

**PERHITUNGAN ONGKOS BAHAN BAKAR NUKLIR DAUR TERBUKA
DAN TERTUTUP MENGGUNAKAN METODE LEGECOST**

Moch. Djoko Birmano¹⁾

Abstrak

PERHITUNGAN ONGKOS BAHAN BAKAR NUKLIR DAUR TERBUKA DAN TERTUTUP MENGGUNAKAN METODE LEGECOST. Disajikan hasil perhitungan ongkos bahan bakar nuklir daur terbuka dan tertutup untuk PLTN jenis LWR (*Light Water Reactor*) dengan daya netto 600 MWe. Perhitungan ini menggunakan metode LEGECOST (*LEveled GEneration COST*) yang dikembangkan IAEA yang mempunyai ciri-ciri, yaitu uang dinyatakan dalam nilai tetap (tanpa inflasi), laju diskon (*discount rate*) disamakan dengan suku bunga pinjaman (*interest rate*) dan belum memperhitungkan pajak dan depresiasi. Sebagai kesimpulan adalah bahwa ongkos bahan bakar nuklir daur terbuka lebih menguntungkan karena lebih murah jika dibandingkan dengan ongkos bahan bakar nuklir daur tertutup. Hal ini disebabkan proses olah ulang untuk saat ini kurang menguntungkan karena belum ditemukan cara yang lebih efisien dan murah, disamping itu harga uranium segar masih murah. Pada masa mendatang ongkos bahan bakar daur tertutup akan lebih kompetitif terhadap ongkos bahan bakar daur terbuka apabila ditemukan teknologi proses olah-ulang yang semakin maju, efisien dan murah. Peningkatan penggunaan plutonium (Pu) untuk bahan bakar reaktor khususnya jenis MOX akan mampu menaikkan harga Pu yang akhirnya akan menurunkan ongkos bahan bakar daur tertutup.

Abstract

CALCULATION OF RECYCLE AND OPEN CYCLE NUCLEAR FUEL COST USING LEGECOST METHOD. To be presented the calculation of recycle and open cycle nuclear fuel cost for LWR type that have net power of 600 MWe. This calculation using LEGECOST method developed by IAEA which have characteristics, where i.e. money is stated in constant money (no inflation), discount rate is equalized with interest rate and not consider tax and depreciation. As a conclusion is that open cycle nuclear fuel cost more advantage because it is cheaper than recycle nuclear fuel cost. This is caused that at present, reprocessing process disadvantage because it has not found yet more efficient and cheaper method, besides price of fresh uranium is still cheap. In future, the cost of recycle nuclear fuel cycle will be more competitive towards the cost of open nuclear fuel cycle if is found technology of reprocessing process that more advance, efficient and cheap. Increase of Pu use for reactor fuel especially MOX type will rise Pu price that finally will decrease the cost of recycle nuclear fuel cycle.

¹⁾ *Kelompok Pendanaan Bidang Partisipasi Industri Nasional P2EN - BATAN*

I. PENDAHULUAN

Bahan bakar nuklir (*nuclear fuel*), adalah konsumsi utama suatu PLTN untuk dapat beroperasi menghasilkan energi listrik selama waktu hidupnya (*lifetime*). Daur bahan bakar nuklir (*nuclear fuel cycle*) mencakup seluruh aktivitas mulai dari eksplorasi (*exploration*), penambangan (*mining*), pelindian (*milling*), pemurnian (*purification*), pengkayaan (*enrichment*) dan kemudian dilanjutkan dengan fabrikasi (*fabrication*) menjadi elemen bakar nuklir untuk dapat digunakan di dalam operasi reaktor dan akhirnya menjadi bahan bakar bekas (*spent fuel*).

Pada prinsipnya terdapat 2 (dua) pilihan yang dapat dianut terhadap daur bahan bakar nuklir suatu PLTN. Pilihan pertama adalah daur bahan bakar nuklir tertutup (*recycle*), pada pilihan ini bahan bakar bekas diolah kembali (*reprocessing*) untuk memperoleh sisa uranium (U) yang belum terbakar dan plutonium (Pu), yang dapat digunakan sebagai bahan bakar PLTN. Pada proses olah ulang ini terbentuk limbah yang sarat radionuklida hasil fisi dan sejumlah radionuklida trans-uranium yang berumur paruh panjang. Limbah jenis ini memerlukan pengolahan khusus dan selanjutnya disimpan secara lestari (*ultimate storage*). Pilihan kedua adalah daur bahan bakar nuklir terbuka (*open cycle*), yang berarti bahan bakar bekas reaktor tidak diolah ulang akan tetapi diberlakukan sebagai bentuk limbah akhir yang selanjutnya akan disimpan di suatu lokasi penyimpanan lestari. Adapun program PLTN yang akan dikembangkan di Indonesia menganut daur bahan bakar nuklir terbuka.^[1]

Makalah ini bertujuan untuk menyajikan suatu perhitungan dan perbandingan ongkos daur bahan bakar nuklir terbuka dan tertutup. Perhitungan menggunakan metode LEGECOST (LEveled GEneration COST) yang dikembangkan oleh IAEA (*International Atomic Energy Agency*) dengan menggunakan perangkat lunak EXCEL 2.0 dengan contoh perhitungan simulasi PLTN jenis LWR (*Light Water Reactor*) dengan memakai data default IAEA. Di dalam lembar kerja (*spreadsheet*) ini secara keseluruhan adalah menghitung ongkos pembangkitan listrik, yang terdiri dari ongkos modal, ongkos bahan bakar dan ongkos operasi dan perawatan. Dalam makalah ini hanya diambil perhitungan ongkos bahan bakarnya saja. Di sini ongkos-ongkos tidak digelar mengikuti tahun demi tahun (*cash-flow*), tetapi dinyatakan dalam besaran di tahun awal operasi, besaran nilai kini (*present value*) atau besaran teraras (*levelized*).^[4] Lagi pula semua harga dinyatakan dalam nilai dolar tetap (*constant money*), yang dalam hitungan dilakukan dengan memberikan nilai nol pada laju inflasi. Dengan kata lain, suku bunga di sini dinyatakan dalam nilai dolar tetap, laju diskon (*discount rate*) dalam nilai dolar tetap, eskalasi harga

adalah eskalasi riil dan laju diskon disamakan dengan *interest rate* serta belum memperhitungkan pajak (*tax*) dan depresiasi.

II. ONGKOS DAUR BAHAN BAKAR NUKLIR

Ongkos bahan bakar nuklir untuk PLTN bervariasi bergantung dari jenis reaktornya. Biasanya perhitungan harga tersebut hanya didasarkan atas ongkos-ongkos yang harus ditanggung untuk setiap komponen dari daur ditinjau dari sudut finansialnya saja. Seharusnya disamping aspek finansial perlu pula dipertimbangkan aspek-aspek lain, seperti kebijakan energi, diversifikasi bahan bakar, keandalan pasokan dan dampak sosial serta lingkungan.^[2]

Dalam perhitungan ongkos pembangkitan listrik (*electricity generation costs*) ada tiga komponen pokok, yaitu:

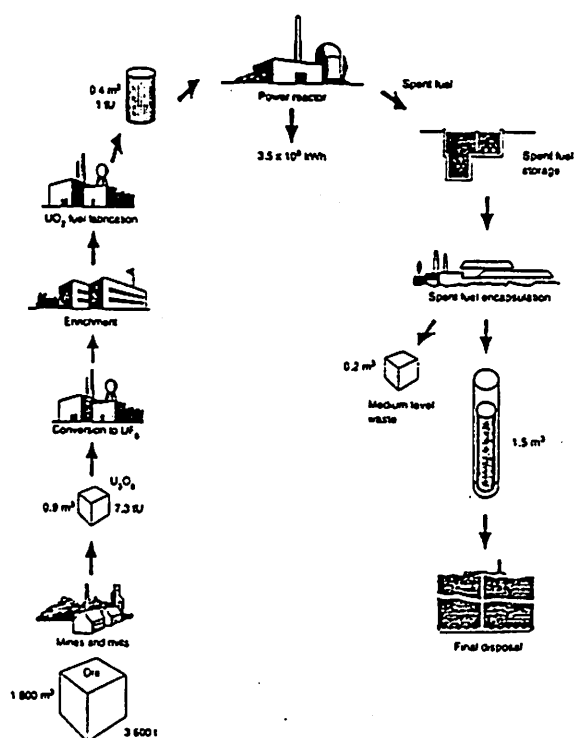
1. Ongkos investasi modal (*capital investment costs*)
2. Ongkos operasi dan perawatan (*operation & maintenance (O & M) costs*)
3. Ongkos bahan bakar (*fuel costs*)

Besarnya ongkos pembangkitan listrik sangat bergantung pada besarnya ongkos produksi bahan bakar, khususnya untuk pembangkit konvensional (non nuklir), karena porsi ongkos bahan bakarnya sangat besar yaitu kira-kira 70-80%^[3], sementara itu untuk pembangkit nuklir jenis PWR porsinya 20-30%.^[2] Ongkos produksi bahan bakar nuklir terdiri atas dua bagian pokok, yaitu ongkos ujung depan (*front-end costs*) dan ongkos ujung belakang (*back-end costs*).

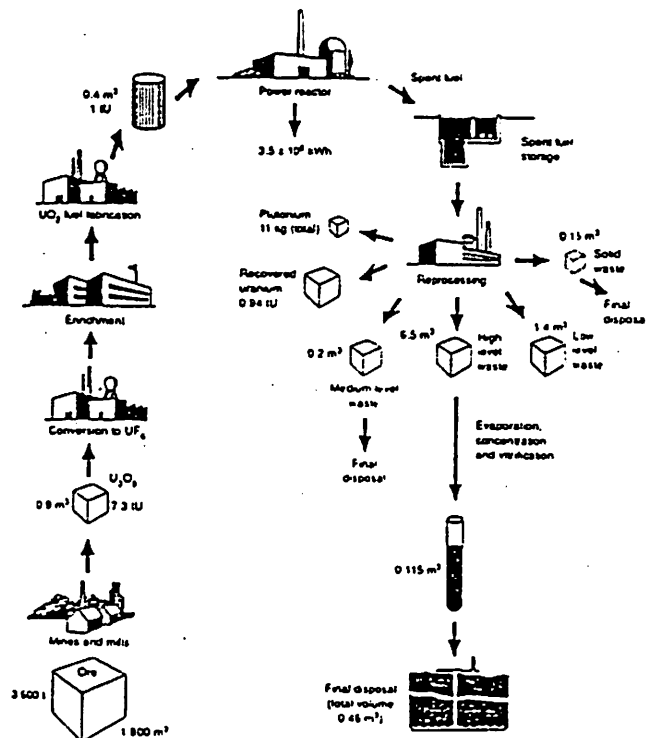
Ongkos ujung depan adalah ongkos yang berkaitan dengan proses daur bahan bakar yang terjadi sebelum bahan bakar diiradiasi atau masuk reaktor, yang meliputi empat tingkat, yaitu: ongkos pembelian uranium (*uranium purchase*), ongkos konversi ke uranium hexafluorida (UF_6) (*conversion costs*), ongkos pengayaan (*enrichment costs*), dan ongkos fabrikasi (*fabrication costs*).

Ongkos ujung belakang adalah ongkos yang berkaitan dengan proses daur bahan bakar setelah bahan bakar diiradiasi di dalam reaktor. Bagian ini terdiri atas dua opsi, yaitu opsi pertama didasarkan pada olah-ulang bahan bakar bekas (*spent fuel reprocessing*) dan daur ulang (*recycle*) untuk mengambil kembali uranium (U) dalam bahan bakar bekas yang masih belum tertembak neutron dan plutonium (Pu) hasil samping reaksi fisi. Sementara itu, opsi kedua didasarkan pada penyimpanan jangka panjang (*long term storage*) diikuti oleh pembuangan langsung (*direct disposal*). Perlu diketahui bahwa ongkos penyimpanan dan penanganan bahan bakar bekas di sekitar lokasi PLTN tidak akan

muncul di dalam ongkos daur bahan bakar nuklir karena semua ongkos yang ditimbulkan oleh kegiatan tersebut termasuk ke dalam ongkos operasi dan perawatan (ongkos O&M) dari instalasi PLTN yang bersangkutan. Gambaran lengkap diagram alir (*flow chart*) dari daur bahan bakar nuklir terbuka dan tertutup ini ditunjukkan masing-masing pada Gambar 1.a. dan 1.b.



Gambar 1.a. Daur Terbuka



Gambar 1.b. Daur Tertutup

III. METODOLOGI

Metode yang digunakan untuk menghitung ongkos bahan bakar (dalam *mills/kwh*) adalah *levelized constant money cost*, yaitu jumlah pengeluaran terdiskon dibagi dengan jumlah terdiskon tenaga listrik yang dibangkitkan.⁽⁴⁾ Pengeluaran yang dimaksud meliputi ongkos-ongkos tahap pembuatan bahan bakar, yaitu meliputi pembelian uranium alam, ongkos konversi, ongkos pengayaan, ongkos fabrikasi, ongkos reprosesing kredit U & Pu untuk daur bahan bakar tertutup, ongkos penyimpanan sementara serta ongkos

pembuangan. Setelah diketahui jumlah di setiap tahap pembuatan bahan bakar tersebut, perhitungan ongkos dapat dilakukan secara langsung (*straight forward*), yaitu ongkos adalah jumlah kali harga atau tarif satuan. Ongkos pengadaan U-alam adalah jumlah kali harga satuan (misalnya 44 \$/kg U). Ongkos konversi adalah jumlah produk konversi kali ongkos konversi (misalnya 6 \$/kg U). Ongkos pengayaan adalah jumlah kg produk kali SWU (*Separative Work Unit*) yang diperlukan kali tarif per kgSWU (misalnya 100 \$/kgSWU). Ongkos fabrikasi akan sebesar jumlah uranium kali ongkos satuannya, begitu pula ongkos pengiriman.

IV. DATA TEKNIS DAN EKONOMI

Dalam perhitungan ini, PLTN yang digunakan sebagai referensi adalah PLTN jenis LWR dengan daya listrik keluaran (*net output capacity*) 600 MWe. PLTN jenis LWR ini sengaja dipilih karena sebagian besar PLTN yang beroperasi di dunia saat ini adalah dari jenis ini. Data teknis PLTN jenis LWR yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1. Sedangkan data ekonomi daur bahan bakar nuklir dapat dilihat pada Tabel 2. Data-data teknis dan ekonomi ini menggunakan referensi harga tahun 1990. Data-data ini tidak baru lagi, akan tetapi dengan asumsi bahwa data-data teknis dan ekonomi yang berkaitan dengan ongkos bahan bakar nuklir ini cenderung stabil dan hanya mengalami sedikit perubahan sehingga bisa digunakan.

Tabel 1. Data Teknis PLTN Referensi (LWR IAEA)

DATA PLTN	
Jenis Reaktor	LWR
Efisiensi Thermal	32%
Daya Listrik Keluaran	600 MWe
Jam Operasi per Tahun	6570 jam
Tahun Komisioning	Th 2000
Lama Hidup PLTN	30 tahun

Tabel 2. Data Ekonomi Daur Bahan Bakar Nuklir

PARAMETER	HARGA DASAR
Tahun Referensi Harga	1990
Discount Rate (%)	10
Pembelian Uranium Alam (\$/kg U)	44
Ongkos Konversi (\$/kg U)	6
Ongkos Pengayaan. (\$/SWU)	100
Ongkos Fabrikasi (\$/kg U)	250
Ongkos Ujung belakang (\$/kgHM)	550
Ongkos Olah Ulang (\$/kgHM)	700
Kredit U & Pu (\$/kgHM)	126
Kadar Buangan (tails) Untuk Pengayaan (%)	0,286
Ratio Bahan Bakar Bekas Dengan Bahan bakar Segar	0,98

LEAD/LAG TIME (Tahun)	
Pembelian Uranium Alam	-3,5
Konversi	-3
Pengayaan	-2
Fabrikasi	-1
Daur Ujung Belakang	30
Proses Olah Ulang	8
Kredit U & Pu	10

KEHILANGAN MATERIAL (%)	
Konversi	0,5
Pengayaan	1
Fabrikasi	0,5

Ket: * hanya untuk daur terbuka
 ** hanya untuk daur tertutup

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari perhitungan yang telah dilakukan didapatkan hasil berupa ongkos produksi bahan bakar nuklir daur terbuka dan tertutup dalam ongkos total tiap (\$ juta/tahun) dan ongkos teraras (*mills/KWh*) yang selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 3. Hasil yang didapat tersebut menunjukkan bahwa ongkos daur bahan bakar nuklir terbuka (19,47 \$ juta/tahun atau 4,94 *mills/KWh*) lebih murah jika dibandingkan dengan ongkos daur bahan bakar nuklir tertutup (23,22 \$ juta/tahun atau 5,89 *mills/KWh*) kira-kira 19,3%.

Tabel 3. Ongkos Daur Bahan Bakar Nuklir Terbuka dan Tertutup.

Tahapan	Ongkos per Tahun (\$ Juta)	
	Daur Terbuka	Daur Tertutup
Uranium	6,57	6,57
Konversi	0,85	0,85
Pengayaan	7,26	7,26
Fabrikasi	4,30	4,30
Daur Ujung Belakang	0,48	0,00
Reprosesing	0,00	4,98
Kredit U&Pu	0,00	-0,74
Total Ongkos (\$/tahun)	19,47	23,22
Ongkos Teraras (mills/kwh)	4,94	5,89

Dalam proses yang berhubungan dengan pembuatan bahan bakar nuklir untuk PLTN, terdapat tujuh parameter yang paling mempengaruhi besarnya ongkos daur terbuka maupun tertutup dan mempengaruhi juga tingkat daya saing ekonomi daur tertutup terhadap daur terbuka, yaitu harga U alam (U_3O_8), ongkos konversi, harga *separative work*, ongkos fabrikasi, ongkos ujung belakang, ongkos reprosesing dan kredit U & Pu.

V. 1. Harga Uranium Alam

Harga U-alam (U_3O_8) sangat mempengaruhi besarnya ongkos bahan bakar. Semakin besar harga U-alam, ongkos bahan bakarnya semakin mahal. Selain itu harga U-alam yang semakin mahal mengakibatkan ongkos bahan bakar daur tertutup akan lebih kompetitif terhadap ongkos bahan bakar daur terbuka. Dari hasil perhitungan bisa diketahui bahwa ongkos pembelian U-alam merupakan yang terbesar kedua setelah ongkos pengayaan diantara tahap-tahap daur bahan bakar nuklir yaitu 6,57 \$ juta per tahun dan mempunyai porsi sekitar 33,74% untuk daur terbuka dan 28,29% untuk daur tertutup. Saat ini ongkos daur bahan bakar tertutup lebih mahal dibandingkan dengan ongkos daur bahan bakar terbuka, salah satunya disebabkan oleh masih murahnya harga U-alam. Hal ini disebabkan masih melimpahnya U-alam di pasaran yang disebabkan berkurangnya permintaan uranium alam. Berkurangnya permintaan ini disebabkan oleh adanya berbagai kemajuan teknologi dalam bidang industri nuklir, diantaranya program "*extended burn-up*", desain bahan bakar maju (*advanced nuclear fuel*), upaya peningkatan efisiensi pembangkitan, penggunaan bahan bakar jenis MOX (*Mixed Oxide*) dan peningkatan

kapasitas proses olah-ulang.^[2] Sebagai harga patokan untuk perhitungan ongkos daur bahan bakar nuklir, OECD (*Organization of Economic Cooperation and Development*) menyetujui harga 50 \$/kg U (nilai uang tahun 1990) dengan laju inflasi 1,2% per tahun.^[5] Kenaikan harga pasaran uranium dimasa mendatang akan dibatasi oleh perkembangan perbaikan teknologi (pemiakan, olah ulang), substitusi bahan bakar (Thorium), teknologi baru atau teknologi alternatif (fusi, matahari, angin, biomassa, geotermal gelombang laut (OTEC) dll) dan kemungkinan ditemukannya deposit baru uranium. Hasil analisis berdasarkan jumlah cadangan yang ada pada saat ini, diperkirakan kemungkinan besar harga batas tertinggi uranium adalah 130 \$/kg U hingga tahun 2030.^[2] Adanya penemuan deposit baru sudah barang tentu akan menurunkan nilai batas ini.

V. 2. Ongkos Konversi

Ongkos konversi adalah biaya yang dibutuhkan untuk mengubah uranium oksida (U_3O_8) menjadi uranium heksafluorida (UF_6). Semakin tinggi biaya konversi mengakibatkan ongkos bahan bakar semakin mahal, disamping itu akan mengakibatkan ongkos bahan bakar daur tertutup lebih kompetitif terhadap ongkos bahan bakar daur terbuka. Ongkos konversi berkisar antara 6 – 11 \$/kg U dan cenderung stabil, tidak akan mengalami kenaikan berarti di masa mendatang.^[2] Lagipula ongkos konversi pengaruhnya terhadap ongkos bahan bakar tidak terlalu besar, karena hanya mengambil porsi sangat kecil, yaitu beberapa persen saja dari ongkos total daur bahan bakar nuklir (dalam studi ini sekitar 4,37% dari total ongkos per tahun). Dengan demikian fluktuasi ongkos konversi tidak akan terasa akibatnya bagi keseluruhan ongkos daur bahan bakar nuklir.

V. 3. Harga *Separative Work* atau Biaya Pengkayaan

Separative work adalah ongkos pekerjaan pengayaan yang dinyatakan dalam \$/SWU. SWU adalah suatu besaran yang proporsional dengan besaran energi yang diperlukan untuk proses pengayaan. Proses pengayaan adalah proses untuk menaikkan kandungan isotop U-235 yang bersifat dapat belah (*fisile*). Besaran SWU merupakan fungsi dari perkayaan masukan, perkayaan yang diminta serta perkayaan yang dibuang (*tail*). Besarnya biaya SWU bergantung pada jenis proses yang digunakan (misalnya proses difusi gas, sentrifuge dan pemisahan isotop dengan laser), skala instalasi dan biaya operasinya. Ongkos pengayaan merupakan ongkos terbesar dalam proses pembuatan bahan bakar nuklir. Dalam perhitungan ini besarnya mencapai 7,26 \$ juta per tahun atau pangsanya 31,3% untuk daur tertutup dan 37,32% untuk daur terbuka dari ongkos daur bahan bakar nuklir secara keseluruhan. Semakin besar harga *separative work*, menjadikan

ongkos pengayaan semakin mahal, yang akhirnya akan mengakibatkan ongkos bahan bakar juga semakin besar dan membuat ongkos daur bahan bakar tertutup lebih kompetitif terhadap ongkos daur bahan bakar terbuka. Ongkos proses pengayaan saat ini adalah 105 \$/SWU mengacu informasi dari *Uranium Information Center, Australia*.^[3] Adanya teknologi proses pengayaan yang potensial di masa mendatang diperkirakan dapat menurunkan ongkos pengayaan dengan laju 2%/tahun.^[2]

V. 4. Ongkos Fabrikasi

Ongkos fabrikasi adalah ongkos pekerjaan pembuatan perangkat bakar, yang meliputi konversi UF₆ diperkaya menjadi pelet UO₂, penyiapan batang elemen bakar dan bundel elemen bakar, dan transportasi bahan bakar segar ke lokasi reaktor. Besarnya ongkos fabrikasi sangat mempengaruhi ongkos bahan bakar. Semakin besar ongkos fabrikasi mengakibatkan semakin mahalnya ongkos bahan bakar dan mengakibatkan ongkos bahan bakar daur tertutup lebih kompetitif terhadap ongkos bahan bakar daur terbuka. Dalam perhitungan ini ongkos fabrikasi sebesar 4,30 \$ juta atau mengambil porsi sekitar 22,09% untuk daur terbuka dan 18,52% untuk daur tertutup. Diperkirakan ada kecenderungan bahwa ongkos fabrikasi elemen bakar nuklir akan naik. Hal ini disebabkan untuk menaikkan tingkat jaminan mutu dan faktor lain yang dipersyaratkan dalam mengatasi masalah kegagalan bahan bakar di beberapa negara. Ongkos fabrikasi bahan bakar nuklir bergantung kepada jenis bahan bakar serta desain bundel elemen bakar. Ongkos fabrikasi saat ini sekitar 240 \$/kg U,^[3] sementara data ongkos fabrikasi tahun 1990 yang dipakai dalam studi ini adalah 250 \$/kg U. Hal ini menunjukkan bahwa lebih dari sepuluh tahun ongkos fabrikasi cenderung tetap atau stabil.

V. 5. Ongkos Ujung Belakang

Ongkos ujung belakang merupakan ongkos penanganan perangkat bakar sesudah keluar dari reaktor, yang biasanya meliputi semua ongkos penyimpanan sementara sebelum perangkat bakar dibawa ke penyimpanan lestari. Adanya ongkos ujung belakang ini adalah ciri dari ongkos bahan bakar daur terbuka, sehingga hanya mempengaruhi besarnya ongkos bahan bakar daur terbuka. Ongkos ujung belakang merupakan porsi terkecil dalam daur terbuka yaitu 2,47%. Semakin besar biaya ujung belakang mengakibatkan semakin mahal pula ongkos bahan bakar daur terbuka sehingga menjadikan ongkos bahan bakar daur tertutup lebih kompetitif terhadap ongkos bahan bakar daur terbuka.

V. 6. Ongkos Reprosesing

Ongkos reprosesing adalah ongkos yang diperlukan untuk memroses olah ulang perangkat bakar bekas yang dipakai di reaktor. Ongkos reprosesing ini merupakan salah satu ciri ongkos bahan bakar daur tertutup, di samping kredit U dan Pu. Ongkos reprosesing sangat mahal dimana dalam perhitungan ini adalah 4,98 \$ juta atau 21,45% dari total ongkos daur tertutup. Tingginya ongkos reprosesing inilah yang mengakibatkan sangat mahalnya ongkos bahan bakar daur tertutup, sehingga saat ini belum kompetitif atau belum dapat bersaing dengan ongkos bahan bakar daur terbuka. Diharapkan pada masa mendatang ditemukan teknologi proses olah-ulang yang semakin maju dan murah, sehingga ongkos bahan bakar daur tertutup bisa bersaing dengan ongkos bahan bakar daur terbuka. Selama sepuluh (10) tahun dari tahun 1985 – 1995 ongkos reprosesing naik sampai lima (5) kali lipat.^[2] Kenaikan ini terutama disebabkan oleh kesulitan teknis dengan proses olah ulang itu sendiri serta ketatnya standar keselamatan yang telah dan akan diterapkan ke dalam instalasi yang lebih modern.

V. 7. Kredit U dan Pu

Salah satu kelebihan dari segi ekonomi teknologi olah-ulang adalah diperolehnya kembali uranium sisa (yang belum membelah) dan plutonium. Semakin mahal harga U & Pu akan mengakibatkan ongkos bahan bakar daur tertutup lebih murah sehingga lebih kompetitif terhadap ongkos bahan bakar daur terbuka. Secara keseluruhan kredit U dan Pu ini dapat menurunkan ongkos total daur bahan bakar tertutup sebesar 3,19%. Reaktor jenis PWR yang beroperasi saat ini dapat dioperasikan dengan bahan bakar MOX (*Mixed OXide*) yang merupakan campuran U-alam dan oksida Pu. Peningkatan penggunaan reaktor nuklir berbahan bakar plutonium (Pu) yang merupakan hasil samping dari proses olah ulang ini akan mampu meningkatkan harga Pu yang selanjutnya akan menurunkan ongkos bahan bakar nuklir daur tertutup.

VI. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan makalah tersebut di atas, maka dapat disimpulkan bahwa untuk saat ini ongkos bahan bakar daur terbuka lebih murah dan menguntungkan daripada ongkos bahan bakar daur tertutup, karena harga U-alam masih murah dan belum ditemukannya teknologi olah-ulang yang lebih murah dan efisien. Pada masa mendatang ongkos bahan bakar daur tertutup bisa lebih kompetitif terhadap ongkos bahan bakar daur terbuka apabila ditemukan teknologi proses olah-ulang yang semakin maju, efisien dan

murah. Peningkatan penggunaan plutonium (Pu) sebagai bahan bakar akan meningkatkan harga Pu yang akhirnya akan menurunkan ongkos daur bahan bakar tertutup.

VII. DAFTAR PUSTAKA

1. M. Iyos R. Subki, Gunanjar; "Strategi Ujung Depan dan Ujung Belakang Daur Bahan Bakar Nuklir Di Indonesia". Seminar Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir, PPTA-Serpong, 26-28 Juli 1994. Badan Tenaga Atom Nasional, 1994.
2. J.B. Hersubeno; "Konsep dan Ciri Ekonomi Daur Bahan Bakar". Diklat Teknologi Industri Bahan Bakar Nuklir, Serpong, 10 – 26 Juli 1995. Badan Tenaga Atom Nasional, 1995.
3. Nuclear Electricity, Published by: Uranium Information Centre Ltd in association with Minerals Council of Australia, Sixth edition, August 2000.
4. Mursid Djokolelono; "Ongkos Daur Bahan Bakar Nuklir Kasus IAEA". Workshop on Economics and Financing of NPP, Jakarta 21 Oktober 1994. Badan Tenaga Atom Nasional, 1994.
5. "Projected Costs of Generating Electricity", OECD/IEA, NEA, Paris, 1993.