

DESALINASI HYBRID MED-RO SEBAGAI OPSI PASOKAN AIR BERSIH DI PROVINSI KEPULAUAN BABEL

Siti Alimah, Sudi Ariyanto, June Mellawati, Budiarto
Pusat Pengembangan Energi Nuklir (PPEN) BATAN
Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan Jakarta 12710
Telp./ Fax : (021) 5204243, Email : alimahs@batan.go.id

Masuk: 12 Mei 2011

Direvisi: 26 Mei 2011

Diterima: 21 Juni 2011

ABSTRAK

DESALINASI HYBRID MED-RO SEBAGAI OPSI PASOKAN AIR BERSIH DI PROVINSI KEPULAUAN BABEL. Sistem desalinasi hybrid MED-RO adalah kombinasi proses desalinasi MED (Multi Effect Distillation) dan RO (Reverse Osmosis) dengan sistem pembangkit daya. Konfigurasi ini mempunyai keuntungan ekonomis dan operasional dibanding dengan instalasi desalinasi tunggal. Konfigurasi hybrid dikarakterisasikan dengan fleksibilitas operasi, konsumsi energi spesifik ($33,50 \text{ kWh/m}^3$) lebih rendah dibandingkan MED ($36,54 \text{ kWh/m}^3$) dan instalasi mudah diperoleh. Hybrid MED-RO merupakan teknologi desalinasi yang komersial, proven dan handal untuk memproduksi air bersih skala besar. Tujuan studi adalah menganalisis desalinasi hybrid MED-RO sebagai opsi untuk menambah pasokan air bersih di Provinsi Kepulauan Babel ditinjau dari aspek teknologi dan ekonomi. Hasil studi memperlihatkan bahwa penggunaan energi nuklir untuk tujuan ganda sebagai pembangkit listrik dan produksi air bersih lebih kompetitif dibanding instalasi pembangkit bahan bakar fosil. Konfigurasi hybrid MED-RO, dengan air umpan RO yang berasal dari rejeksi panas MED, layak dipertimbangkan sebagai opsi untuk menambah pasokan air bersih karena semakin tinggi temperatur umpan RO, kecepatan aliran air produk yang melewati membran akan meningkat. Hasil analisis ekonomi menggunakan DEEP-3.2, menunjukkan bahwa biaya produksi air dari desalinasi hybrid MED-RO ($0,581 \text{ \$/m}^3$) lebih rendah dibandingkan proses MED ($0,752 \text{ \$/m}^3$), dengan energi dari PLTN. Biaya produksi air hybrid MED-RO dengan energi dari PLTN ($0,581 \text{ \$/m}^3$) lebih rendah dibandingkan dengan energi dari PLTU ($0,720 \text{ \$/m}^3$).

Kata kunci: hybrid MED-RO, desalinasi, PLTN

ABSTRACT

MED-RO HYBRID DESALINATION AS OPTION TO SUPPLY FRESH WATER IN BABEL ISLANDS PROVINCE. MED-RO hybrid desalination systems are combining both thermal (MED) and membrane (RO) desalination processes with power generation systems. This configuration has more economical and operational benefits in comparison with single desalination plant. Hybrid configurations are characterized by flexibility in operation, specific energy consumption ($33,50 \text{ kWh/m}^3$) is lower than MED ($36,54 \text{ kWh/m}^3$) and high plant availability. The objective of study is to analyze the MED-RO hybrid desalination as an option to add supply fresh water in Babel Islands Province, in terms of technology and economy aspects. The result of study showed that adopting nuclear power plants as dual-purpose for power generation and producing fresh water is has economic competitiveness than fossil-fired generation plants. MED-RO hybrid configuration, with feed RO from heat rejection of MED system is suitable as fresh water supply add option because increase of RO feed temperature will increase flux. Economic analysis of water cost are performed using the DEEP-3.2. Water cost of hybrid MED-RO desalination with energy of NPP ($0,581 \text{ \$/m}^3$) is lower than that of MED water cost ($0,752 \text{ \$/m}^3$). Water cost of hybrid MED-RO with energy of NPP ($0,581 \text{ \$/m}^3$) is lower than that of water cost of energy with fossil-fired generation plants ($0,720 \text{ \$/m}^3$).

Keywords: hybrid MED-RO, desalination, NPP

1. PENDAHULUAN

Salah satu lokasi tapak yang direncanakan pemerintah untuk pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), yaitu Teluk Manggris, Dusun Tanah Merah, Kecamatan Muntok, Kabupaten Bangka Barat, Provinsi Kepulauan Bangka Belitung (Babel). Salah satu alasan terpilihnya lokasi tersebut adalah karena memiliki potensi alam yang memadai, dan juga memiliki karakteristik yang baik untuk keselamatan serta tidak memiliki riwayat sejarah daerah rawan gempa dan gelombang tsunami. PLTN yang direncanakan dibangun tersebut adalah untuk memproduksi listrik yang dapat memasok kebutuhan listrik selain di Provinsi Kepulauan Babel, juga Sumatera dan Jawa-Madura-Bali. Salah satu jenis PLTN yang proven dan paling banyak digunakan di dunia adalah *Pressurized Water Reactor* (PWR).

Dalam pemilihan lokasi tapak PLTN, ketersediaan dan ketergantungan terhadap pemakaian air secara terus menerus untuk pendingin pada sistem pembangkit listrik harus dipertimbangkan, sehingga instalasi pembangkit listrik umumnya berlokasi di pesisir pantai. Karena di pesisir pantai, maka air yang tersedia di perairan pesisir pantai adalah air laut, sehingga diperlukan suatu teknologi untuk memasok kebutuhan air PLTN, yaitu desalinasi. Desalinasi adalah salah satu upaya yang perlu dipertimbangkan untuk mendukung program pemerintah, karena selain untuk memasok kebutuhan pendingin PLTN juga dapat menambah pasokan air bersih masyarakat sekitarnya. Seperti diketahui, air bersih mempunyai peran yang sangat penting dalam peningkatan kesehatan masyarakat, dan sekaligus meningkatkan kualitas hidup masyarakat. Air bersih yang ada di beberapa kecamatan yang ada di Babel digunakan untuk kebutuhan air minum dan MCK (mandi, cuci, kakus). Pasokan air bersih berasal dari sungai, danau, sumur gali dan Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM). Namun hingga saat ini, kualitas air tanah dan air sungai yang digunakan seringkali masih kurang memenuhi persyaratan sebagai air minum yang sehat. Persentase keluarga yang memiliki akses terhadap air bersih di Provinsi Kepulauan Babel hanya sebesar 49,66 % yang masih sangat jauh di bawah target Indonesia Sehat 2010 (target 85 %)^[1]. Sementara itu, pada tahun 2011 pasokan air minum dari PDAM di Provinsi Babel diperkirakan 24.685.347 m³/tahun, sedangkan kebutuhan air bersih mencapai 61.421.616 m³/th^[2], sehingga kekurangan pasokan air bersih diperkirakan 36.736.269 m³/tahun. Pertambahan penduduk yang terus meningkat berakibat pula pada kebutuhan air bersih yang semakin meningkat.

Desalinasi adalah proses menghilangkan mineral-mineral terlarut dari air laut menjadi air bersih. Desalinasi bukan merupakan proses yang baru, beberapa instalasi Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) menggunakan instalasi desalinasi untuk memasok kebutuhan air boiler untuk memproduksi uap. Beberapa Negara di Timur Tengah juga menggunakan desalinasi untuk memasok kebutuhan air bersih penduduk dan kegiatan industri. Sejak tahun 1973, kompleks energi serbaguna di Kazakstan, (terdiri dari PLTN, PLTU, instalasi desalinasi *Multi-Effect Distillation*/MED dan *Multi-Stage Flash Distillation*/MSF), menghasilkan listrik, air bersih dengan TDS sekitar 200 ppm untuk air minum, air bersih dengan TDS 2-10 ppm untuk air umpan boiler dan industri lain, serta menghasilkan uap/air panas pada suhu 70-150°C untuk pemanas gedung-gedung komersial dan perumahan. Instalasi desalinasi tersebut memproduksi air bersih 80.000 m³/hari untuk memenuhi kebutuhan penduduk baik untuk air minum maupun untuk MCK^[3]. Berdasarkan pengalaman negara lain yang telah berhasil memproduksi air bersih dengan teknologi desalinasi, maka proses desalinasi ini menjadi layak untuk dipikirkan sebagai cara untuk menambah kebutuhan air bersih bagi masyarakat. Studi ini bertujuan mengetahui prospek teknologi desalinasi hybrid MED-RO (*Multi-Effect Distillation-Reverse Osmosis*) dengan energi yang berasal dari PLTN untuk menambah pasokan air bersih di Provinsi Kepulauan Babel,

yaitu dengan melakukan analisis teknologi dan ekonomi. Sistem desalinasi hybrid dengan kapasitas besar telah komersial. Instalasi desalinasi hybrid terbesar di dunia adalah instalasi desalinasi Fujairah II *Independent Water and Power Product* (IWPP), yang merupakan desalinasi hybrid MED-RO dengan kapasitas MED 454.600 m³/hari dan RO 136.380 m³/hari di *United Arab Emirates*, dengan sistem pembangkit listrik bertenaga bahan bakar fosil^[4]. Pada studi ini, analisis ekonomi dilakukan menggunakan Program DEEP 3.2 keluaran IAEA bulan Desember tahun 2008. Dalam analisis ekonomi ini, biaya produksi air desalinasi hybrid MED-RO akan dibandingkan dengan energi dari PLTN dan PLTU, serta biaya produksi air MED dan hybrid MED-RO dengan energi dari PLTN. Hasil studi diharapkan dapat digunakan sebagai data masukan pemerintah untuk mengatasi krisis air bersih di Provinsi Kepulauan Babel.

2. TEORI DESALINASI HYBRID MED-RO

Integrasi sistem desalinasi hybrid yang merupakan kombinasi proses desalinasi thermal dan membran dengan sistem pembangkit daya di lokasi yang sama, saat ini sudah digunakan sebagai alternatif untuk memasok kebutuhan air bersih. Konfigurasi desain hybrid desalinasi yang merupakan skema sederhana adalah pencampuran air produk dari dua proses. Dengan pencampuran air produk dari dua proses maka dapat mengurangi biaya *post treatment* (pengolahan akhir). Karena seperti diketahui, air produk instalasi RO mempunyai TDS yang lebih tinggi dari pada instalasi MED. Skema yang lain adalah pemanfaatan panas dari bagian rejeksi panas instalasi desalinasi thermal sebagai pemanas air umpan instalasi desalinasi RO. Skema ini dapat meningkatkan temperatur air umpan RO sampai 35°C^[5]. Dalam proses RO, produk air adalah fungsi temperatur ketika operasi dilakukan pada tekanan konstan, dan akan terjadi peningkatan kecepatan aliran air produk 2,5%-3% per derajat celcius untuk semua jenis membran, sehingga dapat mengurangi penggunaan sejumlah modul RO. Hal ini karena dengan peningkatan temperatur akan meningkatkan konstanta permeasi membran^[6], sebagaimana persamaan berikut:

$$TCF = \exp(K(1/(273 + t) - 1/298))^{[7]} \quad (1)$$

dalam hubungan ini:

- K : konstanta permeasi membran.
- TCF : faktor koreksi temperatur.
- t : temperatur air umpan (°C).

$$TCF = \text{Fluks pada } t^{\circ}\text{C} / \text{Fluks pada } 25^{\circ}\text{C} \quad (2)$$

Meningkatnya konstanta permeasi membran akan meningkatkan aliran air produk sebagaimana persamaan berikut^[5] :

$$F_w = K_1(p - \Delta\pi) \quad (3)$$

dalam hubungan ini:

- F_w : aliran air produk per luas membran (m³/jam).
- K₁ : konstanta permeasi membran.
- p : tekanan umpan (bar).
- Δ π : perbedaan tekanan osmosis di antara membran (bar).

dengan kecepatan aliran air produk yang lebih tinggi, maka biaya produksi air akan lebih rendah.

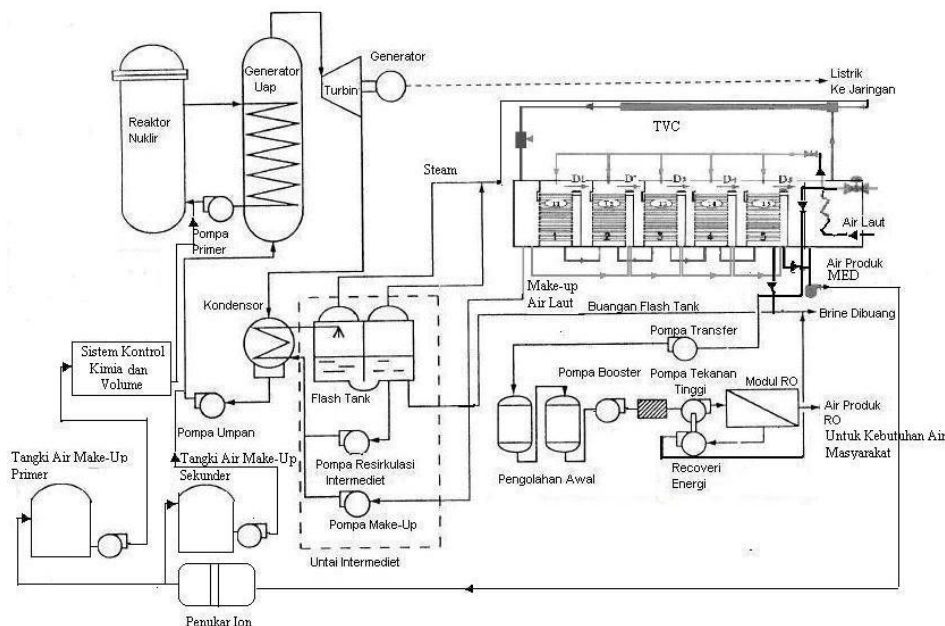
Sistem desalinasi hybrid MED-RO adalah kombinasi proses desalinasi MED dan RO dengan sistem pembangkit daya. Air produk sistem desalinasi hybrid MED-RO mempunyai dua kualitas, yaitu produk MED dengan nilai TDS 1-50 ppm^[8] dapat memasok kebutuhan air untuk industri (termasuk PLTN), sedangkan air produk RO dengan nilai TDS 200-500 ppm dapat untuk menambah pasokan kebutuhan masyarakat. Selain dua kualitas air produk, konfigurasi hybrid MED-RO juga mempunyai karakteristik fleksibilitas operasi, konsumsi energi rendah dan instalasi mudah diperoleh^[8]. Instalasi desalinasi hybrid MED-RO memungkinkan peningkatan rasio air terhadap daya dan pemanfaatan secara efektif fasilitas *intake/outfall* yang tersedia. Dengan pemanfaatan *intake/outfall* secara efektif maka biaya kapital akan berkurang.

Proses MED yang paling tua adalah jenis *submerged tube evaporators*, yang menggunakan koil pemanas dimasukkan dalam tangki yang berisi air laut^[8]. Kondensasi uap terjadi di bagian dalam koil dan uap dilepaskan dari permukaan air di bagian luar koil. Konsep ini mempunyai laju perpindahan panas yang rendah dan laju pembentukan kerak yang tinggi. Oleh karena sensitif terhadap kerak maka konfigurasi ini sekarang tidak digunakan lagi dan desain-desain baru telah dibuat, diantaranya desain *tube evaporator* yang menggunakan *Horizontal Tube Evaporator* (HTE) dan beroperasi pada kisaran suhu 70°C. Teknologi MED jenis ini mempunyai sejumlah keuntungan yaitu mempunyai koefisien perpindahan panas total yang lebih tinggi sehingga luas permukaan panas lebih rendah^[9]. Instalasi MED ini menggunakan panas dari uap dengan kondisi jenuh dan tekanan yang sangat rendah (0,2-0,4 atm). Operasi pada suhu rendah akan mengurangi terjadinya korosi dan kerak, sehingga akan mengurangi kebutuhan anti kerak dan perawatan, serta mengurangi material tahan korosi yang harganya relatif lebih mahal. Penggunaan TVC (*Thermal Vapor Compression*) pada instalasi MED akan meningkatkan kinerja evaporator. TVC adalah suatu ejektor uap untuk kompresi uap, menghisap uap dari MED dengan kecepatan alir supersonik, sehingga terjadi penghematan uap yang berasal dari pembangkit uap. MED menggunakan prinsip pengurangan tekanan pada tiap *effect* evaporatornya, sehingga umpan air laut akan mengalami pendidihan. Air laut disemprotkan dan didistribusikan pada permukaan luar *tube* evaporator dalam bentuk lapisan film yang tipis sehingga akan terjadi pendidihan dan penguapan karena adanya perpindahan panas dengan uap yang mengalir didalam *tube*. Selanjutnya, di dalam *tube* akan terjadi kondensasi. Kondensat dari *effect* pertama dikembalikan ke pembangkit panas, dan kondensat dari *effect* berikutnya adalah air produk. Uap pemanas pada *effect* pertama adalah uap tekanan rendah (sekitar 0,3 bar absolut)

RO adalah proses pemisahan, di mana air dalam larutan garam bertekanan dipisahkan dari material terlarut dengan mengalirkannya melalui membran semipermeabel yang biasanya ditempatkan dalam suatu *housing*. RO adalah proses pemisahan dengan ukuran pori 1-70 angstrom (0,1 – 7 nm), sehingga peristiwa perpindahan air dalam RO dapat didekati dengan model membran berpori yang mengasumsikan bahwa mekanisme pemisahan dibatasi oleh fenomena permukaan dan transport fluida melalui pori. Lapisan membran mempunyai sifat sangat hidrofilik sehingga permukaan membran dipenuhi air dan kemudian terjadi *sorpsi* pada permukaan dan dalam pori membran. Adanya beda tekanan, mendorong air di permukaan untuk mengalir melalui pori kapiler membran. Pada proses ini tidak ada perubahan fase dan peralatan instalasi sangat kompak serta tidak membutuhkan ruangan yang besar. Energi yang diperlukan dalam desalinasi RO hanya digunakan untuk menekan air umpan. Secara umum sistem RO terdiri dari sejumlah

komponen dasar yaitu *pretreatment* (pengolah awal), pompa tekanan tinggi, modul membran dan *post treatment* (pengolahan akhir).

Desain instalasi desalinasi dengan energi dari PLTN (desalinasi nuklir) memperhatikan aspek yang terkait keselamatan. Kemungkinan kontaminasi oleh zat radioaktif pada air produk sangat penting dipertimbangkan dalam desalinasi nuklir. Instalasi desalinasi MED menerima energi panas berbentuk uap dari PLTN. Uap diambilkan dari turbin, yang setelah memberikan panasnya, akan kembali ke sistem sekunder lagi sebagai kondensat. Diagram alir instalasi desalinasi MED-RO yang dikopling dengan PLTN type PWR dapat dilihat pada Gambar 1. Pada sistem desalinasi tidak ada kontak fisik antara air dari sistem sirkulasi sekunder dengan air laut desalinasi, tetapi lewat suatu *flash tank* yang merupakan untai intermediet. Uap sisa yang dikeluarkan dari turbin dikondensasi dalam kondensor, panas latennya ditransfer ke aliran air laut, sehingga sebagian air laut akan teruapkan dalam ruang *flash* dan menghasilkan uap untuk efek pertama proses MED. Pada untai intermediet ini tekanannya dijaga lebih tinggi daripada tekanan di dalam kondensor. Karakteristika uap untuk instalasi desalinasi ada dua jenis tekanan, yaitu tekanan rendah sebagai input panas utama dan tekanan tinggi sebagai *motive steam* untuk *ejector* uap. Kopling instalasi desalinasi RO dengan PLTN hanyalah pengambilan tenaga listrik untuk menggerakkan sistem pompa, kontrol dan instrumentasi, serta penerangan. Risiko kontaminasi radioaktif terhadap air desalinasi adalah minimal karena hanya terkoneksi dengan listrik.



Gambar 1. Diagram Alir Desalinasi MED-RO Kopling dengan Reaktor Nuklir PWR

3. METODOLOGI

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

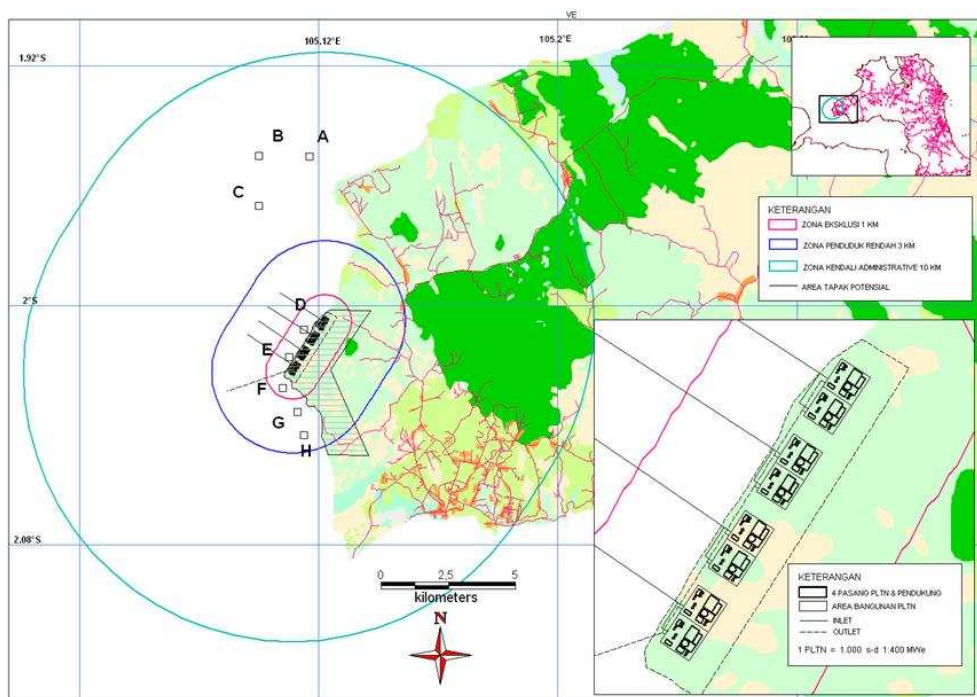
Penelitian dilaksanakan pada bulan April-November 2011. Pengambilan sampel air laut dilakukan oleh tim lapangan sebanyak dua kali menggunakan perahu nelayan dan dilaksanakan pada dua periode musim yang berbeda, yaitu musim kemarau (Mei) dan hujan (Agustus).

Lokasi penelitian adalah perairan pesisir sepanjang pantai Tanjung Kelian hingga Tanjung Ular, di daerah tapak Teluk Manggris, Kecamatan Muntok, Kabupaten Bangka Barat. Lokasi pengambilan sampel air laut hingga ± 5 km dari tepi pantai ke arah laut.

3.2. Metode

Dalam analisis desalinasi hybrid MED-RO sebagai opsi untuk menambah pasokan air bersih di Provinsi Kepulauan Babel diperlukan langkah-langkah, yaitu dengan:

- Melakukan analisis air laut, dimana sampel air laut yang diambil dari beberapa lokasi (seperti terlihat dalam Tabel 1) dianalisis sifat fisika dan kimianya. Namun dalam studi ini, hanya TDS (total padatan terlarut) dan temperatur yang digunakan sebagai bahan untuk melakukan analisis ekonomi dengan menggunakan program DEEP-3.2.
- Melakukan analisis teknologi, dengan membandingkan desalinasi MED dan hybrid MED-RO.
- Melakukan analisis ekonomi desalinasi menggunakan program DEEP-3.2, yang bertujuan untuk membandingkan biaya produksi air desalinasi MED dan hybrid MED-RO dengan energi dari PLTN, serta membandingkan biaya produksi air desalinasi hybrid MED-RO dengan energi dari PLTN dan PLTU.



Gambar 2. Lokasi Sampling Air Laut

Tabel 1. Hasil Analisis Air Laut Perairan Teluk Manggris, Muntok, Bangka Barat

No.	Parameter	Satuan	Hasil				
			Lokasi 1	Lokasi 2	Lokasi 3	Lokasi 4	Lokasi 5
1.	pH		5,58	5,78	5,82	5,84	5,70
2.	Kekeruhan	NTU	11,6	6,8	13,8	14,4	23,5
3.	TDS	mg/l	42.400	44.800	42.000	38.800	48.400
4.	Salinitas	g/kg	25	24	24	22	25
5.	Sulfat (SO ₄)	mg/l	1919,8	1780,2	1821,6	1702,2	1844,4
6.	Cemaran logam :						
	a. Besi (Fe)	mg/l	0,28	0,225	0,250	0,185	0,495
	b. Mangan (Mn)	mg/l	0,048	0,042	0,042	0,05	0,058
	c. Seng (Zn)	mg/l	0,01	0,01	tt	tt	tt
	d. Timbal (Pb)	mg/l	0,392	0,372	0,345	0,308	0,41
	e. Tembaga (Cu)	mg/l	0,046	0,038	0,308	0,042	0,050
	f. Krom (Cr)	mg/l	tt	tt	tt	tt	0,015
	g. Kadmium (Cd)	mg/l	0,05	0,05	0,042	0,038	0,05
	h. Kalsium (Ca)	mg/l	88,15	86,78	86,52	88,02	87,95

Keterangan :

Analisis air laut dilakukan di PT. TIMAH pada tanggal 17 Juni 2011

tt	: tak terdeteksi
Lokasi 1	: 02°02'36.065"S, 105°06'55.434"E
Lokasi 2	: 02°02'07.873"S, 105°06'48.569"E
Lokasi 3	: 02°01'39.688"S, 105°06'28.635"E
Lokasi 4	: 02°01'02.321"S, 105°06'37.200" E
Lokasi 5	: 02°02'36.065"S, 105°06'55.434" E

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Seperti telah disebutkan, dari aspek teknologi, desalinasi hybrid MED-RO mempunyai keuntungan yaitu fleksibilitas operasi, konsumsi energi rendah dan instalasi mudah diperoleh^[6]. Dibanding dengan penggunaan instalasi MED saja, penggunaan hybrid MED-RO terjadi penghematan energi panas sekitar 8,32% (energi panas yang dibutuhkan dalam instalasi MED adalah 36,54 kWh/m³ dan hybrid MED-RO adalah 33,50 kWh/m³, seperti terlihat dalam Tabel 2). Saat ini instalasi desalinasi MED dan RO selain diproduksi di luar negeri, juga telah diproduksi di Indonesia, sehingga instalasi ini mudah diperoleh. Dengan penggunaan sistem hybrid, rasio rekoveri RO dapat ditingkatkan. Rasio rekoveri adalah salah satu kunci parameter desain RO, yang dapat menentukan ukuran sistem penanganan air umpan (seperti *intake*, bagian *pretreatment* dan pompa tekanan tinggi). Rasio rekoveri adalah perbandingan kecepatan aliran air produk yang melewati membran terhadap kecepatan aliran air umpan. Rasio rekoveri yang lebih tinggi dapat menurunkan biaya sistem penanganan air umpan dan kebutuhan konsumsi bahan kimia serta listrik. Peningkatan kecepatan aliran air produk ini sebagai akibat peningkatan konstanta permeasi membran seperti terlihat dalam persamaan 3. Konstanta permeasi membran meningkat karena meningkatnya temperatur seperti terlihat dalam persamaan 1. Peningkatan temperatur air umpan instalasi RO dapat memanfaatkan panas dari bagian rejeksi panas instalasi MED, seperti terlihat dalam Gambar 1. Oleh karena itu proses desalinasi hybrid MED-RO dengan air umpan RO yang memanfaatkan panas dari bagian rejeksi panas instalasi MED akan sangat menguntungkan, sehingga penggunaan instalasi ini layak dipertimbangkan. Kombinasi tersebut akan menghasilkan peningkatan produktivitas instalasi dan mengurangi kebutuhan energi pada proses RO. Selain itu desain hybrid MED-RO dapat dioptimalkan dengan mengkombinasi keluaran *brine* RO dengan *brine* MED.

Hasil analisis air laut perairan Teluk Manggris, Dusun Tanah Merah, Kecamatan Muntok, Kabupaten Bangka Barat mempunyai TDS 38.800-48.400, pada temperatur 27-30°C dan (Tabel 1). Pada Tabel 1 terlihat kekeruhan air laut berkisar antara 6,8-23,5 NTU, sedangkan baku mutu air bersih maksimal adalah 5 NTU, sehingga beban pengolahan awal (*pretreatment*) untuk mengatasi kekeruhan pada desalinasi RO tidak begitu besar.

Diasumsikan instalasi desalinasi hanya memasok kebutuhan sebesar 50% atau sekitar 50.000 m³/hari karena kekurangan pasokan air bersih hanya sekitar 36.736.269 m³/tahun atau 100.647,3 m³/hari. Jadi direncanakan sekitar 50.000 m³/hari produk desalinasi memasok kebutuhan air bersih untuk PLTN dan fasilitasnya, serta untuk kebutuhan masyarakat Babel.

Hasil perhitungan menggunakan DEEP 3.2 dengan energi dari PLTN dan PLTU, parameter operasi 20 tahun, tahun perhitungan 2011, tahun awal konstruksi 2014, tahun operasi 2020, temperatur air umpan 27°C dan TDS lokasi 1 = 42.400, dihasilkan performa distilasi seperti terlihat pada Tabel 2 dan diperoleh biaya produksi air instalasi desalinasi hybrid MED-RO (Tabel 3). Dalam perhitungan ini diasumsikan bahwa:

- Kapasitas distilasi 3000 m³/hari, karena kebutuhan air baik untuk pendingin reaktor maupun untuk memasok kebutuhan air bersih fasilitas PLTN sekitar 2750 m³/hari. Kapasitas total sistim hybrid 50.000 m³/hari dan kapasitas distilasi 3000 m³/hari maka kapasitas RO 47.000 m³/hari.
- Biaya konstruksi MED 900 \$/(m³/hari), RO 700 \$/(m³/hari).
- Interest rate 8%.
- Temperatur brine maksimum 65°C, temperatur steam pemanas 75°C.
- Ratio recovery RO : 0,45.
- Daya thermal PLTN 2994 MWth, PLTU 2778 MWth.
- Biaya konstruksi PLTN 2600 \$/kW dan PLTU 1400 \$/kW.

Pada Tabel 3 terlihat bahwa biaya produksi air desalinasi hybrid MED-RO dengan energi dari PLTN lebih rendah dibanding dengan energi dari PLTU. Sedangkan Tabel 4 memperlihatkan biaya produksi air dari instalasi MED dan hybrid MED-RO dengan energi dari PLTN. Teknologi desalinasi hybrid MED-RO ini menguntungkan karena biaya produksi air hybrid MED-RO lebih rendah dibandingkan MED saja. Tabel 5 memperlihatkan pengaruh TDS terhadap biaya produksi air.

Tabel 2. Performa Distilasi

	Satuan	MED	MED-RO
Kebutuhan panas	kWh/m ³	36,54	33,50
Aliran uap	kg/det	32,88	1,81
GOR (<i>Gain Output Ratio</i>)		17,6	19,2

Tabel 3. Perbandingan Biaya Produksi Air Desalinasi Hybrid MED-RO dengan Energi dari PLTU dan PLTN

	Satuan	PLTU	PLTN
Biaya tetap	\$/m ³	0,225	0,226
Biaya panas	\$/m ³	0,012	0,006
Biaya listrik	\$/m ³	0,304	0,170
Biaya O&M	\$/m ³	0,179	0,179
Biaya produksi air	\$/m ³	0,720	0,581

Pada Tabel 3 terlihat bahwa total biaya produksi air dengan energi dari PLTN lebih rendah dibandingkan dengan PLTU (berkurang 19,3%). Biaya panas dari instalasi desalinasi dengan energi dari PLTU adalah 16,67% dan biaya listrik 42,22% dari biaya total yang mana lebih tinggi dari instalasi desalinasi dengan energi dari PLTN yang biaya panasnya hanya 10,32% dan biaya listrik 29,26%, hal ini dikarenakan adanya pajak karbon pada instalasi PLTU. Pajak karbon ini dikenakan pada PLTU karena pada PLTU menggunakan batubara yang merupakan bahan bakar fosil padat dengan kandungan karbon tinggi dan kandungan hidrogen rendah (~ 5%), serta mengandung sulfur, nitrogen dan abu dalam jumlah besar sehingga gas buang hasil pembakaran menghasilkan polutan seperti SO₂, NO_x dan CO₂ yang berdampak negatif terhadap kesehatan dan lingkungan.

Tabel 4. Perbandingan Biaya Produksi Air dari Instalasi MED dan Hybrid MED-RO dengan Energi dari PLTN

	Satuan	MED	MED-RO
Biaya tetap	\$/m ³	0,338	0,226
Biaya panas	\$/m ³	0,124	0,006
Biaya listrik	\$/m ³	0,139	0,170
Biaya O & M	\$/m ³	0,151	0,179
Biaya produksi air	\$/m ³	0,752	0,581

Seperti terlihat dalam Tabel 4, penggunaan desalinasi dengan system hybrid MED-RO akan menghemat biaya sekitar 22,7%. Biaya panas pada instalasi MED lebih besar dari instalasi MED-RO namun biaya listriknya lebih rendah. Seperti diketahui instalasi MED sebagian besar energinya berasal dari pemanfaatan panas dan energi listrik hanya digunakan untuk pemompaan, penerangan. Sebaliknya pada instalasi MED-RO, karena jumlah produksi air bersih pada instalasi MED hanya 3000 m³/hari maka kebutuhan panas lebih rendah, namun pada instalasi RO membutuhkan energi listrik untuk memompa air dengan tekanan tinggi ke modul membran. Biaya O & M pada instalasi MED-RO lebih tinggi dari pada instalasi MED, hal ini karena kriteria air umpan RO harus mempunyai kualitas yang baik diantaranya kekeruhan kurang dari 0,2 NTU sehingga diperlukan sistem pengolahan awal yang lebih ketat dibanding instalasi MED. Salah satu komponen yang berpengaruh di dalam biaya tetap adalah peralatan proses. Oleh karena MED dengan kapasitas 50.000 m³/hari maka biaya peralatan proses lebih tinggi, sedangkan pada MED-RO dengan kapasitas MED 3000 m³/hari biaya peralatan proses lebih rendah, sehingga biaya tetap instalasi MED lebih tinggi dibanding instalasi MED-RO. Selain itu, pengolahan *brine* hybrid desalinasi MED-RO dapat dikombinasi sehingga juga menunjang penurunan biaya tetap.

Dalam Tabel 5 terlihat bahwa semakin tinggi TDS, tekanan pompa RO yang dibutuhkan semakin tinggi dan akibatnya salinitas *brine* yang dihasilkan semakin tinggi, sehingga total biaya produksi air semakin besar. Tabel 6 memperlihatkan pengaruh *interest rate* terhadap biaya produksi air. Semakin tinggi *interest rate*, maka semakin tinggi biaya produksi air.

Tabel 5. Pengaruh TDS terhadap Biaya Produksi Air

Parameter	Satuan	TDS (ppm)				
		38.800	42.000	42.400	44.800	48.400
Tekanan RO	bar	66,9	72,8	73,6	78,5	86,8
Kualitas produk RO	ppm	296	321	324	342	369
Salinitas brine RO	ppm	70.545	76.364	77.091	81.455	88.000
Salinitas brine MED	ppm	77.600	84.000	84.800	89.600	96.800
Biaya :						
- Biaya tetap	\$/m ³	0,226	0,226	0,226	0,226	0,226
- Biaya panas	\$/m ³	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006
- Biaya listrik	\$/m ³	0,159	0,169	0,170	0,178	0,192
- Biaya O&M	\$/m ³	0,179	0,179	0,179	0,179	0,179
- Biaya produksi air	\$/m ³	0,570	0,580	0,581	0,590	0,604

Tabel 6. Pengaruh Interest Rate terhadap Biaya Produksi Air pada TDS 42.400 ppm

Parameter	Satuan	Interest rate		
		8%	10%	12%
Biaya tetap	\$/m ³	0,226	0,228	0,230
Biaya panas	\$/m ³	0,006	0,006	0,007
Biaya listrik	\$/m ³	0,170	0,175	0,180
Biaya O &M	\$/m ³	0,179	0,179	0,179
Biaya produksi air	\$/m ³	0,581	0,588	0,596

5. KESIMPULAN

Dari hasil studi dapat disimpulkan bahwa desalinasi hybrid MED-RO dengan energi yang berasal dari PLTN, layak dipertimbangkan sebagai opsi untuk menambah pasokan air bersih di Provinsi Kepulauan Babel. Hal ini dikarenakan :

- Pada sistem hybrid MED-RO, beban pengolahan awal untuk mengatasi kekeruhan pada desalinasi RO tidak begitu besar, karena kekeruhan perairan Teluk Manggris, Muntok, Bangka Barat cukup rendah yaitu berkisar antara 6,8-23,5 NTU.
- Penggunaan hybrid MED-RO menghemat energi panas sekitar 8,32% (energi panas yang dibutuhkan dalam instalasi MED adalah 36,54 kWh/m³ dan hybrid MED-RO adalah 33,50 kWh/m³).
- Peningkatan temperatur RO dengan menggunakan air pendingin dari bagian rejeksi panas instalasi MED akan meningkatkan kecepatan aliran air produk sebesar 2,5%-3% per derajat celcius.
- Biaya produksi air desalinasi hybrid MED-RO (0,581 \$/m³) lebih rendah dibanding proses MED (0,752 \$/m³).
- Biaya produksi air desalinasi hybrid MED-RO dengan energi dari PLTN (0,581 \$/m³) lebih rendah dibanding dengan energi dari PLTU (0,720 \$/m³).

Namun biaya produksi air dipengaruhi oleh TDS dan *interest rate*, yang mana semakin tinggi TDS dan *interest rate*, biaya produksi air juga akan meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. SYARIFUDDIN, S. K. M., dkk., "Profil Kesehatan Provinsi Kepulauan Bangka Belitung Tahun 2006", Dinas Kesehatan Pemerintah Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, Juli 2007.
- [2]. PPEN-BATAN, "Pra Studi Kelayakan Introduksi PLTN Kogenerasi di Kalimantan: Desalinasi Menggunakan Teknologi LT-HT MED", Pusat Pengembangan Energi Nuklir-Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta, 2010.
- [3]. DJOKOLELONO, M., "Reaktor Nuklir dan Pabrik Desalinasi Bagi Demonstrasi Desalinasi Nuklir", Prosiding Seminar Pranata Nuklir BATAN, Juli, 1999.
- [4]. MEZHER, T., et.al, "Techno-Economic Assessment and Environmental Impacts of Desalination Technologies", Masdar Institute of Science & Technology, Abu Dhabi, UAE, 2010.
- [5]. AL-MUTAZ, I. S., "Hybrid RO-MSF Desalination: Present Status and Future Prospectives", presented at The International Forum On Water-Resources, Technologies And management In The Arab World, May, 2005.
- [6]. ANDREW P., "Desalination Technology, Development and Practice", Applied Science Publishers LTD, London and New York, 1983.
- [7]. AL-MUTAZ, I. S., AL-GHUNAIMI, M. A., "Performance of Reverse Osmosis Units at High Temperatures", Presented at The Ida World Congress on Desalination and Water Reuse, Bahrain, October 26 – 31, 2001.
- [8]. THRANE, H.B., "Plates – The Next Breakthrough In Desalination". Communications, Process Technology Division.
- [9]. AMBIENT, C.M., et.all., "Overview on Seawater Distillation Technologies", Jornada Sobre la Dessalació D'aigües, Barcelona, 2005.