

KAJIAN TEKNO-EKONOMI REAKTOR INOVATIF IRIS-350
Sahala M. Lumbanraja, Rr. Arum P. Rijanti, Imam Bustori *)

ABSTRAK

KAJIAN TEKNO-EKONOMI REAKTOR INOVATIF IRIS-350. Gangguan keamanan suplai listrik di Indonesia, khususnya sistem jaringan listrik Jawa-Madura-Bali harus diatasi secara bijak. Gangguan suplai listrik ini mungkin diakibatkan oleh kenaikan harga bahan bakar hidrokarbon juga jumlah pembangkit listrik yang beroperasi masih sedikit. Masalah ini dapat mengakibatkan efek negatif pada sistem sosio-ekonomi nasional. PLTN merupakan salah satu opsi tepat untuk mendukung keamanan suplai listrik sampai saat ini. Beberapa studi mengenai studi kelayakan pengoperasian PLTN di Indonesia harus dilakukan. Studi tekno-ekonomi reaktor inovatif IRIS-350 bertujuan untuk mengkaji aspek teknologi dan ekonomi dari reaktor ini. IRIS-350 (International Reactor Innovative and Secure) merupakan reaktor modular berpendingin air ringan yang dikembangkan oleh konsorsium internasional yang dipimpin oleh Westinghouse. Reaktor ini didasarkan pada prinsip-prinsip operasi dan perbaikan yang sangat sederhana, keselamatan tinggi, mudah diinspeksi, waktu pembangunan relatif pendek, biaya investasi kecil, biaya pembangkitan sangat kompetitif, dan mudah disesuaikan dengan infrastruktur yang ada. Karakteristik utama IRIS adalah konsep reaktor integral, dimana semua komponen-komponen utama sistem pendingin reaktor berada di dalam bejana tekan. Reaktor IRIS-350 cukup menarik jika dioperasikan di Indonesia karena biaya investasi lebih kecil dibandingkan dengan jenis PLTN daya besar, tetapi porsi partisipasi nasional menjadi lebih kecil.

ABSTRACT

THE TECHNO-ECONOMIC STUDY OF INNOVATIVE REACTOR IRIS-350. Disturbance of security of electricity supply in Indonesia, especially in Jawa-Madura-Bali grid system should be addressed wisely. The disturbance in electricity supply maybe resulted from the rise of hydrocarbon fuel prices as well as only a few of power plants in operation. This problem may impose negative effect to the national socio economic system. NPP may become one of viable options to support the security of electricity supply, and therefore. Some studies regarding the feasibility of NPP operation in Indonesia should be done. This study on techno-economic of an innovative reactor IRIS-350 is aimed to access technical and economical aspects of the reactor. IRIS-350 (International Reactor Innovative and Secure) is an advanced light water cooled modular reactor being developed by an international consortium led by Westinghouse. This reactor is based on simplified operation & maintenance, enhanced safety, easy to inspect, short construction time, small investment cost, competitive generating cost, and easily suited to the infrastructures. IRIS main characteristic is integral reactor concept, being all the major reactor coolant system components located inside the pressure vessel. IRIS-350 reactor is very interesting if operated in Indonesia because investment cost less than the large NPP type, but the national participation is very small.

* Staf Bidang Manajemen Persiapan PLTN

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik dan air bersih dunia semakin meningkat akibat pertumbuhan penduduk dan pola hidup masyarakat, tidak terkecuali di Indonesia. Untuk mengatasi persoalan tersebut perlu dicari berbagai alternatif solusi. Perencanaan energi jangka panjang perlu dilakukan agar masalah ini tidak sampai melanda Indonesia. Pembangunan PLTN merupakan salah satu solusi untuk mengatasinya. IRIS (International Reactor Innovative and Secure) merupakan reaktor yang dirancang khusus untuk tujuan ganda (energi listrik dan desalinasi). Reaktor ini dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan dunia khususnya negara-negara berkembang, yang disesuaikan dengan syarat-syarat yang diajukan oleh pengguna (limbah minimal dan keselamatan tinggi), regulator (keselamatan tinggi), pemerintah (non-proliferasi nuklir) dan konsumen (ekonomi)[1].

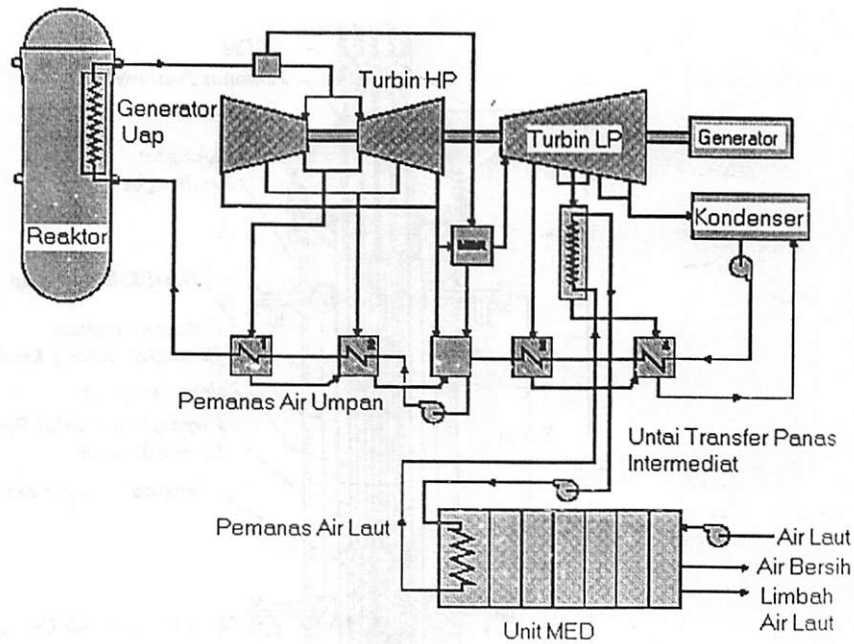
IRIS merupakan reaktor generasi maju dengan konfigurasi dan performa sistemnya yang cukup menonjol, yaitu desain modular, bejana reaktor integral, waktu hidup panjang (60 tahun), biaya operasi dan perawatan kecil, pergantian bahan bakar 4 tahun sekali, margin keselamatan tinggi, mudah diinspeksi, waktu pembangunan relatif pendek, biaya investasi kecil dan biaya pembangkitan kompetitif[1,2].

IRIS-350 merupakan reaktor nuklir generasi baru, berpendingin air yang teknologinya bersumber dari teknologi LWR. Reaktor ini merupakan desain reaktor inovatif berdaya sedang yang dikembangkan oleh konsorsium internasional yang dipimpin oleh Westinghouse dan terdiri dari perusahaan energi, penjual dan universitas dari 7 negara (Amerika Serikat, Jepang, Inggris, Spanyol, Itali, Brasil dan Meksiko)[1]. Status penyelesaiannya saat ini adalah tahap preliminary design, dan ditargetkan akan mulai dibangun pada tahun 2010 [3].

Pada makalah ini akan dibahas masalah tekno-ekonomi dan kelayakan ekonomi reaktor IRIS-350 sebagai salah satu alternatif sistem energi untuk mensuplai kebutuhan energi listrik dan air bersih di masa datang. Dengan demikian, kita dapat mengikuti dan memahami perkembangan teknologi PLTN generasi maju.

II. SISTEM NUKLIR

Reaktor IRIS merupakan reaktor integral jenis air tekan berdaya sedang dengan efisiensi termal sekitar 33 % yang dirancang khusus untuk tujuan ganda (sebagai pembangkit listrik dan desalinasi air laut). Skema pendayagunaan reaktor IRIS ditunjukkan pada Gambar 1.



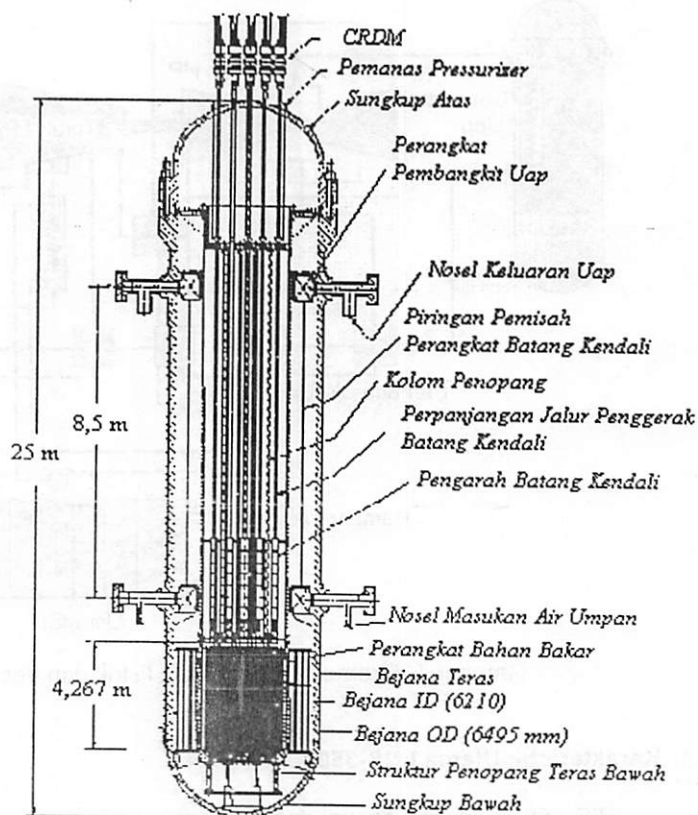
Gambar 1. Skema pembangkitan listrik dan desalinasi[4]

II.1. Karakteristik Utama IRIS-350

IRIS-350 dirancang sesuai dengan persyaratan rancangan PLTN generasi maju. Karakteristika teras dan bahan bakar IRIS-350 sama dengan PWR konvensional yang diproduksi oleh Westinghouse. Ada beberapa perubahan yang dilakukan untuk meningkatkan performanya. Salah satu perubahan dilakukan pada bejana reaktor. IRIS-350 dirancang menggunakan bejana reaktor integral (*integral reactor vessel*) yang semua komponen-komponen utama (teras reaktor, pompa pendingin, generator uap dan *pressurizer*) berada di dalam bejana reaktor.

Keuntungan bejana integral yaitu dapat mengurangi banyaknya interkoneksi sistem pemipaan, sehingga kemungkinan kecelakaan kehilangan pendingin besar (*large LOCA, loss of coolant accident*) dapat dieliminasi. Sistem integral juga mencegah keluarnya zat radioaktif yang dihasilkan oleh reaktor. Bejana reaktor dan komponen-komponen sekunder juga dikungkung dengan pengungkung berbentuk bola dengan diameter 25 m dan tinggi 32 m yang terbuat dari baja.

Teras reaktor berdiameter 2,413 m, tinggi 4,267 m dan berisi 89 perangkat bahan bakar (*fuel assembly*)[5]. Tampang lintang bejana integral reaktor IRIS-350 ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Bejana reaktor integral IRIS-350[1,6]

II.2. Teras Reaktor dan Bahan Bakar

Bahan bakar terdiri dari 264 batang dalam susunan 17 x 17. Posisi bagian dalam digunakan untuk sistem instrumentasi, sedangkan sisanya (24) disediakan untuk *guide thimble*[5]. Reflektor neutron berbentuk radial terbuat dari stainless steel. Reflektor ini berfungsi untuk mengurangi biaya siklus bahan bakar dan untuk memperpanjang umur hidup reaktor.

Siklus pergantian bahan bakar dapat dilakukan 4 tahun sekali dengan tingkat pengayaan bahan bakar UO_2 sebesar 4,95 %, dan derajat bakarnya sebesar 40.000 MWd/tU. Tabel 1 memperlihatkan parameter-parameter desain IRIS-350.

Tabel 1. Parameter Disain IRIS-350[4,5]

Nama Reaktor	IRIS-350	
Perancang	Westinghouse	
Tipe	Integral PWR	
Daya termal	1000 MWt	
Efisiensi	33,5 %	
Total Daya Listrik	335 MWe	
Sistem suplai uap nuklir (<i>nuclear steam supply system</i>)	Laju alir uap	503 kg/det.
	Laju alir air umpan	503 kg/det.
	Temperatur/Tekanan uap	317/5,8 °C/MPa
	Temperatur/Tekanan air umpan	224/6,4 °C/MPa
Sistem Pendingin Reaktor	Laju alir	4700 kg/s
	Tekanan operasi	15,5 MPa
	Suhu masuk (inlet temperature)	293 °C
	Suhu keluar (outlet temperature)	328,4 °C
Bejana Tekan Reaktor	tinggi	6, 21m
	diameter	2,85 m
Teras Reaktor	tinggi	4,267 m
	diameter	2,413 m
	Kerapatan daya teras rerata	51,26 kW/l
	Kerapatan daya b.b rerata	20,89 kW/kgU
Bahan Bakar	Tipe	UC ₂ pin
	Pengkayaan	4,95 %
	Frekwensi pergantian	4 tahun
Desalinasi	Kapasitas total	14.000 m ³ /hari
	Jumlah unit	7
	Konsumsi daya per unit	5,2 MWe

III. ASPEK KESELAMATAN

IRIS mempunyai sistem keselamatan pasif dan melekat (inheren) yang diadopsi dari reaktor PWR generasi III yang akan meningkatkan implementasi konsep keselamatan berlapis [7,8]. Sistem keselamatan melekat merupakan sistem keselamatan yang dirancang khusus dengan koefisien temperatur moderator negatif besar dan kerapatan daya rendah. Konsep ini dapat mengeliminasi secara fisik kemungkinan berbagai kecelakaan, memperkecil kemungkinan kecelakaan terparah dan memperkecil

risiko ke tingkat yang dapat diterima jika terjadi kecelakaan. Sedangkan ciri keselamatan pasif adalah memanfaatkan sirkulasi alamiah secara maksimal (hingga 100%) saat reaktor kehilangan daya, kehilangan fungsi pemindah panas peluruhan (*decay heat removal*) dan pecah/bocornya tabung penukar panas, sehingga kecelakaan aliran pendingin (*LOCA*) dapat dikurangi sekecil mungkin. Prinsip sistem keselamatan ini adalah meminimalkan peran operator dalam mengendalikan operasi reaktor. Konfigurasi sistem keselamatan pasif terdiri dari satu *emergensi heat removal system (EHRS)*, dua *automatic depressurization system (ADS)*, satu pengungkung *pressure suppression system (PSS)* dan satu kolam yang khusus digunakan untuk menampung air pendingin ketika sistem pemipaan pecah[5].

Reaktor IRIS menggunakan *internal control rod drive mechanism (internal CDRM)*, sedangkan reaktor PWR generasi III menggunakan *external control rod*. Untuk reaktor generasi III, *reactor control cluster assembly (RCCA)* berada di luar bejana (*vessel*). Penetrasi batang penggerak mekanik (*mechanical drive rod*) antara *RCCA* dengan mekanisme penggerak eksternal (*external drive mechanism*) umumnya menjadi sumber kecelakaan yang dapat mengakibatkan peningkatan daya secara tak terkendali. Hal ini disebabkan perbedaan tekanan di dalam bejana reaktor dan di luar bejana reaktor cukup besar yang dapat mengakibatkan batang kendali dapat terdorong ke atas jika sistem kendali tidak bekerja dengan baik.

Mekanisme penggerak *RCCA (RCCA drive mechanism)* reaktor IRIS berada di dalam bejana reaktor. Peniadaan penetrasi *mechanical drive rod* antara *RCCA* dengan *external drive mechanism* akan mengeliminasi tekanan yang melewati *pressure boundary*. Tiap *CRDM* memiliki elemen-elemen penyerap (*absorber elements*) yang dapat disisipkan melalui *fuel assembly guide thimbles*. Sebagai bahan utama penyerap umumnya digunakan $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-B}_4\text{C}$ untuk mengkompensasi hasil reaktivitas dari penyusutan bahan bakar (*fuel depletion*). Sedangkan Gd_2O yang dicampur merata dengan UO_2 digunakan sebagai bahan penyerap dapat-bakar terintegrasi (*integrated burnable absorber*) untuk memperkuat pencapaian keselamatan *shutdown*. Eliminasi *mechanical*

drive rod merupakan kelebihan sistem keselamatan reaktor IRIS dibandingkan dengan PWR generasi III (AP-600).

Sistem keselamatan IRIS juga didasarkan pada keselamatan dengan pendekatan desain, seperti terlihat pada Tabel 2. Aspek keselamatan reaktor IRIS difokuskan pada peningkatan derajat keselamatan melekat dengan mengeliminasi atau meminimalisasi penyebab kecelakaan dengan pendekatan desain.

Keselamatan berbasis desain merupakan satu pendekatan keselamatan dengan memanfaatkan berbagai keuntungan maksimum yang ditawarkan konfigurasi integral, yaitu dapat mengeliminasi secara fisik kemungkinan berbagai kecelakaan, memperkecil kemungkinan kecelakaan terparah dan risiko ke tingkat yang dapat diterima jika terjadi kecelakaan[9].

Ciri keselamatan inheren adalah memaksimalkan koefisien temperatur negatif dengan mengatur racun dapat bakar (*burnable poison*)[6]. Sedangkan ciri keselamatan pasif adalah memanfaatkan sirkulasi alamiah secara maksimal (hingga 100%) saat reaktor kehilangan daya, kehilangan fungsi *decay heat removal* dan pecah/bocornya tabung transfer panas, sehingga kecelakaan aliran pendingin (LOCA, loss of coolant accident) dapat dihindarkan.

Kerapatan daya teras IRIS didesain cukup kecil untuk meniadakan pompa pendingin sistem primer dalam sirkulasi paksa. Sistem pemipaan eksternalnya juga dieliminasi, agar kecelakaan kehilangan pendingin terparah (large LOCA) dapat dihindarkan. IRIS tidak membutuhkan sistem pendingin teras darurat (ECCS, *Emergency Core Cooling System*), panas dipindahkan dengan menggunakan generator uap internal. Sebuah sistem sirkulasi alamiah pasif yang menghubungkan generator uap dengan penukar panas ditempatkan di luar pengungkung.

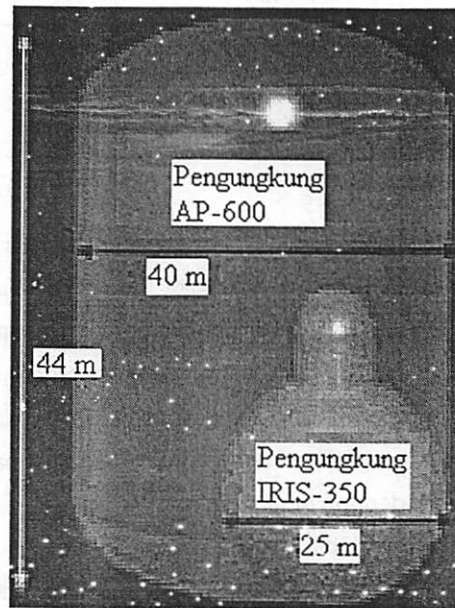
Sistem keselamatan dengan pendekatan disain merupakan strategi untuk mencapai tingkat keselamatan yang sangat tinggi dan frekuensi kerusakan teras yang disyaratkan lebih kecil dari 10^{-8} per reaktor-tahun.

Tabel 2. Implementasi Keselamatan IRIS dengan Disain[2,6,10]

Karakteristika Desain	Implikasi Keselamatan	Kecelakaan yang berhubungan	Disposisi
Konfigurasi reaktor integral	tidak ada pemipaan eksternal	kecelakaan kehilangan pendingin (large LOCA)	ditiadakan/dieli minasi
Bejana tinggi dengan generator uap yang ditinggikan	dapat mengakomodasi <i>internal control rod drive</i>	peningkatan reaktivitas akibat penarikan batang kendali (control rod ejection)	dapat ditiadakan
	derajat sirkulasi alamiah tinggi	kehilangan semua aliran (misal, kehilangan daya)	100% sirkulasi alamiah atau tidak sirkulasi alamiah 100%
Beda tekanan dalam aliran rendah dan banyak pompa pendingin reaktor (RCP)	kehilangan satu pompa secara mendadak tidak menimbulkan masalah, karena 5 pompa lainnya cukup untuk mendinginkan teras.	Kecelakaan kehilangan pendingin LOFA (misal. pompa patah)	tidak ada kerusakan teras/kecelakaan tingkat IV ditiadakan
Inventori air dalam bejana banyak	evolusi trasient lambat membantu melindungi teras	LOCA (kecil – menengah)	teras masih tetap terlindungi, seandainya tidak ada bantuan keselamatan
Ukuran dikurangi, tekanan pengungkung lebih tinggi	daya dorong dikurangi melalui pembukaan pompa primer		
Pemindah panas di dalam			
Sistem generator uap tekanan tinggi	sistem primer tidak dapat melebihi tekanan sistem sekunder	tabung generator uap hancur	kurangi risiko - kecelakaan cepat dihentikan dengan isolasi otomatis sederhana
	tidak ada katup keselamatan generator uap	pipa uap dan umpan patah	kurangi kemungkinan dan kurangi risiko
Desain generator uap	inventori air sedikit		
Teras umur panjang	tidak ada pergantian bahan bakar sebagian	kecelakaan pergantian bahan bakar	kurangi kemungkinan

VI. ASPEK KEEKONOMIAN

Reaktor IRIS-350 hanya membutuhkan komponen-komponen lebih sedikit dari reaktor konvensional. Sebagai contoh banyaknya pompa yang dibutuhkan 35 % lebih sedikit, katup 50 % lebih sedikit, kabel 70 % lebih sedikit dan 80 % sistem pemipaan lebih sedikit. Hal ini akan memperkecil kemungkinan terjadi kegagalan peralatan yang digunakan. Pengungku IRIS-350 berbentuk bola sedangkan pengungku AP-600 berbentuk silinder. Bangunan pengungku IRIS-350 jauh lebih kecil dari bangunan pengungku AP-600, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Perbandingan bangunan pengungku AP-600 dengan IRIS-350[11]

Analisis biaya pembangkitan dan biaya modal yang telah dilakukan oleh *Rice University* menunjukkan bahwa reaktor IRIS-350 mempunyai keuntungan ekonomis lebih baik dari reaktor AP-600 maupun AP-1000, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Biaya pembangkitan dan biaya modal untuk AP-600, AP-1000 dan IRIS-350[12]

Tipe		AP-600	AP-1000	IRIS-350
Daya (MWe)		2 x 600	1 x 1100	3 x 350
Biaya Cent/kWh	Modal	2,6	1,8	1,7
	O & M	0,8	0,55	0,3
	Bahan bakar	0,6	0,6	0,35
	Dekomisioning	0,1	0,1	0,1
Total		4,1	3,05	2,49
Biaya modal (\$US/kWe)		1450	1075	636

V. PEMBAHASAN

V.1. Analisa Teknologi IRIS-350

Umumnya, pembangkit listrik daya medium antara 300-600 MWe sulit berkompetisi secara ekonomi dengan pembangkit listrik daya besar, hal ini disebabkan biaya penelitian dan pengembangan, serta biaya studi kelayakan hampir sama. Reaktor IRIS merupakan reaktor sistem modul yang didesain dengan berbagai kelebihan sehingga dapat berkompetisi dengan pembangkit daya besar jika dibangun sebanyak n modul. Faktor-faktor utama yang dapat mengurangi biaya total pada desain IRIS [1]:

- Desain sederhana dengan jumlah komponen sedikit
- Umur reaktor panjang (lebih dari 40 tahun)
- Biaya operasi dan perawatan (operation & maintenance) kecil
- Waktu konstruksi pendek (kurang dari 3 tahun)
- Faktor ketersediaan (availability factor) tinggi (90%)
- Risiko investasi kecil
- Limbah lebih sedikit
- Mudah disesuaikan dengan penawaran & permintaan (supply & demand)
- Mudah disesuaikan dengan infrastruktur yang ada (biaya transmisi kecil)
- Batas keselamatan lebih tinggi
- Waktu pergantian bahan bakar panjang (4 tahun)

Sistim keselamatan reaktor IRIS menggunakan sistim keselamatan pasif dan inherent dengan tingkat keselamatan yang sangat tinggi. Frekuensi kerusakan teras sebesar 10^{-8} per reaktor jauh lebih tinggi dari persyaratan yang ditetapkan oleh IAEA sebesar 10^{-5} per reaktor.

V.2. Analisa Ekonomi IRIS-350

Reaktor IRIS dikembangkan berdasarkan sistem keselamatan dengan pendekatan desain (Tabel 1) untuk memperoleh derajat keselamatan yang tinggi, dan berbagai penyederhanaan untuk meminimalisasi biaya. Sistem keselamatan tinggi, umur teras panjang dan frekwensi pergantian bahan bakar sekali dalam 4 tahun akan meningkatkan faktor ketersediaan hingga 90 %. Faktor ketersediaan tinggi akan meningkatkan pendapatan (revenue). Derajat bakar tinggi yang digunakan secara nyata mengurangi jumlah limbah nuklir dan hal ini juga akan mengurangi biaya.

Biaya pembangkitan untuk PLTN pertama umumnya lebih besar 15 – 55% daripada PLTN berikutnya, bergantung pada jenis dan lokasinya. Dari pengalaman pembangunan PLTN di Perancis dan Korea Selatan dapat disimpulkan bahwa standarisasi pembangunan akan dapat mengurangi biaya pembangkitan. Pembangunan 8 unit PLTN sejenis akan mengurangi biaya pembangkitan rata-rata 10% di Perancis, sedangkan di Korea Selatan, biaya pembangkitan akan berkurang di atas 15% bila dibangun 6 PLTN sejenis[14]. Sistem modularisasi, standarisasi dan produksi massal dari komponen-komponen yang sejenis untuk sejumlah modul berkontribusi mengurangi total biaya dibandingkan dengan hanya mengoperasikan modul tunggal.

Setiap reaktor dengan desain baru membutuhkan sebuah prototipe untuk mendapatkan lisensi. Reaktor IRIS tidak memerlukan prototipe untuk mendapatkan lisensi, karena desain reaktor ini diadopsi dari reaktor generasi III (AP-600). Misalnya, biaya yang dibutuhkan untuk sebuah prototipe reaktor berpendingin gas He kira-kira sebesar 1.200 juta US\$, sedangkan untuk reaktor berpendingin sodium kira-kira sebesar 1.000 juta US\$[8].

Waktu konstruksi pendek kira-kira 3 tahun akan mengurangi biaya konstruksi dan risiko investasi proyek, seperti biaya tenaga kerja saat konstruksi, biaya bunga dari modal, dan lain-lain. Reaktor IRIS-350 merupakan reaktor sistem modul yang dapat dibangun dengan sistem twin maupun unit tunggal. Pembangunan modul berikut dapat disesuaikan dengan kondisi dan permintaan pasar pengguna, sehingga risiko pembiayaan dapat ditekan sekecil mungkin. Daya pembangkitan yang sedang (350 MWe) akan dengan mudah disesuaikan dengan infrastruktur yang ada, sehingga biaya untuk transmisi menjadi lebih kecil.

Desain reaktor IRIS-350 dikembangkan berdasarkan prinsip-prinsip operasi dan perbaikan yang sangat sederhana, keselamatan tinggi, mudah diinspeksi, waktu pembangunan relatif pendek dan biaya investasi kecil. Berdasarkan studi yang telah dilakukan oleh Rice University diperoleh biaya pembangkitan listrik reaktor IRIS lebih murah dibandingkan dengan reaktor AP-600 maupun reaktor AP-1000 jika dibangun untuk jumlah daya yang setara, seperti terlihat pada Tabel 2. Sedangkan hasil studi yang

dilakukan oleh Departemen Energi Amerika Serikat untuk reaktor IRIS-350 per module, biaya konstruksi pembangkit listrik sebesar 385 juta US \$ dan biaya konstruksi pembangkit desalinasi per unit 24 juta US \$ [4].

Dari studi ekonomi yang telah dilakukan oleh dengan IAEA DEEP Code dan Russian TEO-INVEST Code, diperoleh estimasi biaya pembangkitan listrik dan produksi air bersih yang cukup kompetitif seperti yang terdapat pada Tabel 4. Contoh, biaya pembangkitan listrik adalah kira-kira 3.0 cent\$/kWh dan biaya desalinasi sebesar 0,839 US\$/m³ untuk produksi listrik 280 MWe dan air bersih 14.000 m³/hari dengan asumsi *discount rate* 5%, waktu hidup 30 tahun dan *load factor* 75%.

Tabel 4 menunjukkan beberapa perbandingan biaya pembangkitan untuk proyeksi tahun 2005 – 2010, dengan asumsi *discount rate* 5%, waktu hidup 30 tahun dan *load factor* 75%.

Tabel 4. Biaya pembangkitan listrik dan produksi air bersih IRIS-350 menggunakan IAEA DEEP, Russian TEO-INVEST dan IRIS code[4]

		280 MWe
Daya listrik masuk ke jaringan		
Biaya pembangkitan (¢US/kWh)	IAEA DEEP Code	3.0
	Russian TEO-INVEST Code	3.0
	IRIS + RO plant	2.7
	IRIS + MSF plant	3.8
Biaya desalinasi (\$US/ m ³)	IAEA DEEP Code	0.839
	Russian TEO-INVEST Code	0.804
	IRIS + RO plant	0.737
	IRIS + MSF plant	1.44

Tabel 5. Proyeksi biaya pembangkitan tahun 2005-2010 beberapa negara [13,14]

	Nuklir (ϕ US/kWh)	Batubara (ϕ US/kWh)	Gas (ϕ US/kWh)
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
Spain	4,10	4,22	4,79
Amerika Serikat	3,33	2,48	2,71
Kanada	2,96	2,96	3,00
Cina	3,08	3,18	-

Dari Tabel 4 dan Tabel 5 dapat diperoleh bahwa biaya pembangkitan listrik IRIS-350 kira-kira sebesar 3 ϕ US/kWh masih dapat bersaing dengan PLTN berdaya besar, PLTU Batubara dan PLTU Gas. Dengan demikian prospek reaktor IRIS-350 di Indonesia cukup menjanjikan, karena biaya pembangkitannya cukup bersaing dibanding dengan biaya pembangkitan dari PLTN daya besar, PLTU Batubara maupun PLTU Gas. Kondisi geografis wilayah Indonesia yang terdiri dari pulau-pulau, dan populasi penduduk yang kurang merata, juga menambah daya saing PLTN daya sedang.

Reaktor sistem modul secara tidak langsung akan mengurangi porsi partisipasi nasional. Tetapi dengan harga pembangkitan yang ditawarkan reaktor IRIS-350 cukup atraktif untuk didayagunakan di Indonesia. Harga pembangkitan yang ditawarkan oleh IRIS-350 masih perlu dikaji lebih mendalam sebelum didayagunakan di Indonesia

VI. KESIMPULAN

Reaktor IRIS-350 cukup berpeluang dibangun di Indonesia karena sesuai dengan kondisi geografisnya yang membutuhkan biaya transportasi cukup tinggi untuk mensuplai ketersediaan pasokan-kebutuhan energi Indonesia. Reaktor IRIS merupakan reaktor sistem modul yang didesain dengan berbagai kelebihan baik dari segi teknologi maupun ekonomi. Pembangunan reaktor IRIS-350 lebih mudah disesuaikan dengan permintaan pasar. PLTN jenis sistem modul akan mengurangi porsi partisipasi nasional.

Perlu dilakukan kajian lebih mendalam jika reaktor ini akan dibangun di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

1. MARIO D. CARELLI AND BOJAN PETROVIC, "Next Generation Advanced Reactor",
<http://npj.goinfo.com/NPJMain.nsf/504ca249c786e20f85256284006da7ab/e571143544bd6be1862a88005b6675?OpenDocument>
2. M.D. CARELLI, D. V. PARAMONOV, B. PETROVIC, "IRIS Responsiveness to Generation IV Roadmap Goals",
http://hulk.cesnef.polimi.it/Papers/ICAPP_1183.pdf
3. International Reactor innovative & Secure (IRIS) Project,
<http://www.nei.org.asp?catnum=4&catid=342>
4. D.T. Ingersoll, et. al. "Cogeneration of Electricity and Potable Water Using The International Reactor Innovative and Secure (IRIS) Design",
<http://www.ornl.gov/~webworks/cp/pr/y2001/pres/121500.pdf>.
5. IAEA, "Status of Advanced Light Water Reactor Design 2004", IAEA-Tecdoc-1391, May 2003.
6. M.E. RECOTTI, A. CAMMI, A. CIONCOLINI, A. CIPLLARO, F. ORIOLO, C. LOMBARDI, L.E. CONWAY, A.C. BARROSO; "Preliminary Safety Analysis of the IRIS Reactor", Proceeding of ICONE10, Arlington, VA, April 14-18, 2002,
<http://hulk.cesnef.polimi.it/Papers/ICONE10-22398.pdf>
7. L.E. CONWAY, C. LOMBARDI, M. RECOTTI, L. ORIANI, "Simplified Safety and Containment Systems for the IRIS Reactor",
http://hulk.cesnef.polimi.it/Papers/01ICO_SF.pdf
8. J. ROBERTSON, J. LOVE, R. MORGAN, L.E. CONWAY, "The IRIS General Plant Arrangement", Proceeding of ICONE10, Arlington, VA, April 14-18, 2002,
<http://hulk.cesnef.polimi.it/Papers/ICONE10-22571.pdf>
9. "Report Study Outlines Reactor Designs That May Be Ready for Deployment by Decade's End", Nuclear News August 2001,
<http://www.ans.org/pubs/magazines/nn/pdfs/2001-8-2.pdf>
10. M.D. CARELLI, L.E. CONWAY, C.V. LOMBARDI, M. E. RECOTTI, L. ORIANI, F. BERRA, N.E. TODREAS, "Safety by Design: A New Approach to Accident Management in the IRIS Reactor", http://hulk.cesnef.polimi.it/Papers/01CAI_SF.pdf
11. Rice University, "A Policy Framework For Micro-Nuclear Technology",
http://rice.edu/energy/publications/docs/NewEnergyTechMicroNuclear_Smallin
12. Rice University, "New Energy Technology: A Policy Framework For MicroNuclear Technology", http://rice.edu/projects/baker/Pubs/workingpapers/2001_nuclear/
13. PETER WILMER, EVELYNE BERTEL, "Nuclear Power: a Competitive Option?",
<http://www.world-nuclear.org/sym/1999/wilmer.htm>
14. The Economics of Nuclear Power, July 2001, <http://www.uic.com.au/nip08.htm>