

TEKNOLOGI KOPLING PEMBANGKIT DESALINASI NUKLIR

Nurlaila, Yuliasuti¹

ABSTRAK

TEKNOLOGI KOPLING PEMBANGKIT DESALINASI NUKLIR. Pada prinsipnya kebutuhan energi sebuah instalasi desalinasi dapat dipenuhi dengan menggabungkannya pada sebuah reaktor nuklir. Makalah ini memaparkan tiga jenis pembangkit desalinasi yang dikopling dengan beberapa jenis reaktor nuklir. Jenis pembangkit desalinasi yang dijelaskan di sini adalah jenis *Multiple-Stage Flash (MSF)*, *Multi Effect Distillation (MED)*, serta Hibrida antara MSF dan *Reverse Osmosis (RO)*. Kopling desalinasi nuklir tidak membutuhkan reaktor nuklir yang khusus untuk sumber energinya, dapat menggunakan jenis reaktor daya (NPR) maupun jenis reaktor panas (NHR). Jenis reaktor panas potensial untuk dapat dikopling dengan instalasi desalinasi termal (MSF atau MED). Sementara pembangkit desalinasi jenis hibrida lebih cocok menggunakan jenis reaktor daya sebagai sumber energi.

Kata Kunci: Desalinasi, Hibrida, Kopling, MSF, MED, NHR, NPR, RO

ABSTRACT

COUPLING TECHNOLOGY OF NUCLEAR DESALINATION PLANT. Principally the energy requirement of a desalination plant can be supplied by coupling desalination units with nuclear reactors. this paper presents the technology coupling analysis between desalination units with nuclear reactor plants. the type of desalination units discussed in this paper are Multi Stage Flashing (MSF), *Multi Effect Distillation (MED)*, and a hybrid type between MSF and Reverse Osmosis (RO). There are no specific nuclear reactors for desalination. Any reactors capable of providing electrical and/or thermal energy can be coupled to an appropriate desalination process. Heating reactors potential to be coupled with thermal desalination (MSF or MED). Hybrid desalination unit is more suitable coupled with power reactor as its energy source.

Key words: Desalination, Hybrid, Coupling, MSF, MED, NHR, NPR, RO

1. PENDAHULUAN

Manusia, di dalam kehidupannya selalu membutuhkan air bersih. Kelangkaan akan air bersih khususnya air minum merupakan sebuah bencana bagi negara-negara di dunia. Sekitar tahun 2025, dua per tiga penduduk dunia akan menderita kekurangan air, khususnya di Afrika, Amerika Latin dan Asia Tenggara¹. Di Indonesia pun konsumsi air bersih cenderung meningkat dari 7,6 juta m³/tahun menjadi 10,15 juta m³/tahun (berdasarkan data dari Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) tahun 1998 – 2002). Ketimpangan antara ketersediaan dan kebutuhan air bersih cukup signifikan, khususnya

¹Staf Bidang Manajemen Persiapan PLTN

di daerah Madura. Pada tahun 2002 produksi air bersih hanya dapat dipenuhi 11,33 % dari keseluruhan permintaan akan air bersih, oleh karena itu dibutuhkan alternatif sumber air bersih lainnya^[2].

Desalinasi air laut merupakan salah satu alternatif yang menjanjikan untuk mengatasi kekurangan air tersebut. Kapasitas pembangkit desalinasi air laut di dunia kian bertambah dalam beberapa dekade ke depan, dan cenderung terus bertambah seiring kebutuhan akan air bersih. Teknologi desalinasi telah populer sejak tahun 1950-an dan teknologi desalinasi besar yang pertama dibangun adalah desalinasi dengan proses termal yang didominasi oleh negara-negara Timur Tengah. Sejak tahun 1980-an, teknologi desalinasi menjadi teknologi komersial. Keuntungan teknologi berdasarkan pengalaman operasi dicapai oleh unit yang dibangun dan dioperasikan pada dekade sebelumnya. Sejak tahun 1990-an penyediaan air bersih dengan teknologi desalinasi telah umum digunakan^[1, 3, 4].

Pembangkit desalinasi yang telah dikembangkan di dunia salah satunya memanfaatkan energi nuklir untuk menghasilkan air bersih. Pembangkit desalinasi nuklir merupakan pembangkit desalinasi yang dikopel dengan pembangkit listrik nuklir. Pembangkit desalinasi nuklir telah lama dan banyak dikembangkan di dunia, di antaranya adalah jenis *Multiple-Stage Flash (MSF)*, *Multi Effect Distillation (MED)*, dan *Reverse Osmosis (RO)*. Berbagai jenis kopling desalinasi nuklir juga telah dan masih terus dikembangkan. Beberapa jenis PLTN yang telah dikembangkan sebagai kopling pada pembangkit desalinasi adalah *Nuclear Heating Reactor (NHR)*, *Pressurized Water Reactor (PWR)*, *High Temperature Gas Cooled Reactor (HTGR)*, dan lain-lain. Pada makalah ini akan dipaparkan mengenai teknologi kopling desalinasi nuklir secara umum.

II. PEMBANGKIT DESALINASI

Pembangkit desalinasi telah lama dan masih terus dikembangkan di dunia. Teknologi desalinasi telah berkembang pesat sejak pertengahan abad ke-20, terutama di Timur Tengah dan Afrika Utara. Menurut data statistik dari IDA (*International Desalination Assosiation*) tahun 1997, total unit desalinasi di dunia sebanyak 12.451 unit dengan total kapasitas sebesar 22.735.000 m³ (5 milyar galon) per hari telah terpasang dan dikontrakkan^[1,3]. Sementara berdasarkan data tahun 2005 total kapasitas desalinasi di dunia sebesar 7 milyar galon per hari^[4].

Pembangkit desalinasi yang telah banyak dikembangkan di dunia dikategorikan atas jenis teknologi termal dan membran. Pembangkit desalinasi termal, merupakan jenis pembangkit desalinasi dengan cara penguapan (dengan temperatur tinggi) kemudian dikondensasi sehingga menghasilkan air bersih. Jenis desalinasi termal ini yaitu MSF, MED, dan VC (*Vapour Compression*). Sedangkan teknologi membran adalah proses pemisahan garam dari air laut dengan menggunakan membran *semipermeable* yaitu RO.

2.1. Teknologi Termal

Teknologi termal adalah pemisahan garam dari air laut dengan cara penguapan (dengan temperatur tinggi) kemudian dikondensasi sehingga menghasilkan air bersih. Jenis desalinasi termal ini yaitu MSF, MED dan VC.

Pembangkit desalinasi MSF dan MED menggunakan proses distilasi, di mana energi suplai untuk proses diperoleh dari panas sisa pembangkit dengan pemanasan uap, sehingga menghasilkan air dengan konsentrasi garam minimal 10 - 25 ppm. Sementara proses VC hampir sama prosesnya seperti MED namun untuk pemanasannya proses ini menggunakan pompa dengan daya kerja kompresor yang sangat tinggi sehingga mampu mengubah uap menjadi titik-titik air yang mempunyai tekanan dan suhu yang lebih tinggi dari masukannya.

Pembangkit desalinasi MSF adalah salah satu proses desalinasi yang terdepan diperkenalkan di dunia karena operasinya sederhana, unjuk kerjanya telah terbukti dan tersedia dalam desain dan peralatan yang standar. Rasio unjuk kerja (*Performance Ratio*): 10 pon setiap pon uap (*steam*). Pembangkit desalinasi MSF pada prakteknya memproduksi air murni sekitar 5 - 25 ppm TDS (*Total Dissolved Solid*) dari air laut yang mengandung 35.000 – 45.000 ppm TDS. Konsumsi energi spesifik dari MSF adalah 4 kWh per ton air hasil distilasi (*distillate*). Temperatur pembangkit desalinasi MSF biasanya berkisar antara 90 – 120 °C, tergantung pada perlakuan (*treatment*) air umpan. Temperatur operasi di atas 120 °C membuat pembangkit desalinasi tidak dapat bekerja karena akan timbul masalah pada deposisi skala pada pemanas *brine* (*brine heater*)^[4].

Pembangkit desalinasi MED memproduksi air bersih dengan konsentrasi garam yang sama dengan MSF yaitu sebesar : 5 – 25 ppm TDS dari air laut dengan 35.000 – 45.000 ppm TDS. Konsumsi energi spesifik dari MED di bawah 1,8 kWh lebih kecil dari pada MSF, sementara rasio unjuk kerjanya sebesar 15 pon per pon uap^[3].

Proses desalinasi dengan menggunakan VC adalah yang paling tinggi teknologinya jika dibandingkan dengan proses yang lain, sehingga VC didesain untuk masa depan. Pembangkit desalinasi VC menghasilkan air bersih dengan konsentrasi garam sebesar 10 - 20 ppm, dengan konsumsi energi spesifik sebesar 7,5 – 8,5 kWh/m³ air produk^[3].

2.2 Teknologi Membran

Pembangkit desalinasi yang menggunakan teknologi membran adalah RO. Pada proses ini, air murni melewati membran *semi-permeable* khusus dengan level molekul ataupun ion di bawah nilai tekanan tertentu, sedangkan garam disaring sehingga tidak melewati membran. Perbedaan tekanan dijaga pada kondisi yang cukup tinggi, untuk dapat mengatasi kecenderungan alami air untuk bergerak dari bagian konsentrasi garam

yang rendah menuju ke bagian konsentrasi garam yang tinggi, atau didefinisikan sebagai tekanan osmosis^[5].

Pada *Reverse Osmosis*, dengan tekanan yang tinggi, air yang berkonsentrasi tinggi akan mengalir ke konsentrasi rendah. Sehingga aliran air laut akan terpisah menjadi dua bagian, yaitu air produk (yang bisa menembus membran *semipermeabel*) dan air buangan yang kita sebut dengan *brine*. Untuk menghasilkan air dengan kualitas yang baik, artinya terjamin kadar mineralnya, maka pada akhir proses diberikan *post-treatment* yaitu perlakuan air produk untuk menghasilkan air produk seperti yang distandardkan oleh WHO. Perlakuan itu lain untuk meningkatkan kadar mineral dalam air ataupun untuk menghilangkan mikro-organisme yang ikut terlarut saat proses atau dari korosi pipa-pipa yang digunakan untuk proses desalinasi^[3].

Pembangkit desalinasi RO dapat memproduksi air bersih dari air laut. maupun air payau, dengan konsentrasi garam 350 - 500 ppm. Untuk jenis air dengan konsentrasi garam rendah dan menengah, pembangkit desalinasi RO membutuhkan tekanan sebesar 1.000 psig (69 bar) untuk air umpan, sementara untuk air laut dengan konsentrasi dan temperatur yang tinggi seperti di daerah Laut Merah dan Teluk Arab, diperlukan tekanan sebesar 1.200 psig (83 bar) untuk air umpannya. Pembangkit desalinasi RO biasanya hanya menggunakan energi listrik, yaitu sekitar 16 - 28 kWh per 1000 galon atau 4,2 - 7,4 kWh per m³ air produk^[2]. Salah satu keunikan dari pembangkit RO adalah secara efektif dapat digunakan dalam sistem hibrida (*hybrid*)^[3].

Berikut ini ditampilkan tabel perbandingan dari jenis teknologi desalinasi MSF, MED dan RO.

Tabel 1. Perbandingan antara Teknologi MSF, MED dan RO^[3]

		MSF	MED	RO
Konsumsi energi				
- Listrik	(kWe h/m ³)	4 - 6	2 - 2,5	5 - 7
- Termal	(kWt h/m ³)	55 - 120	30 - 120	Tidak ada
Ekivalen listrik untuk energi termal	(kWe h/m ³)	8 - 18	2,5 - 10	Tidak ada
Total konsumsi energi ekivalen	(kWt h/m ³)	12 - 24	4,5 - 12,5	5 - 7
Ukuran unit yang mungkin	(m ³ /hari)	60.000	60.000	24.000
Persyaratan pemeliharaan		Menengah	Rendah	Tinggi
Luas perpindahan panas (<i>heat transfer area</i>)		Tinggi	Rendah	Tidak dapat diterapkan
Ketersediaan (<i>Experience available</i>)		Paling tinggi	Tinggi	Menengah

2.3 Teknologi Hibrida

Teknologi hibrida merupakan gabungan/kombinasi antara sistem desalinasi membran dan desalinasi distilasi dengan pembangkit daya listrik. Sebagai contoh adalah hibrida antara RO dan MSF. Pada proses hibrida RO-MSF sederhana, RO dapat dikombinasikan baik dengan pembangkit MSF/pembangkit daya yang baru maupun yang sudah tersedia. Keuntungan yang didapat dari jenis desalinasi hibrida ini antara lain adalah^[3].

- Secara umum membutuhkan air laut masukan (*water intake*) yang lebih sedikit.
- Air produk dari pembangkit hibrida RO-MSF digabungkan untuk memperoleh kualitas air produk yang cocok.
- Dapat menggunakan pembangkit RO dengan tahap tunggal (*single stage*).
- Rasio daya terhadap air secara signifikan dapat dikurangi.

III. PEMBANGKIT NUKLIR

Pada dasarnya reaktor nuklir terutama digunakan untuk memproduksi panas (*Nuclear Heating Reactor, NHR*) ataupun daya (*Nuclear Power Reactor, NPR*). Jenis NHR memproduksi panas yang dapat diekstrak pada berbagai level temperatur, baik dalam bentuk gas panas ataupun uap. Uap yang bertemperatur dan bertekanan rendah ini kemudian dapat digunakan sebagai energi penggerak pada jenis desalinasi MSF. Reaktor daya atau NPR, terutama difokuskan untuk menghasilkan energi listrik. Listrik yang dihasilkan kemudian digunakan untuk menjalankan pompa bertekanan tinggi yang ada pada instalasi desalinasi jenis RO.

Berdasarkan jenis pendingin yang digunakan NPR dibagi menjadi tiga kelompok^[6]:

1. Reaktor Berpendingin Air (*Water Cooled Reactors, WCR*)
Jenis air yang digunakan antara lain air ringan (H_2O) dan air berat (D_2O). Reaktor Air Bertekanan (PWR) dan Reaktor Air Didih (BWR) menggunakan air ringan sebagai media pendingin. Reaktor nuklir yang menggunakan media pendingin air berat antara lain jenis reaktor CANDU.
2. Reaktor Berpendingin Gas (*Gas Cooled Reactors, GCR*)
Salah satu jenis reaktor berpendingin gas adalah *High Temperature Gas Reactor* (HTGR). Reaktor jenis ini menggunakan helium sebagai media pendingin dan grafit sebagai moderatornya. Bahan bakar yang digunakan terbuat dari logam uranium alam dengan bahan pembungkus terbuat dari *alloy* magnesium. Jenis *Advanced Gas Cooled Reactor* (AGR) menggunakan bahan bakar uranium yang diperkaya (2,5 - 3,5%) dibungkus dengan bahan *stainless steel*.
3. Reaktor Cepat Logam Cair (*Liquid Metal Fast Reactor, LMFR*)
Jenis reaktor ini menggunakan cairan metal seperti sodium sebagai media pendinginnya.

Tabel berikut menunjukkan status reaktor komersial yang beroperasi di seluruh dunia. Saat ini ada 441 PLTN yang beroperasi dengan kapasitas daya terpasang sebesar 381 GWe.

Tabel 2 Status Reaktor Komesial yang Beroperasi di Beberapa Negara di Dunia^[5]

Tipe Reaktor	Negara	Jumlah	GWe	Bahan Bakar	Pendingin	Moderator
Pressurised Water Reactor (PWR)	US, France, Japan, Russia	263	237	UO ₂ diperkaya	H ₂ O	air ringan
Boiling Water Reactor (BWR)	US, Japan, Sweden	92	81	UO ₂ diperkaya	H ₂ O	H ₂ O
Gas-Cooled Reactor (Magnox & AGR)	UK	26	11	U alam (metal), UO ₂ diperkaya	CO ₂	grafit
Pressurised Heavy Water Reactor 'CANDU' (PHWR)	Canada	38	19	UO ₂ alam	D ₂ O	D ₂ O
Light Water Graphite Reactor (RBMK)	Russia	17	13	UO ₂ diperkaya	H ₂ O	grafit
Fast Neutron Reactor (FBR)	Japan, France, Russia	3	1	PuO ₂ & UO ₂	sodium cair	-
	TOTAL	439	361			

Sementara itu jenis teknologi NHR telah dikembangkan sejak 1980 oleh *Institute of Nuclear Energy Technology* (INET). Sejumlah fitur keselamatan pasif maju kemudian diadaptasikan dalam rancangan NHR. Pada dasarnya beberapa jenis sistem keselamatan tidak diperlukan dalam rancangan NHR, antara lain sistem pendingin teras pada keadaan darurat dan segala bentuk tindakan penyelamatan luar site (*off-site*) seperti evakuasi, relokasi dan dekontaminasi. NHR banyak diaplikasikan untuk pemanasan distrik (*district heating*), desalinasi air laut dan proses-proses industri yang membutuhkan panas^[6].

Beberapa keuntungan yang didapat dengan menggunakan NHR untuk desalinasi air laut antara lain fitur keselamatan yang dipunyai NHR memungkinkan pembangunan instalasi desalinasi-NHR di daerah industri atau dekat perkotaan dan kemungkinan mengkombinasikan NHR-200 utk dapat menghasilkan panas dan listrik yang diperlukan instalasi desalinasi dalam skala besar^[6].

Tipe NHR yang telah dan sedang dikembangkan adalah NHR-5 (NHR 5MW, reaktor eksperimental) dan NHR 200 (NHR 200 MWth reaktor komersial). Kedua jenis NHR ini memiliki jenis vessel LWR. Salah satu kriteria desain NHR-200 yang fundamental adalah kebutuhan teras reaktor untuk selalu diselimuti dengan pendingin. Oleh karena itu tipe NHR 200 mengadopsi konsep rancangan terintegrasi, dengan sistem reaktor dan sirkuit utama yang berada dalam *reactor pressure vessel* (RPV). Konsep desain terintegrasi ini memungkinkan NHR tidak membutuhkan sistem injeksi

pendingin teras. Desain NHR menggunakan struktur *vessel* ganda. *Vessel* tambahan ini berfungsi untuk mencegah kerusakan yang fatal akibat kegagalan RPV^[6].

IV. KOPLING DESALINASI NUKLIR

Pembangkit desalinasi membutuhkan sumber energi berupa panas dan listrik untuk menghasilkan air produk. Sumber energi bagi pembangkit desalinasi bisa didapatkan dari pembangkit daya dengan dua cara^[7], yaitu:

- Pembangkit desalinasi mengambil energi dengan menggabungkan pembangkit desalinasi dengan pembangkit daya; sistem seperti ini disebut sistem desalinasi berdampingan (*contiguous plant*).
- Pembangkit desalinasi mengambil energi dari jala-jala listrik (*grid*); pembangkit desalinasi terpisah dari sumber energinya, dan disebut dengan sistem desalinasi yang berdiri sendiri (*stand-alone plant*).

Pada bagian ini hanya akan dibahas jenis desalinasi berdampingan.

Kopling desalinasi merupakan gabungan antara pembangkit listrik dengan pembangkit desalinasi. Seperti dijelaskan di Pendahuluan bahwa sumber energi yang digabungkan dengan pembangkit desalinasi yang akan dibahas disini adalah sumber energi yang diperoleh dari pembangkit nuklir, disebut juga desalinasi nuklir.

Energi termal dari pembangkit nuklir dapat disuplai ke unit desalinasi melalui *loop* pemindahan panas *intermediate* yang berfungsi sebagai sirkuit pendingin kondensor (*condenser cooling circuit*). Panas dari kondensor dipindahkan ke efek pertama pada sistem MED atau ke tahap pertama pada sistem MSF. Berbagai jenis reaktor telah terbukti dapat dikopling dengan instalasi desalinasi. Pemilihan sistem gabungan (kopling) antara instalasi reaktor nuklir dan instalasi desalinasi yang cocok bergantung pada berbagai faktor.

Akan sangat menguntungkan untuk menggunakan bagian dari listrik yang dihasilkan oleh instalasi nuklir untuk mengoperasikan instalasi desalinasi sebagai bagian tambahan dari pembangkit desalinasi termal. Bila sistem gabungan tersebut ada dalam lokasi yang sama maka biaya penghasilan air dapat ditekan seiring dengan tersedianya berbagai jenis air dengan berbagai kualitas.

Lokasi yang saling berdekatan antara pembangkit nuklir dengan pembangkit desalinasi, menawarkan keuntungan yang memungkinkan adanya pembagian air masukan (*water intake*) di antara kedua jenis pembangkit tersebut. Jika struktur konstruksi keduanya saling berhubungan maka berlaku konsep "*contiguous-plant*". Jika tidak saling berhubungan maka berlaku konsep "*stand-alone plant*". Tidak diperlukan adanya lokasi yang saling berdekatan antara instalasi desalinasi dan instalasi pembangkit listrik. Transport listrik mudah dan murah walaupun dalam jarak yang relatif jauh. Oleh karena itu yang dibutuhkan hanyalah jaringan listrik menuju pembangkit

desalinasinya. Tidak terdapat risiko kontaminasi radioaktif dan tentu tidak diperlukan adanya sistem proteksi tertentu seperti contohnya sirkuit *intermediate heat transfer* tambahan^[7].

Uap yang berasal dari turbin dapat digunakan untuk memanaskan *feedwater* pada proses desalinasi. Pada jenis penyusunan seperti ini, sangatlah penting untuk mengeliminasi risiko kontaminasi radiasi yang mungkin terjadi. Salah satu solusi yang dapat dilakukan antara lain menjaga pendingin air laut yang ada di kondenser (*feedwater* untuk proses desalinasi) pada tekanan yang lebih tinggi dari *condensing steam*, dan memonitor kualitas *condensate* dan *coolant* pada bagian *outlet* kondensor. Cara ini hanya berlaku untuk tipe reaktor PWR dan PHWR, tidak untuk BWR mengingat pendingin utamanya berada sangat dekat dengan air desalinasi (*desalted water*) yang mungkin tidak seutuhnya aman^[7].

Mengingat adanya kemungkinan kontaminasi radioaktif pada kondensat (*condensate*) tipe reaktor PWR dan PHWR, maka kopling mekanik untuk tipe reaktor ini dapat dikatakan tidak menjanjikan. Kopling mekanik mempunyai resiko kontaminasi yang lebih kecil dengan menggunakan HTGR dan LMCR mengingat adanya tekanan uap yang lebih tinggi dibandingkan di pendingin utama. Berikut ini merupakan gambaran umum contoh kopling desalinasi nuklir.

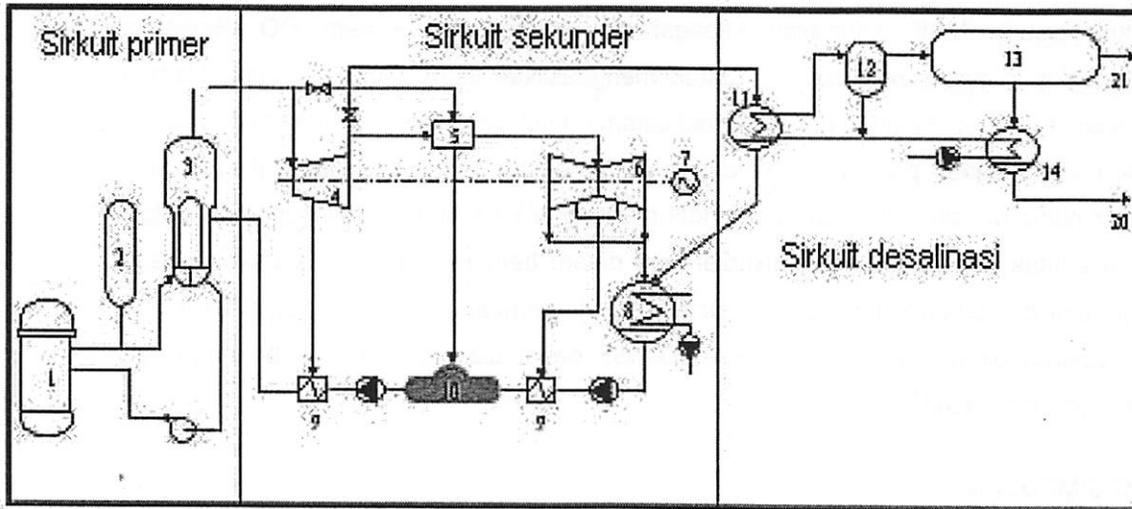
4.1 Kopling MSF dengan Reaktor Nuklir

Salah satu contoh pembangkit desalinasi termal dengan reaktor nuklir ditampilkan pada gambar 1 yang juga menjelaskan kopling desalinasi MSF dengan reaktor berpendingin air ringan (*Light Water Reactor*) yang didesain oleh *International Reactor Innovative Secure* (IRIS). Total daya termal dari IRIS adalah 1000 MW, dengan konversi energi 33,5%, modul tunggal (*single module*) IRIS diharapkan dapat menghasilkan keluaran daya listrik sebesar 335 MW^[8].

Kopling IRIS pada pembangkit desalinasi MSF menggunakan sistem desalinasi berdampingan. Uap yang dibutuhkan pembangkit desalinasi MSF disuplai dari sistem sekunder IRIS. Di samping itu dibutuhkan pula koneksi listrik untuk daya pompa pada MSF dan peralatan pendukung lainnya^[8].

Loop pemindahan uap menengah (*Intermediate steam transfer loop*) digunakan dalam skema kopling IRIS-MSF ini. Tekanan *loop* menengah dipertahankan di bawah tekanan *loop* air laut yang ada pada tahap pemanas *brine* pembangkit desalinasi MSF sehingga jika terjadi kegagalan pada tabung pemanas *brine* akan mengakibatkan aliran masa ke *loop* menengah. Tingkat salinitas dari *loop* menengah sebaiknya selalu dimonitor untuk mendeteksi kegagalan tersebut. Begitu pula tingkat radioaktifitas *loop* menengah harus selalu dinaikkan untuk mengidentifikasi berbagai kegagalan yang mungkin terjadi pada penukar panas (*heat exchanger*) pada sistem IRIS^[8].

ini diumpangkan ke penukar panas di mana temperatur air yang datang dinaikkan hingga mencapai 70 sampai 90°C. Air panas ini kemudian melewati tanki *flash* di mana sebagian



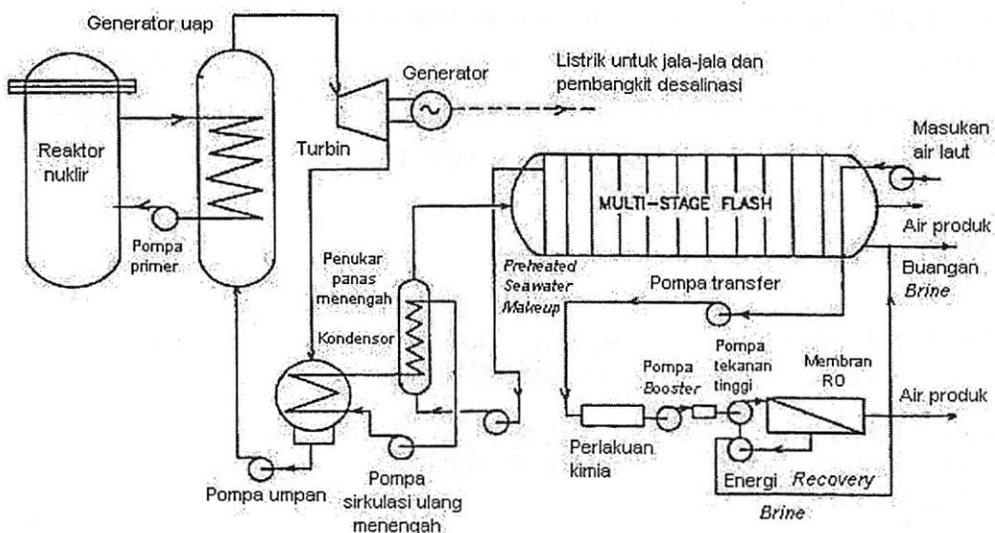
air tersebut diuapkan. Uap tersebut berfungsi sebagai fluida pemanas pada efek pertama dari pembangkit MED^[9].

Gambar 2. Kopling Reaktor Nuklir dengan Pembangkit MED^[9]

1: Teras reaktor, 2: *Pressurizer*, 3: Generator uap (Penukar panas); 4: Turbin tekanan tinggi; 5: Pemanas uap menengah (*intermediate steam heater*); 6: Turbin tekanan rendah; 7: Generator; 8: Kondensor utama; 9: *Pre-heaters*; 10: *De-aerator*; 11: Pemanas air laut; 12: Tanki *flash*; 13: Pembangkit MED; 14: Kondensor keluaran MED; 20: Air produk; 21: Buangan *brine*.

4.3 Kopling Hibrida (MSF-RO) dengan Reaktor Nuklir

Salah satu contoh kopling hibrida dengan reaktor nuklir adalah kopling MSF-RO dengan reaktor nuklir (gambar 3). Kopling reaktor nuklir dengan sistem desalinasi hibrida yang terdiri dari pembangkit MSF diikuti dengan pembangkit RO. Air buangan dari tahap



Gambar 3. Skema Reaktor Nuklir yang Dikopling dengan Pembangkit Desalinasi RO-MSF^[10]

terakhir sistem MSF digunakan sebagai air umpan pada sistem RO. Biasanya pembangkit tenaga nuklir didesain untuk menghasilkan listrik yang optimum. Namun demikian, terdapat sejumlah energi termal dalam bentuk panas yang dibuang dari reaktor nuklir melalui sistem pendingin kondensor. Panas dalam bentuk uap dapat disuplai dari reaktor nuklir melalui satu atau dua sirkuit menengah ke sistem desalinasi MSF. Selain dalam bentuk uap panas yang disuplai juga dalam bentuk air panas tergantung pada temperatur dan tekanan kondisi spesifik dari desain pembangkit desalinasinya. Sebagian atau seluruh air umpan untuk sistem RO-MSF dapat diambil dari arus buangan air pendingin kondensor^[10].

V. KESIMPULAN

Pada dasarnya kopling desalinasi nuklir tidak membutuhkan reaktor nuklir yang khusus untuk sumber energinya. Pembangkit listrik daya nuklir yang dapat dikopling dengan pembangkit desalinasi bisa berupa NPR maupun NHR. Skema kopling NPR dan RO tidak membutuhkan penyusunan khusus selain membutuhkan koneksi elektrik antara kedua instalasi.

Pada reaktor daya nuklir, uap dihasilkan pada temperatur dan tekanan tinggi, sedangkan pada *heating reactors* uap dihasilkan pada temperatur dan tekanan rendah. Proses desalinasi termal mempunyai nilai batas atas temperatur untuk mencegah *scaling* yang berlebihan. *Heating reactors*, didesain untuk dapat menghasilkan uap pada temperatur 130^o C atau kurang. Oleh karena itu jenis reaktor ini paling potensial untuk dapat dikopling dengan instalasi desalinasi. Uap pada 2 – 3,7 bar (120 - 140^oC) dapat digunakan pada jenis instalasi desalinasi MSF untuk memberikan nilai GOR yang tinggi. Agar mencegah terbentuknya *scale*, temperatur maksimum air garam dibatasi pada 121^oC untuk tipe MSF *recycle* dan 135^oC untuk MSF *once-through*. Kopling antara pembangkit listrik dan pembangkit desalinasi *hybrid* lebih cocok bila menggunakan reaktor daya (NPR) yang menghasilkan listrik sekaligus panas.

DAFTAR PUSTAKA

1. International Atomic Energy Agency, Nuclear Desalination, 2002, 7 hlm. <http://www.freerepublic.com/focus/news/660315/posts>, 31 Januari 2007.
2. PPEN – BATAN dan LPKM – UNAIR, a Study of Impacts of NPP – Desalination Development in Madura on Sectoral Regional Economy, Executive Summary, Surabaya, Desember 2004.

3. Anonym, Preliminary Economic Feasibility Study of Nuclear Desalination in Madura Island, Indonesia, BATAN-IAEA-KAERI, Korea, 2002.
4. Gold Coast Water Future, February 2006, Understanding the Desalination Process, 2 hlm. <http://www.goldcoastwater.com.au/desalination>, 29 September 2006.
5. Tecdoc. IAEA No. 917, Potential for Nuclear Desalination as a Source of Low Cost Potable Water in North Africa, Vienna, 1996.
6. Sudi Ariyanto, Pengantar Reaktor Nuklir, Unpublished, Jakarta, 2006.
7. Zhang Yajun and Zheng Wenxiang, Nuclear Heating Reactor and Its Application, INET, Tsinghua University, China, 2000.
8. D.T. Ingersoll, Nuclear Desalination for the International Reactor Innovative and Secure (IRIS) Design, 5th International Conference on Nuclear Option in Countries with Small and Medium Electricity Grids, Croatia, 2004.
9. S. Nisan, et. el., Sea-Water Desalination with Nuclear and Other Energy Sources: the EURODESAL Project, Nuclear Engineering and Design, Volume 221, Issues 1-3, April 2003.
10. Ibrahim S. Al-Mutaz, Coupling of a Nuclear Reactor to Hybrid RO-MSF Desalination Plants, Chemical Engineering Department, College of Engineering, King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia, 2003.