tantangan besar bagi sektor penyediaan energi Indonesia. Hal ini terlihat pada volume cadangan sumber energi nasional saat ini yang mengindikasikan probabilitas yang rendah bahwa sumber energi yang tersedia (indigenous) dapat memenuhi permintaan kebutuhan energi nasional di masa mendatang. Simulasi neraca permintaan dan penyediaan energi yang dikembangkan harus mempostulatkan pengembangan dan diversifikasi seluruh opsi energi termasuk prospek energi alternatif di masa depan. Sejalan dengan periode waktu perencanaan energi nasional yang panjang, penyiapan peraturan tentang energi dan persiapan infrastruktur fisik harus pula direncanakan dengan baik.

Berdasar hasil studi *Comprehensive Assessment Of Different Energy Source For Electricity Demand (CADES)*, permintaan energi akan mengalami pertumbuhan dimulai sekitar 4.028 Peta Joule pada tahun 2000 dan mencapai angka sekitar 8.200 Peta Joule pada tahun 2025. Jika tidak dipertimbangkan dengan cermat dan bijaksana, peningkatan produksi dan penggunaan energi memiliki andil dalam penurunan kualitas lingkungan, seperti terjadinya hujan asam maupun peningkatan efek gas rumah kaca di atmosfer. Dalam mempertimbangkan hal tersebut, kebijakan energi nasional untuk jangka mendatang akan menekankan strategi diversifikasi, konservasi, dan pengelolaan lingkungan, di samping itu pertimbangan teknologi energi juga menjadi perhatian, yakni:

- a. Teknologi untuk memproduksi pengganti minyak karena minyak adalah sumber energi yang tak terbarukan dan terbatas.
- b. Teknologi untuk mendukung penyediaan energi yang berkelanjutan.
- c. Teknologi penyediaan energi bersih dan efisien untuk mendukung program lingkungan dan menuju pembangunan yang berkelanjutan.

Studi perencanaan energi yang cukup optimis dimulai setelah terjadi krisis ekonomi, yakni pada awal tahun 2000. Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (BAPPENAS) meramalkan bahwa ekonomi akan membaik dan tumbuh sekitar 6 % pada tahun 2005. Sebagai konsekuensinya pertumbuhan listrik juga terus meningkat. Sumber energi fosil; minyak, gas alam dan batu bara akan menjadi dominan dalam

energi *mix*. Akan tetapi, ketersediaan tiga jenis sumber energi ini sangat terbatas untuk pembangkitan listrik karena diperuntukkan pula sebagai sumber devisa negara. Dengan sudut pandang kepentingan ini, penggunaan tiga sumber energi ini perlu dikelola secara bijaksana dan efisien dalam jangka panjang. Untuk itu perlu segera dicari sumber energi alternatif yang terbarukan dan ramah terhadap lingkungan. Dalam makalah ini, opsi nuklir menjadi perhatian sebagai salah satu sumber penyediaan energi keberlanjutan.

Analisis opsi nuklir dalam perencanaan sistem energi nasional dilakukan dengan mengumpulkan data sekunder yang dihasilkan dari studi CADES dengan tahun dasar 2000, selanjutnya data tersebut berfungsi sebagai data masukan bagi program MESSAGE. Program MESSAGE (*Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impacts*) merupakan suatu model yang didesain untuk optimalisasi sistem energi (antara lain penyediaan dan pemanfaatan energi). Model ini secara original dikembangkan di IIASA (*International Institute for Applied Systems Analysis*). IAEA senantiasa memperoleh versi terbaru dari model ini lengkap dengan beberapa kemajuan yang ada. Prinsip dasar dari model MESSAGE adalah optimalisasi dari suatu fungsi obyektif dengan sekumpulan pembatas yang mendefinisikan wilayah yang sedang diambil sebagai kasus, memuat seluruh solusi yang mungkin dari permasalahan yang diangkat. Nilai fungsi obyektif ini membantu dalam memilih solusi yang dipandang terbaik terkait dengan kriteria yang dispesifikasikan. MESSAGE didesain untuk memformulasi dan mengevaluasi strategi penyediaan energi alternatif dengan beberapa pembatas yang ditentukan oleh pengguna. Program MESSAGE versi terkini terdiri atas beberapa komponen yaitu: *User interface*, basis data, program pembangkitan matriks (*mxg*), program optimasi (*opt*) dan program pemrosesan solusi akhir untuk ekstrasi hasil (*cap*). Analisis hasil *running* dari program MESSAGE ini dapat dipakai sebagai bahan masukan dalam perencanaan sistem energi berkelanjutan di Indonesia dengan memasukkan opsi nuklir.

Pembahasan dalam makalah ini difokuskan pada sistem jaringan listrik Jawa Bali, dengan pertimbangan sudah terinterkoneksinya sistem jaringan listrik tersebut. Terdapat 4 skenario yang diberlakukan di sini, yaitu: skenario dengan tak ada pembatasan pada semua bahan bakar untuk pembangkit listrik, skenario dengan pembatasan suplai gas untuk wilayah Jawa Bali, skenario dengan pembatasan suplai gas dan mempertimbangkan emisi SO₂ dan skenario dengan pembatasan suplai gas dan mempertimbangkan emisi CO₂.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Ada 8 langkah dalam pemodelan sistem energi dengan menggunakan MESSAGE, yaitu: [1,2]

1. Pendefinisian obyek untuk analisis

Aliran energi dimodelkan mulai dari sumber (*resource*) sampai permintaan (*demand*), yang disebut rantai energi. MESSAGE dapat menggambarkan sistem energi keseluruhan atau bagiannya saja, bergantung pada kebutuhan pengguna (*user*). Dalam studi ini, rantai energi menggambarkan sistem energi secara keseluruhan (dari sumber (*resource*) sampai permintaan (*demand*)).

2. Penyiapan jaringan energi

Elemen kunci yang menjadi dasar dalam membangun sistem energi, sesuai dengan MESSAGE, antara lain:

- a. Tingkatan/ level energi
- b. Teknologi yang menghubungkan bentuk-bentuk energi pada beberapa level
- c. Hubungan antara bentuk-bentuk energi

Semua proses dalam jaringan energi (misalnya; penyulingan minyak, konversi, transformasi, transportasi, distribusi, dll) dapat dinyatakan sebagai "teknologi" dalam MESSAGE. Dalam program komputer MESSAGE, istilah teknologi merupakan segala bentuk teknologi yang secara langsung terlibat dalam kegiatan mulai dari penambangan sumber daya alam sampai kepada penyediaan langsung kepada konsumen akhir. Pengambilan teknologi bergantung pada bahasan yang akan dianalisis serta model yang digunakan oleh pengguna(*user*) dalam rancangan jaringan energi (*energy network*).

3. Definisi daerah pembebanan (*load regions*)

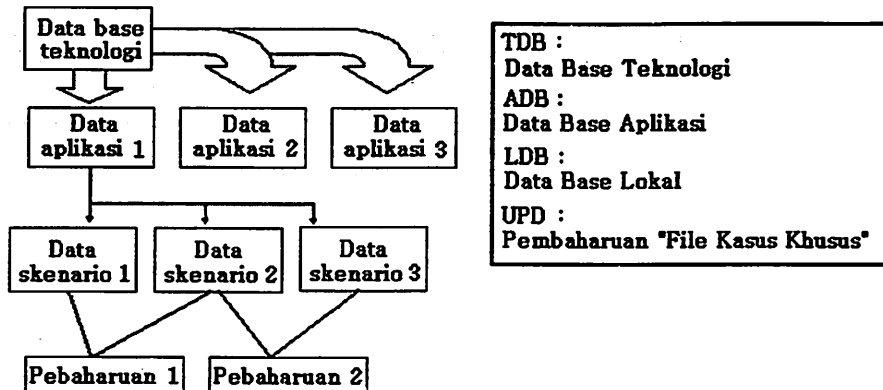
Permintaan (*demand*) energi merupakan salah satu data masukan (*input*) dalam MESSAGE. MESSAGE dapat menggambarkan variasi *demand* energi secara musiman, mingguan dan harian. Variasi *demand* yang digunakan dalam makalah ini adalah *demand* energi final per sektor yang meliputi: sektor jasa (*service*), industri (*industry*), transportasi (*transportation*), rumah tangga (*household*), serta pertanian, konstruksi dan pertambangan (*Agriculture, construction, mining*) dalam periode waktu 25 tahun (2000-2025) yang terbagi dalam rentang masa lima tahunan.

4. Pengumpulan informasi penting yang diperlukan

Informasi penting yang diperlukan meliputi: informasi teknis, ekonomi, informasi tentang lingkungan dan parameter-parameter yang berhubungan dengan teknologi lain.

5. Pembuatan data base model (*Technology Data Base dan Application Data Base*)

Data base yang diperlukan dalam MESSAGE dapat digambarkan dalam bagan berikut:



Gambar 1. Data base dalam MESSAGE

Data base utama dalam MESSAGE meliputi: data base teknologi (TDB) dan data base aplikasi (ADB). TDB memuat seluruh data/ informasi terkait dengan teknologi yang digunakan dalam suatu jaringan energi. Sedangkan ADB memuat data terkait dengan informasi region (wilayah).

6. Penyiapan skenario

Selain TDB dan ADB sebagai data base utama, dalam MESSAGE juga terdapat data base skenario. Penetapan skenario yang akan dianalisis bergantung pada kebutuhan pengguna (*user*). Skenario dalam MESSAGE dapat berupa hasil copy dari skenario yang telah ada sebelumnya ataupun dengan membuat skenario yang baru.

7. Pembangkitan Matriks

Pembangkitan matriks pada dasarnya merupakan *running* dari data base (TDB, ADB maupun skenario) yang telah dibuat dalam MESSAGE. Dari pembangkitan matriks ini dapat diketahui apakah suatu data base yang dibuat dapat dijalankan atau tidak. Jika tidak dapat dijalankan maka yang terjadi adalah kesalahan (*error*).

8. Optimalisasi

Langkah ini merupakan prosedur untuk mencari hasil yang optimum dari suatu fungsi obyektif. Prinsip yang diberlakukan adalah prinsip keseimbangan (*balance*) energi bahwa total produksi harus lebih besar atau sama dengan total konsumsi, sehingga akan membentuk pola:

$$\sum(\text{produksi}) - \sum(\text{konsumsi}) \geq 0. \quad (1)$$

Dalam bentuk matematis ditulis sebagai:

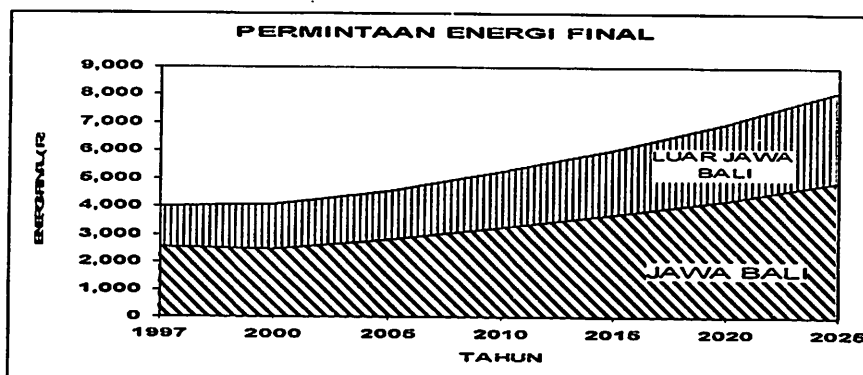
$$\sum_{i=1}^{l-n} \eta_{i,t} \times \chi_{i,t} - \sum_{k=1}^{k-m} \chi_{k,t} \geq 0 \quad (2)$$

III. PENYIAPAN DATA MASUKAN

Sasaran analisis perencanaan sistem energi nasional yang akan dibahas lebih lanjut ditekankan pada perencanaan optimal dari seluruh jenis pembangkit listrik, khusus untuk wilayah Jawa Bali dengan memperkenalkan PLTN sebagai bagian dari sistem energi berkelanjutan. Rentang waktu yang dipilih dalam analisis ini adalah 25 tahun, yakni dari tahun 2000-2025. Rentang ini dibagi menjadi lima periode. Masing-masing periode mempunyai rentang masa lima tahun. Pembagian wilayah Indonesia dibuat menjadi 2 (dua) bagian, yakni Wilayah Jawa Bali dan Luar Jawa Bali. Pada sektor kelistrikan, hampir 65,5 % dari rata-rata listrik yang diproduksi (oleh PLN maupun *Captive Power*) dibangkitkan di Jawa. Hal ini dikarenakan pembangunan ekonomi di Jawa yang lebih intensif serta ketersediaan jaringan interkoneksi Jawa-Bali. Atas dasar ini, maka studi kali ini difokuskan pada jaringan kelistrikan Jawa Bali.

III.1. Data Proyeksi Permintaan Energi Final.

Input utama dalam analisis ini diambil dari proyeksi permintaan energi final yang dihasilkan dari studi CADES phase 1 yang ditunjukkan pada Gambar 2 di bawah ini,



Gambar 2. Permintaan Energi Final Indonesia [3]

Permintaan energi final per sektor untuk wilayah Jawa Bali dan Luar Jawa Bali diperlihatkan pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Permintaan Energi Final untuk Wilayah Jawa Bali(MW yr) [3]

SEKTOR	2000	2005	2010	2015	2020	2025
Electricity	8.339,97	10.509,55	14.014,10	17.936,27	22.830,03	29.464,65
Coal						
Industry	917,68	1249,36	1847,72	2605,90	3609,52	4969,23
Gas						
Industry	4870,61	5822,85	6961,23	8233,11	9779,91	11792,84
Oil Product						
Kerosine						
Household	5940,81	6532,83	6403,77	6279,79	6113,95	5953,18
Service	2606,54	2962,95	3421,16	3951,03	4547,17	5260,01
Diesel						
ACM	809,55	938,92	1076,86	1209,41	1336,56	1446,60
Industry	1363,52	1666,98	2235,22	2876,70	3664,69	4655,62
Transport	6245,86	7519,00	9433,00	11524,89	13953,54	16843,56
Bensin						
Transport	10166,45	11714,20	13824,16	16112,97	18669,09	21606,67
Avture						
Transport	1812,84	1964,10	2062,72	2200,97	2334,47	2510,46
Heavy Oil						
ACM	129,38	159,82	193,43	227,68	261,61	293,31
Industry	5517,17	7129,29	10285,04	13808,94	18572,05	24252,53
LPG						
Household	555,87	960,17	1234,14	1526,19	1826,48	2150,87

Tabel 2. Permintaan Energi Final untuk Luar Jawa Bali (MW yr) [3]

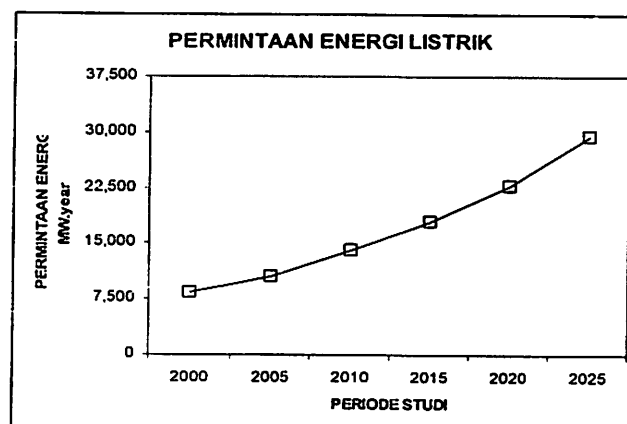
SECTOR	2000	2005	2010	2015	2020	2025
Electricity	3.177,31	4.418,43	6.525,22	9.527,81	14.035,35	20.359,85
Coal						
Industry	211,82	458,52	931,63	1432,33	2181,31	3261,98
Gas						
Household	32,98	52,64	89,10	173,45	237,82	368,15
Industry	531,77	1212,58	1970,12	2877,66	4426,04	6241,74
Oil Product						
Kerosine						
Household	2692,15	2856,41	3287,66	3497,58	3730,01	4129,55
Services	658,61	723,93	851,41	995,68	1190,70	1814,75
Diesel						
ACM	798,13	957,32	1151,06	1403,15	1687,91	1965,05
Industry	732,49	1031,52	1677,13	2439,74	3584,46	5189,61
Transport	4867,12	5266,35	5771,80	6409,80	7368,70	8617,75
Gasoline						
Industry	38,05	53,91	87,20	128,11	190,26	274,29
Transport	5575,20	5960,79	6281,69	6874,03	7889,69	8658,33
Avture						
Transport	711,25	806,69	914,82	976,98	1036,27	1040,71
Heavy Oil						
ACM	315,19	398,91	471,21	552,38	623,41	678,90
Industry	1906,70	2897,63	4897,56	7353,16	10780,03	16239,81
LPG						
Household	192,48	282,22	480,72	720,76	1052,44	1380,64

Sumber: *Comprehensive Assessment of Different Energy Sources for Electricity Generation in Indonesia, Energy Demand and Supply Analysis, BATAN-IAEA, Jakarta, 2002*

III.2. Data Kelistrikan: Proyeksi Kelistrikan Jawa Bali

Perusahaan listrik terbesar di Indonesia adalah PT PLN (Persero) yang mengelola fasilitas pembangkitan, transmisi dan distribusi listrik. Perusahaan-perusahaan swasta yang mereka miliki, disebut *Captive power*, juga membangkitkan listrik secara independen.

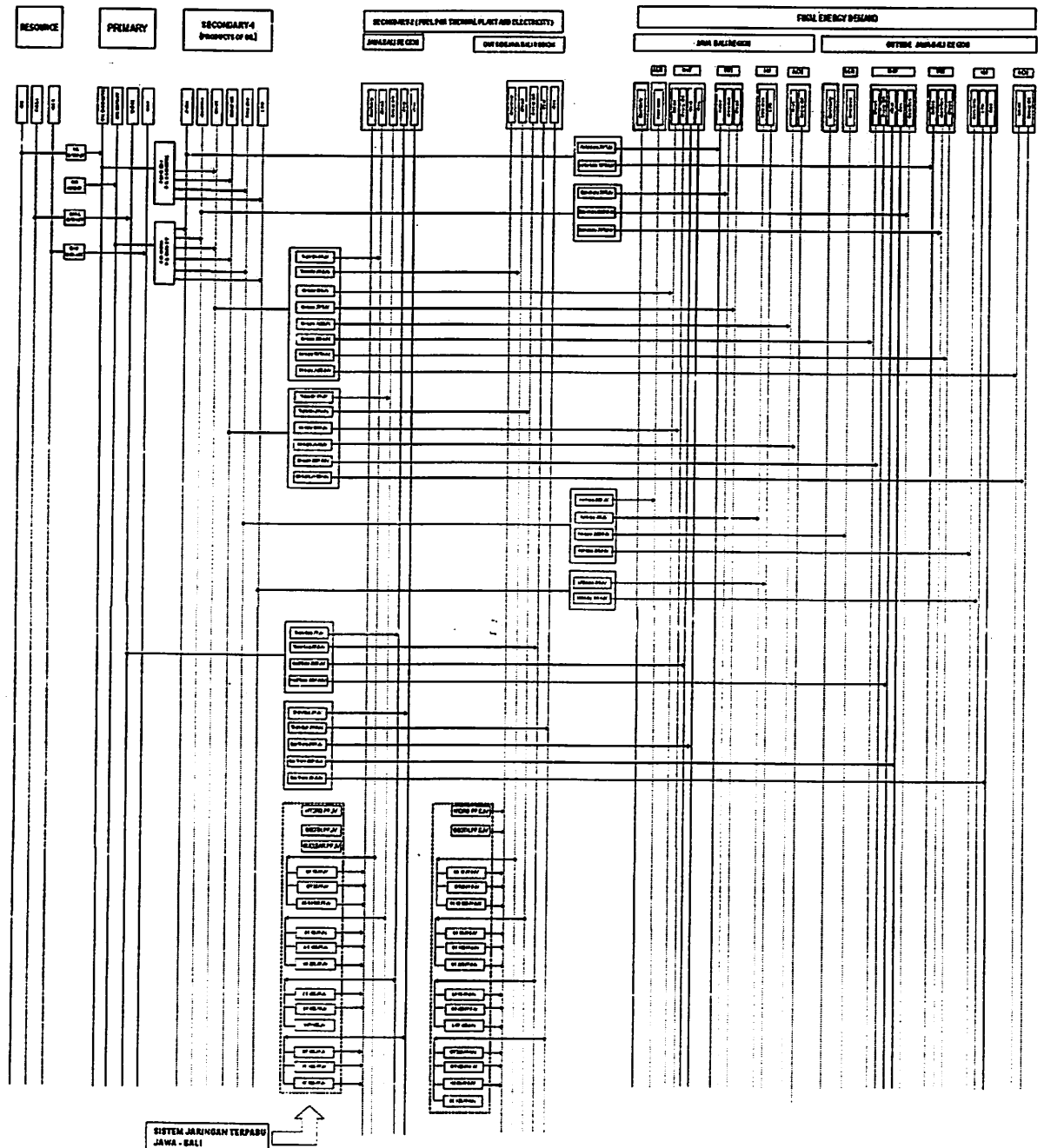
Sampai dengan akhir semester pertama tahun 2000, total kapasitas pembangkit terpasang telah mencapai 36,87 GW, terdiri 20,76 GW dihasilkan oleh PLN dan 14,50 GW oleh Captive Power dan 1,61 GW dioperasikan oleh sektor swasta. Jumlah energi listrik produksi sendiri pada tahun 2000 yaitu sebesar 84.190,14 GWh, meningkat sebesar 4,6 % dibandingkan tahun sebelumnya. Sedangkan produksi total PLN (termasuk pembelian dari luar PLN) pada tahun 2000 yaitu sebesar 93.325 GWh. Pembelian listrik dari luar PLN pada tahun 2000 telah meningkat sebesar 4856.06 GWh dibandingkan tahun sebelumnya yang hanya sebesar 4279.08 GWh. Penjualan listrik oleh PLN pada tahun 2000 yaitu sebesar 79.164,81 GWh, mengalami peningkatan sebesar 7,83 GWh atau sebesar 10,97 % dibandingkan pada tahun 1999. Jumlah konsumen pelanggan PLN mengalami peningkatan hingga mencapai 28,5 juta pada tahun 2000, terdiri atas 26,8 juta atau sekitar 93,7 % di sektor rumah tangga, 44,3 ribu di sektor industri dan sisanya sebesar 1,7 juta atau sebesar 6,1 % meliputi sektor komersial dan publik. Kapasitas terpasang PLN sampai tahun 2001 yaitu sebesar 21.058,83 MW dengan lebih dari 29 juta pelanggan, meningkat sebesar 1,43 % dibandingkan angka tahun 2000 yang sebesar 20.761 MW. Kapasitas terpasang di Jawa pada tahun 2001 yaitu sebesar 15.494 MW atau sekitar 74% dari total kapasitas terpasang. Beban puncak untuk Indonesia pada tahun 2001 sebesar 16.314 MW, atau meningkat sebesar 6,5% dari tahun sebelumnya (2000) [4,5]. Permintaan kelistrikan Jawa Bali berdasarkan CADES dapat diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Permintaan Energi Listrik [3].

III.3. Jaringan Energi (*Energy Network*) Indonesia

Secara keseluruhan, jaringan energi Indonesia dalam analisis ini terdiri atas 5 tingkatan energi dan 72 teknologi. Lima tingkatan energi ini masing-masing adalah sumber (*resource*), energi primer (*primary*), energi sekunder 1 (*Secondary 1*), energi sekunder 2 (*Secondary 2*), dan permintaan energi final. Jaringan energi tersebut disajikan pada Gambar 4 berikut ini:



Gambar 4. Jaringan Energi Indonesia

III.4. Karakteristik Teknik dan Ekonomi Kandidat Pembangkit Listrik

Pembangkit listrik yang dicalonkan untuk pengembangan sistem jaringan Jawa-Bali terdiri atas: PLTN berdaya 1000 MWe, PLTU Batu bara berdaya 600 MWe dan 400 MWe, PLTGU-Gas berdaya 500 MWe dan PLTGU-Gas, 600 MWe

Dalam kasus ini, energi panas bumi (PLTP) dan hidro (PLTA) tidak dikompetisikan dalam jaringan ini, karena diasumsikan telah masuk dalam perencanaan jangka panjang. Tabel 3 menunjukkan parameter-parameter teknis dan ekonomi kandidat pembangkit listrik yang digunakan sebagai data masukan dalam analisis makalah ini.

Tabel 3. Parameter Ekonomi dan Teknis dari Pembangkit [3]

	Satuan	PLTU-Batubara	PLTGU-Gas/Alam	PLTN
Biaya modal	\$/ kWe	1,100	650	1800
Waktu konstruksi	tahun	5.0	3.0	6.0
Usia pembangkit	tahun	30.0	30.0	40.0
Biaya Fixed O & M	\$/ kWYr	10.0	8.0	46.0
Biaya Var. O & M	\$/ kWYr	17.5	17.5	71.8
Efisiensi		0.33	0.4	1.0
Faktor kapasitas		0.65	0.8	0.8

Sumber: *Comprehensive Assessment of Different Energy Sources for Electricity Generation in Indonesia, "Energy Demand and Supply Analysis (Phase I)", 2002*

IV. ASUMSI DAN SKENARIO

Analisis pengembangan kelistrikan dalam makalah ini difokuskan pada sistem jaringan listrik Jawa Bali, dengan pertimbangan sudah terinterkoneksinya sistem jaringan Jawa Bali. Skenario analisis terbagi dalam 5 pertimbangan, yaitu:

1. Skenario 0: Tak ada pembatasan pada semua bahan bakar untuk pembangkit listrik. Pada skenario ini bahan bakar pembangkit listrik yang dikompetisikan adalah minyak, gas, batubara dan nuklir. Ketersediaan keempat bahan bakar tersebut dianggap tidak ada masalah dalam memasok kebutuhan sebesar apapun. Seluruh aspek ekonomis dan teknis dikompetisikan secara bebas.
2. Skenario 1: Skenario dengan mempertahankan pembangkit listrik tenaga minyak sebagai pemasok tetap untuk kebutuhan pembangkit selama periode studi. Pada skenario ini bahan bakar pembangkit listrik yang dikompetisikan adalah gas, batubara dan nuklir. Ketersediaan ketiga bahan bakar tersebut dianggap tidak ada masalah dalam memasok kebutuhan sebesar apapun. Seluruh aspek ekonomis dan teknis dikompetisikan secara bebas.
3. Skenario 2: Pembatasan suplai gas untuk wilayah Jawa Bali. Pada skenario ini bahan bakar pembangkit listrik yang dikompetisikan adalah gas, batubara dan nuklir. Ketersediaan batubara dan nuklir dianggap tidak ada masalah dalam memasok kebutuhan sebesar apapun, namun ketersediaan gas terbatas dengan kriteria suplai

gas untuk pembangkit dibatasi dengan pertumbuhan hanya sebesar 5 persen per tahun. Seluruh aspek ekonomis dan teknis tetap dikompertisikan secara bebas.

4. Skenario 3: Pembatasan suplai gas dan mempertimbangkan emisi SO₂. Pada skenario ini bahan bakar pembangkit listrik yang dikompertisikan adalah gas, batubara dan nuklir. Ketersediaan pasokan gas untuk pembangkit dibatasi dengan pertumbuhan hanya sebesar 5 persen per tahun, dan maksimum pembakaran batubara adalah sebesar 20.000 MWyr. Pertimbangan ini mengasumsikan bahwa konsumsi batubara di pulau Jawa tidak melebihi 40 juta ton per tahun. Seluruh aspek ekonomis dan teknis tetap dikompertisikan secara bebas.
5. Skenario 4: Pembatasan suplai gas dan mempertimbangkan emisi CO₂. Pada skenario ini bahan bakar pembangkit listrik yang dikompertisikan adalah gas, batubara dan nuklir. Ketersediaan pasokan gas untuk pembangkit dibatasi dengan pertumbuhan sebesar 5 persen per tahun, dan maksimum pembakaran batubara tidak melebihi emisi CO₂ sebesar 36 ton per tahun (spesifikasi emisi CO₂ untuk batubara adalah sebesar 3 kg/MWyr). Seluruh aspek ekonomis dan teknis tetap dikompertisikan secara bebas.

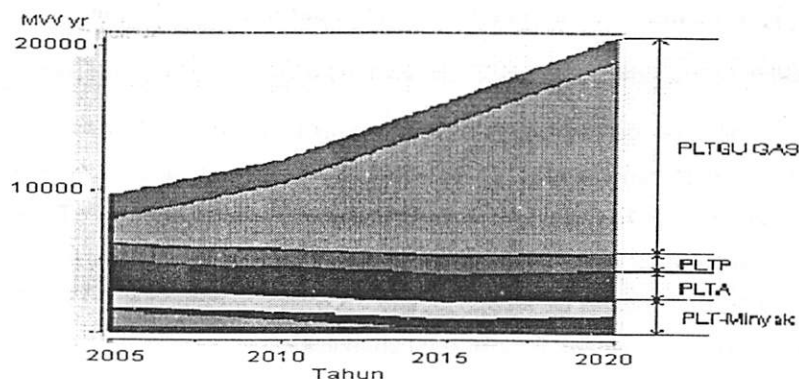
V. HASIL DAN PEMBAHASAN

V.1. Skenario 0: tanpa pembatasan pada semua bahan bakar.

Hasil eksekusi program MESSAGE dengan skenario tanpa pembatasan pada semua bahan bakar, yakni minyak, gas, batubara dan nuklir, memperlihatkan bahwa PLTGU-Gas akan sangat dominan dalam menyuplai listrik sampai dengan akhir periode studi. Pada akhir studi tahun 2025 terlihat bahwa PLTGU menyuplai sekitar 84,48 %, sedangkan yang lainnya berupa PLTA sebesar 9,70 % dan PLT P sebesar 5,82 %.

V.2. Skenario 1: mempertahankan bahan bakar minyak sebagai pemasok tetap untuk pembangkit.

Hasil eksekusi program MESSAGE Skenario 1 diperlihatkan pada Gambar 5,

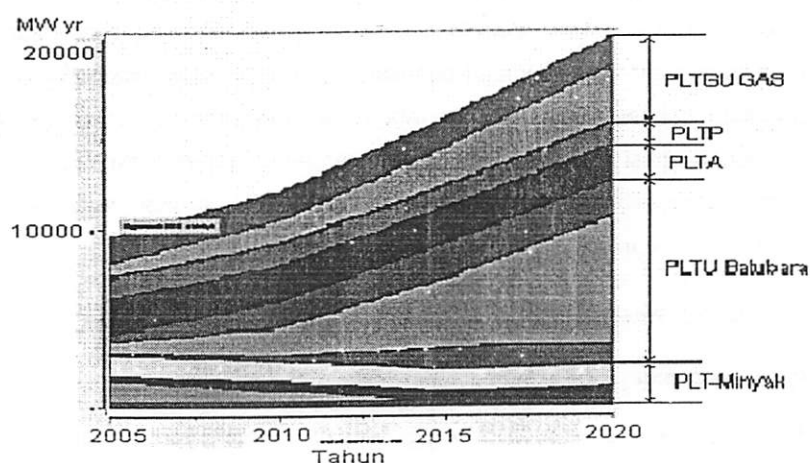


Gambar 5. Hasil Proyeksi Listrik Skenario 2

Terlihat bahwa, jika bahan bakar minyak dipertahankan sebagai pemasok tetap untuk pembangkit listrik maka PLTGU-Gas akan dominan dalam menyuplai listrik sampai dengan akhir periode studi. Pada akhir studi tahun 2025 terlihat bahwa PLTGU menyuplai sekitar 73,17 %, disusul kemudian oleh PLT-minyak sebesar 11,31 %, PLTA sebesar 9,70 % dan PLT P sebesar 5,82 %.

V.3. Skenario 2: Pembatasan suplai gas untuk wilayah Jawa Bali

Hasil eksekusi program MESSAGE Skenario 2 diperlihatkan pada Gambar 6,



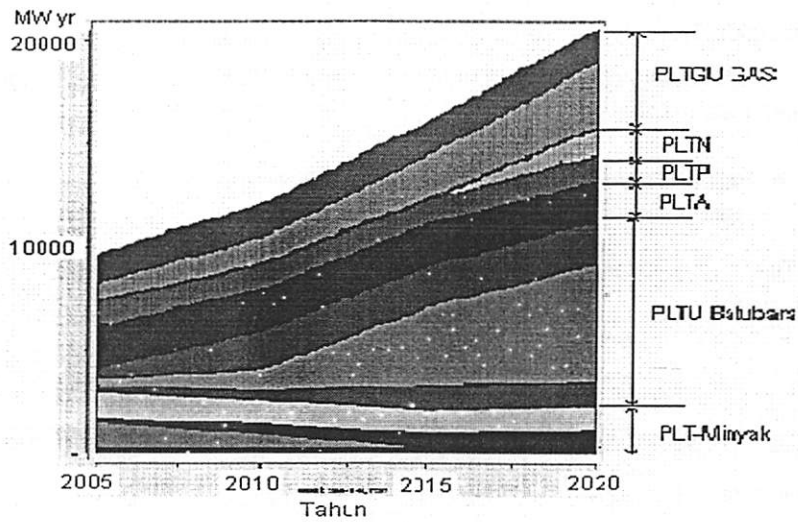
Gambar 6. Hasil Proyeksi Listrik Skenario 2

Jika suplai gas dibatasi, maka pembangkit listrik batubara akan menjadi dominan dalam menyuplai listrik sampai akhir periode studi. Pada akhir studi tahun 2025 terlihat bahwa PLTU-Batubara menyuplai sekitar 49,77 % dari kebutuhan listrik, disusul kemudian oleh PLTGU-Gas sebesar 23,39 %, PLT-minyak sebesar 11,31 %, sisanya ditempati oleh PLTA dan PLTP.

V.4. Skenario 3: pembatasan suplai gas dan mempertimbangkan emisi SO₂

Hasil eksekusi program MESSAGE Skenario 3 diperlihatkan pada Gambar 7,

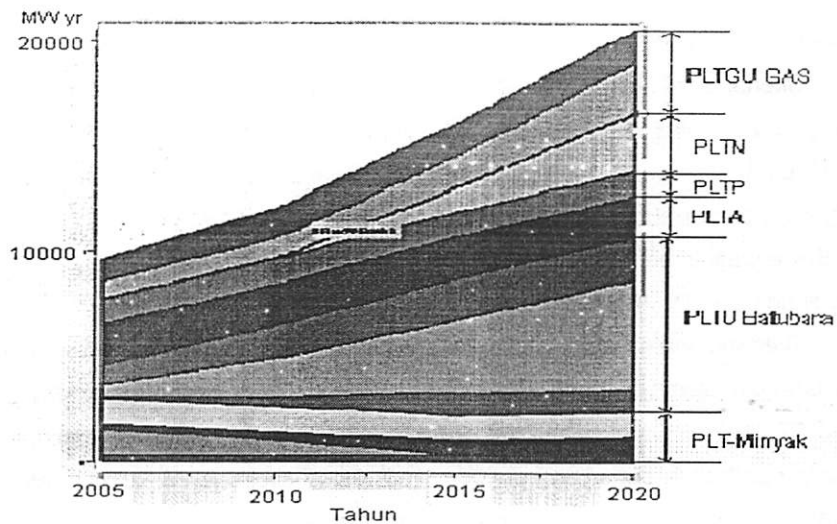
Jika suplai gas dibatasi dan emisi SO₂ dipertimbangkan, pada akhir periode studi PLTU-Batubara masih dominan dalam menyuplai listrik. Pada Skenario 3 ini PLTN mulai muncul setelah tahun 2015. Pada akhir studi tahun 2025 terlihat bahwa PLTU-Batu Bara menyuplai sekitar 43,22 % dari kebutuhan listrik, disusul kemudian oleh PLTGU-Gas sebesar 23,39 %, PLT-minyak sebesar 11,31 %, sisanya ditempati oleh PLTA, PLTP dan PLTN. PLTN menyuplai sebesar 6,55 % kebutuhan listrik.



Gambar 7. Hasil Proyeksi Listrik Skenario 3

IV.5. Skenario 4: dengan pembatasan suplai gas dan mempertimbangkan emisi CO₂

Hasil eksekusi program MESSAGE Skenario 4 diperlihatkan pada Gambar 8,



Gambar 8. Hasil Proyeksi listrik Skenario 4

Jika suplai gas dibatasi dan mempertimbangkan emisi CO₂, ternyata pada akhir periode studi PLTU-Batubara masih dominan dalam menyuplai listrik. PLTN muncul lebih awal yaitu sebelum tahun 2015. Pada akhir studi tahun 2025 terlihat bahwa PLTU-Batubara menyuplai sekitar 40,34% dari kebutuhan listrik, disusul kemudian oleh PLTGU-Gas sebesar 19,47 %, PLT-minyak sebesar 11,31 %, sisanya ditempati oleh PLTA, PLTP

dan PLTN. Porsi PLTN dalam menyuplai listrik yaitu sebesar 13,36 %, meningkat dibandingkan hasil dalam Skenario 3 yang hanya sebesar 6,55 %.

Perbandingan hasil pada akhir tahun studi (2025) dari keempat skenario tersebut disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Persentase Konfigurasi Kelistrikan pada Tahun 2025 dari Setiap Skenario.

Tipe Pembangkit	Skenario 0	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4
PLTA	9,70%	9,70%	9,70%	9,70%	9,70%
PLTP	5,82%	5,82%	5,82%	5,82%	5,82%
PLT-Minyak	0,00 %	11,31%	11,31%	11,31%	11,31%
PLT-Gas	84,48%	73,17%	23,39%	23,39%	19,47%
PLT-Batubara	0,00%	0,00%	49,77%	43,22%	40,34%
Nuklir	0,00%	0,00%	0,00%	6,55%	13,36%
Total	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

V.6. Perbandingan dengan Hasil Analisis CADES [3]

Hasil analisis CADES untuk sektor kelistrikan Jawa Bali yang dilakukan dengan menggunakan program komputer MARKAL telah menggunakan 5 skenario sebagai berikut:

1. Skenario LOW1000

Skenario ini merupakan suatu skenario dalam menentukan konfigurasi listrik dalam jaringan Jawa Bali dengan mengasumsikan bahwa harga minyak berada pada level 18 US\$ s/ d 21 US\$ per Barel dan kebijakan lingkungan tidak ada perubahan sepanjang periode studi. Pada skenario ini PLTN tidak kompetitif. Pasokan kelistrikan Jawa Bali sebagian besar berasal dari Batubara, Gas dan Minyak.

2. Skenario IEA1000 (*International Energy Agency*)

Skenario ini merupakan suatu skenario dalam menentukan konfigurasi listrik dalam jaringan Jawa Bali dengan mengasumsikan bahwa harga minyak terjadi kenaikan menjadi 27 US\$ per Barel selama 20 tahun terakhir studi dan kebijakan lingkungan masih tidak ada perubahan sepanjang periode studi. Pada skenario ini PLTN tidak kompetitif. Pasokan kelistrikan Jawa Bali sebagian besar berasal dari Batubara, Gas dan Minyak.

3. Skenario IEA1001, IEA1002, IEA1003

Ketiga skenario ini menentukan konfigurasi listrik dalam jaringan Jawa Bali dengan mengasumsikan bahwa harga minyak masih pada level 27 US\$ per Barel selama 20 tahun terakhir studi dan diberikan prasyarat beberapa kebijakan lingkungan untuk memproteksi atmosfer. Pada ketiga skenario ini, PLTN berperan mengisi konfigurasi kelistrikan Jawa Bali. Skenario IEA1001 memperlihatkan bahwa PLTN akan berperan

dan dapat beroperasi pada sekitar tahun 2018, skenario IEA1002 memperlihatkan peran PLTN pada sekitar tahun 2016 dan IEA1003 pada sekitar tahun 2012.

Hasil analisis kelistrikan dengan menggunakan MESSAGE maupun MARKAL (CADES) yang telah dilakukan terlihat ada kemiripan, bahwa PLTN akan mempunyai peran untuk dioperasikan ketika dimasukkan persyaratan proteksi lingkungan. Jika pertimbangan lingkungan dimasukkan maka opsi nuklir semakin terlihat dapat diunggulkan.

VI. KESIMPULAN

Program MESSAGE merupakan salah satu program IAEA sebagai alat dalam melakukan perencanaan energi nasional. MESSAGE sangat bermanfaat dalam perencanaan energi dan kelistrikan, khususnya untuk negara seperti Indonesia dengan sistem energi yang kompleks, memiliki berbagai jenis sumber energi, terbagi dalam beberapa wilayah dan perkembangan permintaan energi akhirnya cukup tinggi.

Hasil yang diperoleh berdasarkan dari Skenario 0, 1 dan 2 menunjukkan bahwa skenario dengan tidak ada pembatasan pada semua bahan bakar pembangkit, skenario dengan mempertahankan bahan bakar minyak sebagai pemasok tetap untuk pembangkit maupun skenario dengan pembatasan suplai gas, PLTN tidak dapat berkompetisi sepanjang periode studi. Pada skenario 0 dan 1, terlihat bahan bakar gas mendominasi dalam menyuplai listrik. Batu bara akan menjadi dominan dalam menyuplai listrik pada skenario 2, 3 dan 4 diikuti oleh gas.

Hasil yang diperoleh berdasarkan dari Skenario 3 dan 4 menunjukkan bahwa skenario dengan pembatasan suplai gas alam dan pemberlakuan pertimbangan emisi udara dari SO₂ ataupun CO₂ akan memberikan peluang PLTN berkompetisi dan terlihat berperan mengisi konfigurasi kelistrikan nasional pada tahun sekitar 2015.

DAFTAR PUSTAKA

1. IAEA, *"MESSAGE Version 5 User Manual"*, Vienna, Austria, 2004
2. IAEA-ICTP, *"Lecture Note of the Workshop on Designing Sustainable Energy Systems"*, Trieste, 2004.
3. BATAN-IAEA, *Comprehensive Assessment of Different Energy Sources for Electricity Generation in Indonesia, "Energy Demand and Supply Analysis (Phase I)"*, 2002.
4. PT. PLN (Persero), *"Statistik PLN 2000"*, Jakarta, 2001.
5. DJLPE, *"Electricity and Energy Statistic year 2001"*, Jakarta, 2002.