

**STUDI PERBANDINGAN HARGA LISTRIK REAKTOR TEMPERATUR TINGGI
DENGAN SISTEM PEMBANGKIT LAINNYA MENGGUNAKAN PROGRAM LEGECOST**

(M. Nasrullah, Arnold Y.S., Tosi Prastiadi, Adiwardojo)¹⁾

Abstrak

STUDI PERBANDINGAN HARGA LISTRIK REAKTOR TEMPERATUR TINGGI DENGAN SISTEM PEMBANGKIT LAINNYA MENGGUNAKAN PROGRAM LEGECOST. Krisis ekonomi dan moneter di Indonesia mengakibatkan perencanaan tentang masalah kebutuhan dan pemakaian tenaga listrik berubah sehingga memerlukan peninjauan ulang. Salah satu penyebabnya adalah keterbatasan dana baik dari pemerintah maupun perusahaan swasta. Mengingat keterbatasan dana tersebut, maka perhitungan keekonomian dalam setiap aspek sangat penting dilakukan, khususnya dalam hal penentuan harga. Dalam makalah ini dikaji biaya beberapa pembangkit listrik dengan menggunakan bahan bakar fosil dan nuklir, termasuk Reaktor Temperatur Tinggi (RTT). Pertama-tama dilakukan perhitungan biaya pembangkitan listrik masing-masing dengan maksud untuk membandingkan harga listrik dari beberapa pembangkit listrik, sehingga dapat diketahui pembangkit listrik yang kompetitif. Perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan program *Levelized Generation Cost* (LEGECOST) yang mengacu IAEA (*International Atomic Energy Agency*), sehingga dapat dibandingkan masing-masing biaya pembangkitan listriknya. Analisis kepekaan dilakukan dengan menggunakan beberapa parameter ekonomi dan skenario, sehingga diketahui faktor yang paling mempengaruhi biaya pembangkitan listrik tersebut. Berdasarkan hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa biaya pembangkitan pada RTT lebih kompetitif dibandingkan biaya pembangkitan dengan bahan bakar fosil maupun nuklir lainnya.

Abstract

COMPARATIVE STUDY ON ELECTRIC COST OF HIGH TEMPERATURE REACTOR USING LEGECOST PROGRAM. Monetary and economic crisis in Indonesia resulted in the re-evaluation of electricity and demand and supply planning. One of the reasons is budget limitation of the government as well as private companies. Considering this reason, the economic calculation for all of aspect could be performed, especially the calculation of electric generation cost. This paper will discuss the economic aspect of several power plants using fossil and nuclear fuel including High Temperature Reactor (HTR). Using Levelized Generation Cost (LEGECOST) program developed by IAEA (*International Atomic Energy Agency*), the electric generation cost of each power plant could be calculated. And then, the sensitivity analysis was done using several economic parameters and scenarios, in order to know the factors that influence the electric generation cost the most. It could be concluded, that the electric generation cost of HTR is more competitive compared to the other power plants including conventional nuclear power plants.

¹⁾ Pusat Pengembangan Energi Nuklir - BATAN

I. PENDAHULUAN

I. 1. Latar Belakang Masalah

Sejak dimulainya pembangunan jangka panjang tahap I pada tahun 1969, kebutuhan pemakaian tenaga listrik tumbuh dengan tingkat pertumbuhan yang relatif tinggi. Kebutuhan pemakaian tenaga listrik di Indonesia pada tiga tahun pertama Repelita V memperlihatkan pertumbuhan yang lebih tinggi dari pada sasaran yang telah ditetapkan. Namun dengan adanya krisis ekonomi dan moneter di Indonesia menyebabkan perencanaan tentang masalah kebutuhan dan pemakaian tenaga listrik memerlukan peninjauan ulang. Hal ini salah satunya disebabkan oleh keterbatasan dana dari pemerintah. Oleh karena itu perhitungan keekonomian dalam setiap aspek sangat penting dilakukan mengingat keterbatasan dana tersebut. Demikian juga dalam perhitungan keekonomian pada beberapa pembangkit listrik di Indonesia. Dengan mengetahui biaya pembangkitan listrik masing-masing dan membandingkannya secara keekonomian dapat diketahui berapa biaya yang paling ekonomis diantara pembangkit listrik tersebut, sehingga dapat dijadikan acuan bagi pengambil keputusan sebagai alternatif pilihannya. Dalam Seminar tentang RTT telah disampaikan perhitungan keekonomian diantaranya oleh tim RTT, selain itu juga telah disampaikan pula perbandingan keekonomian Nuklir PWR (*Pressurized Water Reactor*), PLTU gas dengan menggunakan referensi A. Langmo dari *Bechtel Power Corporation*. Khusus dalam makalah ini akan dibandingkan dan dihitung biaya pembangkitan listrik yang menggunakan bahan bakar *Oil-Steam*, *Coal-Steam*, *Combine Cycle-Gas*, *Combine Cycle Oil*, PWR (non RTT), PBMR (*Peble Bed Modular Reactor*) (RTT), GT-MHR (*Gas Turbine - Modular High Reactor*) (RTT), dengan maksud untuk membandingkan beberapa pembangkit listrik, sehingga dapat diketahui pembangkit listrik yang kompetitif. Dengan menggunakan program *Levelized Generation Cost* (LEGENCOST) yang mengacu IAEA (*International Atomic Energy Agency*) dapat kita bandingkan masing-masing biaya pembangkitan listrik. Dalam makalah ini dikaji parameter ekonomi dengan menggunakan beberapa skenario (*low case*, *base case*, *high case*), seperti *discount rate*, masa konstruksi dan faktor kapasitas pembangkitnya. Tujuan dalam makalah ini adalah memberikan masukan bagi pengambil keputusan untuk mengetahui biaya pembangkitan listrik masing-masing alternatif baik dengan menggunakan bahan bakar fosil maupun nuklir.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Berdasarkan informasi dari IAEA [1], data tentang *Oil-Steam*, *Coal-Steam*, *Combine Cycle-Gas*, *Combine Cycle Oil*, PWR-AP-600 (*Pressurized Water Reactor - Advanced Pressurized - 600*) (non RTT), GT-MHR (RTT) diambil dari desalinasi khusus untuk pembangkit pada kasus Afrika Utara, Libya tahun 1996, dan informasi dari Tim Kelompok Ekonomi Energi RST-BATAN [2], data PBMR (RTT) dari tim RTT juga diambil dari kasus Afrika Selatan.

Berdasarkan beberapa informasi tersebut kemudian dikaji lebih lanjut dengan menggunakan program *Levelized Generation Cost (LEGECOST)* yang mengacu IAEA (*International Atomic Energy Agency*) dapat kita bandingkan masing-masing biaya pembangkit listrik, termasuk didalamnya biaya investasi, bahan bakar maupun biaya perawatan dan pemeliharaannya. Kemudian dengan menggunakan beberapa parameter ekonomi dianalisis kepekaan masing-masing parameter, yang menggunakan beberapa skenario (*low case, base case, high case*). Legecost merupakan program untuk menilai biaya pembangkitan listrik yang disusun oleh DR.G.Woite dari IAEA. Dalam program ini terdapat parameter-parameter baik secara teknis maupun ekonomi, selanjutnya dinilai biaya konstruksi, termasuk IDC (*Interest During Construction*) sampai dengan biaya investasinya, kemudian biaya perawatan dan pemeliharaannya serta terdapat penilaian tentang daur bahan bakar yang meliputi pembelian uranium alam sampai penyimpanan lestari bahan bakar bekas, ataupun olah-ulangnya (*reprocessing*). Selanjutnya berdasarkan perhitungan-perhitungan di atas biaya-biaya tidak diurai mengikuti tahun demi tahun, tetapi dinyatakan dalam besaran pada tahun awal operasi, besaran nilai kini atau besaran teraras (*levelized*), dan semua harga dinyatakan dalam nilai dollar tetap. Adapun rumus perhitungan biaya teraras investasi, bahan bakar, perawatan dan pemeliharaan serta biaya pembangkitan dengan menggunakan program Legecost adalah sebagai berikut:

a. Biaya teraras Investasi =
$$\frac{\text{(Jumlah total biaya investasi dalam nilai kini)}}{\text{(Jumlah energi yang dibangkitkan dalam nilai kini)}}$$

b. Biaya teraras bahan bakar =
$$\frac{\text{(Jumlah total biaya bahan bakar dalam nilai kini)}}{\text{(Jumlah energi yang dibangkitkan dalam nilai kini)}}$$

c. Biaya teraras perawatan dan pemeliharaan
=
$$\frac{\text{(Jumlah total biaya perawatan dan pemeliharaan dalam nilai kini)}}{\text{(Jumlah energi yang dibangkitkan dalam nilai kini)}}$$

d. Biaya teraras pembangkitan =
$$\frac{\text{(Jumlah total biaya dalam nilai kini)}}{\text{(Jumlah energi yang dibangkitkan dalam nilai kini)}}$$

III. ASUMSI DAN DATA

III. 1. Asumsi dan Batasan Masalah yang Digunakan

- a. Diambil pembangkit listrik yang berkapasitas medium (100 - 600 MWe)
- b. Untuk pembangkit listrik nuklir yang menggunakan RTT, digunakan GT-MHR dan PBMR.

- c. Untuk pembangkit listrik nuklir yang tidak menggunakan RTT, digunakan AP-600 dan NP-300.
- d. Untuk pembangkit listrik berbahan bakar fosil digunakan Batubara, *Oil-Combine Cycle* dan *Gas Combine Cycle*.
- e. Dalam perhitungan analisis kepekaan digunakan parameter faktor kapasitas, masa konstruksi, dan *discount rate*.
- f. Skenario *Base Case* adalah skenario kasus dasar perhitungan sebelum adanya analisis kepekaan.
- g. Skenario *High Case* adalah skenario dasar perhitungan penambahan masing-masing parameter (faktor kapasitas, masa konstruksi, dan *discount rate*) sebesar 10% dari *base case*.
- h. Skenario *Low Case* adalah skenario dasar perhitungan pengurangan masing-masing parameter (faktor kapasitas, masa konstruksi, dan *discount rate*) sebesar 10% dari *base case*.

III. 2. Data Teknis dan Ekonomis dari Beberapa Biaya Pembangkitan

Tabel 1. Data Teknis dan Ekonomis dari Beberapa Biaya Pembangkitan

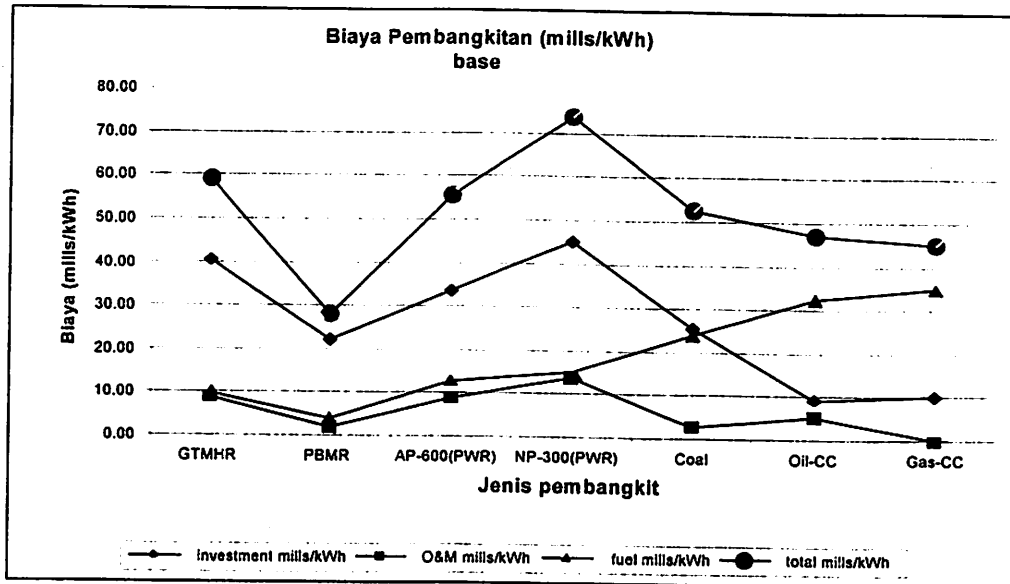
Country		LIBYA	AF.SEL	Mesir	Libya	Afrika	Afrika	Mesir
Energy source		Nuclear	Nuclear	Nuclear	Nuclear	Fossil	Fossil	Fossil
Generation technology		GTMHR	PBMR	AP-600 (PWR)	NP-300 (PWR)	Coal	Oil-CC	Gas-CC
Plant capacity	MWe net	287	114	600	300	500	400	450
Fuel cycle		O/T	O/T	O/T	O/T			
Plant net thermal efficiency	%	47.8	32	31	31.6	39	46	50
Equivalent full power hours per	hours/year	6701.4	7183.2	7008	6570	7446	7008	7708.8
Plant technical life expectancy	years	40	40	40	40	40	40	40
Plant economic lifetime	years	30	30	30	30	30	30	30
Construction duration	years	4	2	5	5	4	3	3
Projected commissioning date		2005	2005	2005	2005	2005	2005	2005
Cost reference date		1994	1994	1994	1994	1994	1994	1994
Real interest/discount rate	%/a	10	10	10	10	10	10	10
Fuel real escalation rate	%/a	0	0	1	0	1	0	1.51

IV. HASIL ANALISIS

IV. 1. Hasil Analisis Perhitungan Legecost

Tabel 2. Hasil Analisis Perhitungan Legecost (Base Case)

Base case		GTMHR	PBMR	AP-600(PWR)	NP-300(PWR)	Coal	Oil-CC	Gas-CC
investment	mills/kWh	40.58	22.26	33.70	45.24	25.77	9.16	9.99
O&M	mills/kWh	9.05	1.95	8.81	13.98	2.95	5.32	0.03
fuel	mills/kWh	9.62	4.00	13.19	14.84	24.12	32.65	34.88
total	mills/kWh	59.25	28.21	55.70	74.05	52.85	47.13	44.90



Gambar 1. Hasil Analisis Perhitungan Legecost

Komponen yang membentuk biaya pembangkitan adalah: biaya investasi, bahan bakar, dan biaya perawatan dan pemeliharaan dapat dilihat pada Gambar 1, yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

IV. 1. 1. Biaya Investasi

Biaya investasi diantara jenis pembangkit yang berbahan Nuklir, yang terbesar yaitu NP-300 sebesar 45,24 mills/kWh, dan yang terkecil adalah PBMR sebesar 22,26 mills/kWh. Untuk pembangkit berbahan bakar fosil, yang terbesar batubara sebesar 25,77 mills/kWh, sedangkan yang terkecil adalah *Oil Combine Cycle* sebesar 9,16 mills/kWh. Secara keseluruhan diantara kedua bahan bakar tersebut, NP-300 adalah yang termahal sedangkan yang termurah adalah *Oil Combine cycle*.

IV. 1. 2. Biaya Bahan Bakar

Biaya bahan bakar diantara jenis pembangkit yang berbahan Nuklir, yang terbesar yaitu NP-300 sebesar 14,84 mills/kWh, dan yang terkecil adalah PBMR sebesar 4,00 mills/kWh. Untuk pembangkit berbahan bakar fosil, yang terbesar *Gas Combine Cycle* sebesar 34,88 mills/kWh, sedangkan yang terkecil adalah batubara sebesar 25,77 mills/kWh. Secara keseluruhan diantara kedua bahan bakar tersebut, maka yang termahal *Gas Combine Cycle*, sedangkan yang termurah adalah PBMR.

IV. 1. 3. Biaya Perawatan dan Pemeliharaan

Diantara biaya perawatan dan pemeliharaan pada jenis pembangkit listrik yang dikompetisikan, khusus untuk yang berbahan Nuklir, yang terbesar adalah NP-300 sebesar 13,98 mills/kWh, dan yang termurah adalah PBMR sebesar 1,95 mills/kWh. Sedangkan untuk pembangkit berbahan bakar Fosil, yang termahal adalah *Oil Combine Cycle* sebesar 5,32 mills/kWh, dan yang termurah sebesar 0,03 mills/kWh. Secara keseluruhan diantara kedua bahan bakar, yang termahal adalah NP-300 dan yang termurah *Gas Combine Cycle*.

Berdasarkan hasil perhitungan (lihat Tabel 2) dengan menggunakan program LEGECOST, maka untuk pembangkit berbahan Nuklir, PBMR merupakan yang paling rendah biaya pembangkitan listriknya sekitar 28,21 mills/kWh, sedangkan yang paling tinggi adalah NP-300 sekitar 74,05 mills/kWh. Untuk Pembangkit berbahan bakar fosil, biaya pembangkitan listrik terbesar yaitu batubara sebesar 52,85 mills/kWh, sedangkan yang terkecil adalah *Gas Combine Cycle* sebesar 44,90 mills/kWh. Kalau dibandingkan antara kedua bahan bakar tersebut, maka PBMR merupakan biaya pembangkitan yang termurah, sedangkan yang termahal yaitu NP-300. Dengan melihat hasil perhitungan tersebut, maka pembangkit listrik dengan bahan bakar nuklir merupakan pembangkit yang termahal dan termurah, dan dapat dianalisis bahwa semakin maju teknologi yang digunakan dan semakin besar kapasitas pembangkitnya maka semakin murah pembangkit nuklir tersebut, khususnya untuk yang tidak menggunakan reaktor temperatur tinggi, sedangkan untuk reaktor yang bertemperatur tinggi, tergantung pada jenis teknologinya dan relatif tergantung dari besarnya kapasitas pembangkit.

IV. 2. Analisis Kepekaan

Pada analisis kepekaan yang menjadi parameter di makalah ini adalah faktor kapasitas, masa konstruksi dan discount rate, yang masing-masing diskenariokan pada *base case*, *low case* dan *high case*. Hal tersebut dapat dilihat pada tabel dan gambar dibawah ini:

IV. 2. 1. Hasil Analisis Kepekaan *Low Case*

IV. 2. 1. 1. *Discount Rate Low Case*

Tabel 3. *Discount Rate Low Case*

DR Low case		GTMHR	PBMR	AP-600(PWR)	NP-300(PWR)	Coal	Oil-CC	Gas-CC
investment	mills/kWh	36.74	20.33	30.36	40.76	23.34	8.33	9.08
O&M	mills/kWh	9.05	1.95	8.81	13.98	2.95	5.32	0.03
fuel	mills/kWh	9.62	4.00	13.25	14.84	24.24	32.65	35.15
total Gen.cost	mills/kWh	55.40	26.28	52.43	69.57	50.53	46.29	44.26

Pada skenario *Low case*, *discount rate* dikurangi 10% dari *base case*, yaitu sebesar 9%, biaya total pembangkitan listrik termahal adalah NP-300 sebesar 69,57 mills/kWh. Sedangkan yang termurah adalah PBMR sebesar 26,28 mills/kWh. Kalau dihitung rata-rata biaya pembangkitan listrik akibat *discount rate* yang diturunkan sebesar 10% dari *base case* yaitu sebesar 9% (lihat Tabel 3), adalah rata-rata penurunan biaya pembangkitan dari *base*

case sebesar 4,7%, untuk biaya pembangkitan yang berbahan bakar nuklir rata-rata sebesar 6,3%, dimana PBMR merupakan pembangkit yang mengalami penurunan terbesar (6,8%) terhadap *base case*, sedangkan untuk penurunan terkecil (5,9%) adalah pembangkit AP-600, sedangkan untuk biaya pembangkitan berbahan bakar fosil rata-rata sebesar 2,5%, dimana *coal* merupakan pembangkit yang mengalami penurunan terbesar (4,4%) terhadap *base case*, sedangkan untuk penurunan terkecil (1,4%) adalah pembangkit *Gas Combine Cycle*.

IV. 2. 1. 2. Faktor Kapasitas Low Case

Tabel 4. Faktor Kapasitas Low case

Cap.Fac. Low case		GTMHR	PBMR	AP-600(PWR)	NP-300(PWR)	Coal	Oil-CC	Gas-CC
investment	mills/kWh	45.09	24.73	37.44	50.26	28.64	10.18	11.10
O&M	mills/kWh	10.05	2.17	9.79	15.53	3.28	5.91	0.03
fuel	mills/kWh	10.69	4.00	14.65	16.48	24.12	36.28	38.76
total	mills/kWh	65.83	30.90	61.88	82.28	56.04	52.36	49.89

Pada skenario *low case*, faktor kapasitas dikurangi 10% dari *base case* dimana akan mempengaruhi *equivalent full power jam* per tahun, biaya total pembangkitan listrik termahal adalah NP-300 sebesar 82,28 mills/kWh. Sedangkan yang termurah adalah PBMR sebesar 30,90 mills/kWh. Kalau dihitung rata-rata biaya pembangkitan listrik akibat faktor kapasitas yang diturunkan sebesar 10% dari *base case* (lihat Tabel 10), mengakibatkan kenaikan rata-rata biaya pembangkitan dari *base case* sebesar 10,2%, untuk biaya pembangkitan yang berbahan bakar nuklir rata-rata sebesar 10,7%. GTMHR, AP-600, NP-300 merupakan pembangkit yang mengalami kenaikan terbesar (11,1%) terhadap *base case*, sedangkan untuk kenaikan terkecil (9,5%) adalah pembangkit PBMR. Sedangkan untuk biaya pembangkitan berbahan bakar fosil rata-rata sebesar 9,4%, dimana *Oil-CC* dan *Gas-CC* merupakan pembangkit yang mengalami kenaikan terbesar (11,1%) terhadap *base case*, sedangkan untuk kenaikan terkecil (6,0%) adalah pembangkit batubara.

IV. 2. 1. 3. Masa Konstruksi Low Case

Tabel 5. Masa Konstruksi Low Case

Cons.Time.Low case		GTMHR	PBMR	AP-600(PWR)	NP-300(PWR)	Coal	Oil-CC	Gas-CC
investment	mills/kWh	39.82	22.05	32.90	44.17	25.30	9.03	9.85
O&M	mills/kWh	9.05	1.95	8.81	13.98	2.95	5.32	0.03
fuel	mills/kWh	9.62	4.00	13.19	14.84	24.12	32.65	34.88
total	mills/kWh	58.48	28.00	54.90	72.98	52.37	47.00	44.76

Untuk skenario *low case*, masa konstruksi dikurangi 10% dari *base case*, biaya total pembangkitan listrik termahal adalah NP-300 sebesar 72,98 mills/kWh. Sedangkan yang termurah adalah PBMR sebesar 28,00 mills/kWh. Kalau dihitung rata-rata biaya pembangkitan listrik akibat masa konstruksi yang dipercepat sebesar 10% dari *base case* (lihat Tabel 10), adalah rata-rata penurunan biaya pembangkitan dari *base case* sebesar 0,9%. Untuk biaya pembangkitan yang berbahan bakar nuklir rata-rata sebesar 1,2%, dimana AP-600 dan NP-300

merupakan pembangkit yang mengalami penurunan terbesar (1,4%) terhadap *base case*, sedangkan untuk penurunan terkecil (0,7%) adalah pembangkit PBMR. Sedangkan untuk biaya pembangkitan berbahan bakar fosil rata-rata sebesar 0,5%, dimana *coal* merupakan pembangkit yang mengalami penurunan terbesar (0,9%) terhadap *base case*, sedangkan untuk penurunan terkecil (0,3%) adalah pembangkit *Gas Combine Cycle* dan *Oil Combine Cycle*.

IV. 3. Hasil Analisis Kepekaan *High Case*

IV. 3. 1. *Discount Rate High Case*

Tabel 6. *Discount Rate High Case*

DR High case		GTMHR	PBMR	AP-600(PWR)	NP-300(PWR)	Coal	Oil-CC	Gas-CC
investment	mills/kWh	44.61	24.25	37.21	49.84	28.32	10.02	10.93
O&M	mills/kWh	9.05	1.95	8.81	13.88	2.95	5.32	0.03
fuel	mills/kWh	9.62	4.00	13.13	14.84	24.01	32.65	34.63
total Gen. Cost	mills/kWh	63.27	30.19	59.14	78.76	55.28	47.99	45.59

Untuk skenario *high case*, *discount rate* ditambah 10% dari *base case*, yaitu sebesar 11%, maka biaya total pembangkitan listrik termahal adalah NP-300 sebesar 78,76 mills/kWh. Sedangkan yang termurah adalah PBMR sebesar 30,19 mills/kWh. Kalau dihitung rata-rata biaya pembangkitan listrik akibat *discount rate* yang naik sebesar 10% dari *base case* yaitu 11% (lihat Tabel, 10), adalah rata-rata kenaikan biaya pembangkitan dari *base case* sebesar 4,9%, untuk biaya pembangkitan yang berbahan bakar nuklir rata-rata sebesar 6,6%, dimana PBMR merupakan pembangkit yang mengalami kenaikan terbesar (6,8%) terhadap *base case*. Sedangkan untuk kenaikan terkecil (5,9%) adalah pembangkit AP-600, sedangkan untuk biaya pembangkitan berbahan bakar fosil rata-rata sebesar 2,7%, dimana *coal* merupakan pembangkit yang mengalami kenaikan terbesar (4,6%) terhadap *base case*, sedangkan untuk kenaikan terkecil (1,5%) adalah pembangkit *Gas Combine Cycle*.

IV. 3. 2. Faktor Kapasitas *High Case*

Tabel 7. Faktor Kapasitas *Rate High Case*

Cap.Fac. High case		GTMHR	PBMR	AP-600(PWR)	NP-300(PWR)	Coal	Oil-CC	Gas-CC
investment	mills/kWh	36.90	20.24	30.63	41.12	23.43	8.33	9.08
O&M	mills/kWh	8.22	1.77	8.01	12.71	2.69	4.83	0.02
fuel	mills/kWh	8.74	4.00	11.99	13.49	24.12	29.68	31.71
total	mills/kWh	53.86	26.01	50.63	67.32	50.24	42.84	40.81

Pada skenario *high case*, faktor kapasitas ditambah 10% dari *base case* dimana akan mempengaruhi *equivalent full power* jam per tahun, total biaya pembangkitan listrik termahal adalah NP-300 sebesar 67,32 mills/kWh. Sedangkan yang termurah adalah PBMR sebesar 26,01 mills/kWh. Kalau dihitung rata-rata biaya pembangkitan listrik akibat faktor kapasitas yang dinaikkan sebesar 10% dari *base case* (lihat Tabel 10), adalah mengakibatkan penurunan rata-

rata biaya pembangkitan dari *base case* sebesar 8,3%, untuk biaya pembangkitan yang berbahan bakar nuklir rata-rata sebesar 8,8%, dimana GTMHR, AP-600, dan NP-300 merupakan pembangkit yang mengalami penurunan terbesar (9,1%) terhadap *base case*. Sedangkan untuk penurunan terkecil (7,8%) adalah pembangkit PBMR. Untuk biaya pembangkitan berbahan bakar fosil rata-rata sebesar 7,7%, dimana *Oil-CC* dan *Gas-CC* merupakan pembangkit yang mengalami penurunan terbesar (9,1%) terhadap *base case*, sedangkan untuk penurunan terkecil (4,9%) adalah pembangkit batubara.

IV. 3. 3. Masa Konstruksi *High Case*

Tabel 8. Masa Konstruksi *Rate High Case*

Cons.Time.High case		GTMHR	PBMR	AP-600(PWR)	NP-300(PWR)	Coal	Oil-CC	Gas-CC
Investment	mills/kWh	41.37	22.47	34.51	46.33	26.26	9.29	10.13
O&M	mills/kWh	9.05	1.95	8.81	13.98	2.95	5.32	0.03
Fuel	mills/kWh	9.62	4.00	13.19	14.84	24.12	32.65	34.88
Total	mills/kWh	60.03	28.42	56.51	75.14	53.34	47.26	45.04

Untuk skenario *high case*, masa konstruksi ditambah 10% dari *base case*, biaya total pembangkitan listrik termahal adalah NP-300 sebesar 75,14 mills/kWh. Sedangkan yang termurah adalah PBMR sebesar 28,42 mills/kWh. Kalau dihitung rata-rata biaya pembangkitan listrik akibat masa konstruksi yang dipercepat sebesar 10% dari *base case* (lihat Tabel 10), maka rata-rata kenaikan biaya pembangkitan dari *base case* sebesar 0,9%. Untuk biaya pembangkitan yang berbahan bakar nuklir rata-rata sebesar 1,3%, dimana AP-600 dan NP-300 merupakan pembangkit yang mengalami kenaikan terbesar (1,3%) terhadap *base case*. Sedangkan untuk kenaikan terkecil (0,8%) adalah pembangkit PBMR. Untuk biaya pembangkitan berbahan bakar fosil rata-rata sebesar 1,3%, dimana *coal* merupakan pembangkit yang mengalami kenaikan terbesar (0,9%) terhadap *base case*. Untuk kenaikan terkecil (0,3%) adalah pembangkit *Gas Combine Cycle*.

Tabel 9. Hasil Perhitungan Biaya Pembangkitan (mills/kWh) dengan Berbagai Skenario

Disc.Rate		DR	GTMHR	PBMR	AP-600 (PWR)	NP-300 (PWR)	Coal	Oil-CC	Gas-CC
Gen.cost	mills/kWh	Base case	59.25	28.21	55.70	74.05	52.85	47.13	44.90
Gen.cost	mills/kWh	Low Case	55.40	26.28	52.43	69.57	50.53	46.29	44.26
Gen.cost	mills/kWh	High Case	63.27	30.19	59.14	78.76	55.28	47.99	45.59
Cap.Fac.		Cap.Fac	GTMHR	PBMR	AP-600(PWR)	NP-300(PWR)	Coal	Oil-CC	Gas-CC
Gen.cost	mills/kWh	Base case	59.25	28.21	55.70	74.05	52.85	47.13	44.90
Gen.cost	mills/kWh	Low Case	65.83	30.90	61.88	82.28	56.04	52.36	49.89
Gen.cost	mills/kWh	High Case	53.86	26.01	50.63	67.32	50.24	42.84	40.81
Cons.Time.		Cons.Time	GTMHR	PBMR	AP-600(PWR)	NP-300(PWR)	Coal	Oil-CC	Gas-CC
Gen.cost	mills/kWh	Base case	59.25	28.21	55.70	74.05	52.85	47.13	44.90
Gen.cost	mills/kWh	Low Case	58.48	28.00	54.90	72.98	52.37	47.00	44.76
Gen.cost	mills/kWh	High Case	60.03	28.42	56.51	75.14	53.34	47.26	45.04

Tabel 10. Pengaruh Skenario Analisis Kepekaan terhadap Skenario Base Case

DR	GTMHR	PBMR	AP-600 (PWR)	NP-300 (PWR)	Coal	Oil-CC	Gas-CC
Base case	-	-	-	-	-	-	-
Low Case	-6.5%	-6.8%	-5.9%	-6.0%	-4.4%	-1.8%	-1.4%
High Case	6.8%	7.0%	6.2%	6.4%	4.8%	1.8%	1.5%
Cap.Fac							
Base case	-	-	-	-	-	-	-
Low Case	11.1%	9.5%	11.1%	11.1%	6.0%	11.1%	11.1%
High Case	-9.1%	-7.8%	-9.1%	-9.1%	-4.9%	-9.1%	-9.1%
Cons.Time							
Base case	-	-	-	-	-	-	-
Low Case	-1.3%	-0.7%	-1.4%	-1.4%	-0.8%	-0.3%	-0.3%
High Case	1.3%	0.8%	1.5%	1.5%	0.8%	0.3%	0.3%

IV. 4. Perbandingan Biaya Pembangunan Proyeksi 2005-2010 pada Beberapa Negara

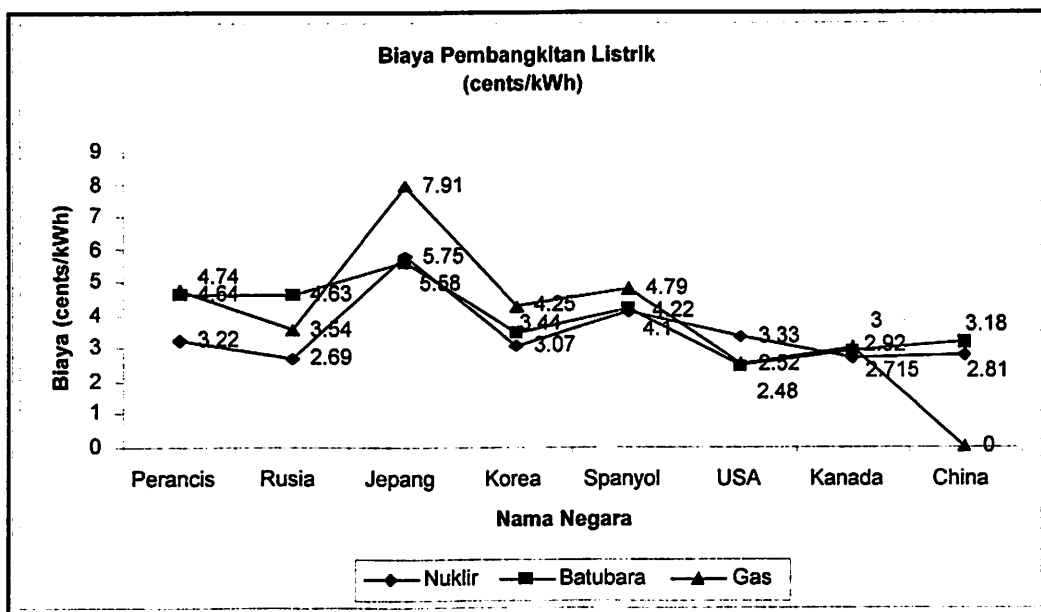
Tabel 11. Perbandingan Biaya Pembangunan Listrik untuk Proyeksi Tahun 2005-2010 (cents US\$/kWh) pada Beberapa Negara dengan Studi Kasus Indonesia.

Nama Negara	Nuklir	Batubara	Gas
Perancis	3,22	4,64	4,74
Rusia	2,69	4,63	3,54
Jepang	5,75	5,58	7,91
Korea	3,07	3,44	4,25
Spanyol	4,10	4,22	4,79
USA	3,33	2,48	2,33-2,71
Kanada	2,47-2,96	2,92	3,00
China	2,54-3,08	3,18	-
Indonesia (studi kasus)	4,04*	4,49	4,96

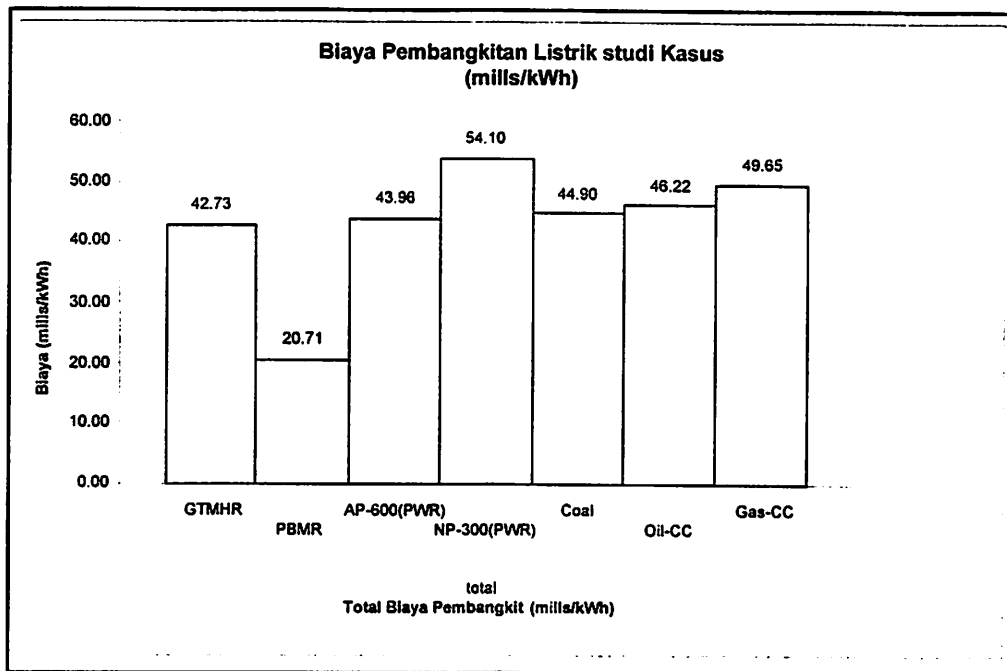
Sumber data: OECD/IEA NEA 1998

Discount Rate =5%, umur ekonomis = 30 tahun, Faktor Kapasitas = 75%.

*) rata-rata dari keempat pembangkit Nuklir yang dikaji (lihat Gambar 2)



Gambar 2. Perbandingan Biaya Pembangunan Listrik untuk Proyeksi Tahun 2005-2010 (cents US\$/kWh) pada Beberapa Negara.



Gambar 3. Perbandingan Biaya Pembangkitan Listrik untuk Proyeksi Tahun 2005-2010 (cents US\$/kWh) untuk Studi Kasus.

Bila kita bandingkan dengan beberapa negara seperti yang tercantum dalam Tabel 11 di atas, maka hasil perhitungan dengan menggunakan data yang ada dengan asumsi *Discount Rate* 5%, umur ekonomis 30 tahun, faktor kapasitas 75%, studi kasus Indonesia untuk biaya pembangkitan listrik untuk proyeksi tahun 2005-2010 (cents US\$/kWh) pada pembangkit berbahan nuklir rata-rata sebesar 4,038 cents/kWh, untuk berbahan bakar batubara sebesar 4,49 cents/kWh, dan gas sebesar 4,96 cents/kWh. Dalam studi kasus ini biaya pembangkitan listriknya mendekati negara Spanyol (lihat Tabel 11.)

V. KESIMPULAN

1. Dengan menggunakan program LEGECOST pada kasus dasar, maka untuk pembangkit berbahan Nuklir, PBMR merupakan yang paling rendah biaya pembangkitan listriknya sekitar 28,21 mills/kWh. Sedangkan yang paling tinggi adalah NP-300 (PWR) sekitar 74,05 mills/kWh. Untuk Pembangkit berbahan bakar fosil, biaya pembangkitan listrik terbesar yaitu batubara sebesar 52,85 mills/kWh, sedangkan yang terkecil adalah *Gas Combine Cycle* sebesar 44,90 mills/kWh.
2. Pembangkit listrik dengan bahan bakar nuklir merupakan pembangkit yang termahal (NP-300) dan termurah (PBMR), dan dapat dianalisis bahwa semakin maju teknologi yang digunakan dan semakin besar kapasitas pembangkitnya maka semakin murah pembangkit nuklir tersebut, khususnya untuk yang tidak menggunakan reaktor temperatur tinggi.

sedangkan untuk reaktor yang bertemperatur tinggi, tergantung pada jenis teknologinya dan relatif tergantung dari besarnya kapasitas pembangkit.

3. PBMR yang merupakan salah satu Reaktor Temperatur Tinggi adalah alternatif terbaik secara ekonomi diantara beberapa pembangkit listrik lain yang dikaji, walaupun belum dibuat secara komersial akan tetapi diharapkan bermanfaat untuk masa yang akan datang.
4. Parameter yang paling berpengaruh dalam analisis kepekaan terhadap biaya pembangkitan adalah faktor kapasitas, kemudian *discount rate*, dan yang terkecil pengaruhnya adalah masa konstruksi pada kasus yang dikaji.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

1. IAEA, Cogeneration and Desalination Economic Evaluation Software, DEE 8.2, 1997.
2. TIM KELOMPOK EKONOMI-ENERGI RST-BATAN, Aspek Ekonomi Reaktor Suhu Tinggi (RST), Suatu tinjauan dalam kemungkinan aplikasinya di Indonesia, 1999.
3. OECD/IEA NEA, 1998.
4. ESKOM, Nicholls, Status of the Pebble Bed Modular Reactor, October 1998.