

PENGUKURAN DAN ANALISIS UNSUR-UNSUR PADA AIR LAUT MURIA UNTUK AIR PRIMER PWR

Dwi Biyantoro, Kris Tri Basuki

Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan - BATAN

ABSTRAK

PENGUKURAN DAN ANALISIS UNSUR-UNSUR PADA AIR LAUT MURIA UNTUK AIR PRIMER PWR. Proses pemurnian air bebas mineral dan penentuan tapak pengolahan air laut untuk penyediaan air bagi kebutuhan pendingin air primer PWR semakin diperlukan. Desalinasi adalah suatu proses yang digunakan untuk menghilangkan kandungan garam dalam air laut. Semua proses desalinasi melibatkan tiga aliran cairan: umpan air air payau atau air laut, produk air dengan kadar garam rendah, dan air laut dengan konsentrasi tinggi. Air laut Muria Jepara adalah termasuk tipe umpan yang pertama dengan kadar garam rendah dan relative kandungan suspensi dan pengotor logam berat rendah. Ada dua tipe proses membran yang digunakan untuk desalinasi: reverse osmosis dan elektrodialisis. Awalnya proses ini sangat sulit dan biayanya mahal. Tetapi sejak permulaan tahun 1950, proses desalinasi tampaknya menjadi ekonomis untuk digunakan. Ada tiga komponen kunci yang berpengaruh pada karakteristik dan kehandalan jangka panjang: 1) energi, 2) sifat korosif air laut, dan 3) teknologi proses desalinasi. Ke tiga hal ini saling berkaitan dan memberikan dampak signifikan pada pengembangan desain dan optimasi kerja. Berdasarkan analisis air laut didaerah semenanjung Muria Jepara diperoleh hasil sebagai berikut: Fe = $0,176 \pm 0,012$ ppm, Pb = $0,612 \pm 0,017$ ppm, Cd = $52,567 \pm 0,750$ ppm, Cu = $0,044 \pm 0,005$ ppm, Zn = $0,061 \pm 0,003$ ppm, Mn = $0,057 \pm 0,003$ pp, Ca = antara 365,256 – 368, 654 ppm, Na = antara 9572,000 – 9775,000 ppm, Mg = antara 759,000 – 779,00 ppm dan Ni = $0,524 \pm 0,005$ ppm. Biaya proses untuk (reverse osmosis) 0,9 – 1 US\$/m³, untuk elektrodialisis = 1 – 1,2 US\$/m³, sedangkan untuk proses evaporasi atau distilasi = 1,4 – 1,6 US\$/m³.

ABSTRACT

MEASUREMENT AND ELEMENTAL ANALYSIS OF MURIA SEA WATER FOR PRIMERY WATER OF PWR. Treatment process of water of free mineral and study area of processing of sea water to meet the need of water cooling of PWR. Desalination is a separation process used to reduce the dissolved salt content of saline water. All desalination processes involve three liquid streams: the saline feedwater (brackish water or seawater), low salinity product water, and very saline concentrate. Seawater Muria Jepara is feed type 1 with content salt is low and relative suspension and weight metals is low. There are two types of membrane process used for desalination: reverse osmosis (RO) and electrodialysis (ED). The starting of process is difficult and expensive. However, starting since 1950s, desalination process appear to be economically practical for ordinary use. There are 3 key elements significantly affect to the technical performance and long term characteristic type, i.e. 1) energy, 2) corrosivity of seawater, and 3) desalination process technology. These elements closely inter related and important for design improvements and technical performance optimization. From the analysis of sea water of gulf Muria Jepara was found as follows : Fe = $0,176 \pm 0,012$ ppm, Pb = $0,612 \pm 0,017$ ppm, Cd = $52,567 \pm 0,750$ ppm, Cu = $0,044 \pm 0,005$ ppm, Zn = $0,061 \pm 0,003$ ppm, Mn = $0,057 \pm 0,003$ ppm, Ca between = 365,256 – 368, 654 ppm, Na between = 9572,000 – 9775,000 ppm, Mg between 759,000 – 779,00 ppm and Ni = $0,524 \pm 0,005$ ppm. Cost production of process using reverse osmosis as around 0.9 – 1 US\$/m³, while using electrodialysis is around 1.2 US\$/m³, and by using evaporation process or distillation process is around 1.4 – 1.6 US\$/m³.

PENDAHULUAN

Air yang digunakan sebagai air pendingin primer PWR terutama berfungsi untuk media pemindahan panas yang timbul akibat reaksi fisi. Kualitas air akan sangat mempengaruhi integritas struktur material sistem reaktor. Air primer reaktor memerlukan kemurnian yang tinggi, hal ini diperlukan untuk menekan proses deposisi kelongsong elemen bakar yang panas serta korosi material komponen reaktor yang terbuat dari logam.

Diperlukan air yang memenuhi standar tertentu guna menjamin kualitas proses yang dikehendaki. Untuk itu diperlukan pengolahan atau pemrosesan spesifik yang bergantung pada sumber air dan fungsinya dalam lingkaran produksi. Khususnya air laut sebagai bahan dasar pembuatan air bebas mineral yang akan digunakan sebagai air primer PWR.

Proses desalinasi merupakan cara yang digunakan untuk penyediaan air tawar dari air laut.

Air laut mengandung antara 35.000 – 42.000 ppm bermacam zat terlarut, dengan sebagian besar garam NaCl^[1]. Secara garis besar, prinsip proses pemurnian air dapat dilakukan melalui 2 metoda, yaitu secara 1) langsung dengan menggunakan membran dan 2) tidak langsung melalui destilasi/evaporasi. Proses desalinasi menggunakan membran relatif baru dan berkembang sesuai dengan perkembangan material membran.

Pengoperasian desalinasi relatif mahal dibandingkan pengolahan air biasa, namun makin penting bila dikaitkan dengan kesadaran pelestarian lingkungan karena penggunaan air tanah (air sungai dan bawah tanah) sudah semakin terbatas. Air bersih dan air murni merupakan bahan yang semakin penting, juga langka dengan makin majunya IPTEK, masyarakat dan peradaban industri. Sebaliknya, berkat perkembangan IPTEK, mutu airpun bisa diperbaiki. Air murni sangat penting bagi industri kimia, farmasi, pangan, elektronika dan industri nuklir^[2].

Untuk menyongsong pembangunan PLTN pertama di Indonesia untuk membangun reaktor daya, maka kebutuhan air pendingin khususnya untuk air primer PWR yang bebas mineral sangat dibutuhkan. Sebagai sumber air dapat memanfaatkan air laut atau air payau.

Teknologi nuklir senantiasa dituntut akan perangkat dan sistem yang lebih mutakhir berhubungan dengan pendingin reaktor. Teknologi nuklir mutlak harus dikuasai oleh Bangsa Indonesia jika kita bermaksud untuk melakukan alih teknologi pembangunan PLTN pertama, sehingga pada pembangunan PLTN-PLTN berikutnya kadar kontribusi bangsa Indonesia dapat semakin ditingkatkan.

Dalam rangka memenuhi kebutuhan air khususnya air bebas mineral yang akan digunakan sebagai air primer PWR, maka perlu penguasaan teknologi, pengalaman, dan adaptasi informasi dengan cepat, akurat, ramah lingkungan, menjamin keselamatan, mempunyai daya saing ekonomis, dan penyiapan SDM yang kapabel.

Proses desalinasi tipe membran tepat untuk mengolah air laut atau air payau dengan kandungan padatan tersuspensi dibawah 10.000 ppm^[1]. Kelebihan desalinasi tipe membran ialah praktis, karena hanya memerlukan daya listrik dalam pengoperasiannya, disamping biaya operasinya yang bersaing. Proses membran yang banyak digunakan adalah reverse osmosis (RO)^[2,3].

Sebagaimana tipe membran yang lain, tipe RO sensitif terhadap pergerakan dan penyumbatan.

Untuk mengatasi hal tersebut, pengolahan awal air sebelum melalui membran RO sangat penting. Beberapa cara proses pengolahan awal meliputi proses kimia dan mekanikal, seperti koagulasi, flokulasi dan diikuti filtrasi untuk menghilangkan kekeruhan dan kandungan padatan terlarut.

Oleh karena itu maka perlu dilakukan studi air laut Muria sebagai bahan dasar pembuatan air bebas mineral yang akan digunakan sebagai air primer PWR. Air hasil olah tersebut harus benar-benar dapat memenuhi syarat untuk keperluan pendingin reaktor, yaitu seperti tercantum pada Tabel 1.

Air untuk PWR diperlukan proses pemurnian yang spesifik. Masalah penyediaan air merupakan investasi yang tidak kecil. Proses desalinasi dan membran dialisis merupakan cara yang efektif yang digunakan untuk penyediaan air PWR^[3]. Proses ini relatif mahal namun dengan kemajuan teknologi biaya proses senantiasa diupayakan dapat berkurang sehingga dapat efisien dan efektif. Dengan semakin terbatasnya air tanah dan kesadaran lingkungan, maka diperlukan upaya pemurnian air laut menjadi air bebas mineral yang bebas garam dan ion-ion logam.

Langkah awal yang perlu dikerjakan adalah melakukan studi tapak dan melakukan analisis kandungan air laut di daerah semenanjung Muria. Berikutnya adalah pemilihan proses untuk pembuatan air bebas mineral sebagai air primer PWR.

Parameter pH mempunyai peran penting dalam proses transport hasil korosi disamping pada proses korosi itu sendiri. PH dijaga agar berada pada nilai tertentu sebagai persyaratan untuk meminimalkan perjalanan produk korosi di jalur aliran pendingin. Sebagai contoh bahwa pada pH 6,9 adalah direkomendasikan pada suhu 300°C untuk pengendalian lithium (Li) pada konsentrasi 2,2 ppm^[4].

Kondisi Li dan boron (B) harus dikoordinasikan terkait dengan operasi pH untuk mencapai kondisi harga pH pada kisaran 6,9 – 7,4 sesuai yang direkomendasikan^[4].

Penggunaan air dalam reaktor nuklir antara lain sebagai media pemindahan panas atau pendingin. Air pendingin erat kaitannya dengan proses korosi komponen atau struktur reaktor dan pipa yang terbuat dari paduan logam. Oleh sebab itu air yang digunakan sebagai air pendingin reaktor nuklir harus memenuhi persyaratan yang bebas mineral.

Setiap inti atom U-235 yang mengalami pembelahan akan melepaskan sejumlah energi sebesar kira-kira 200 MeV yang hampir seluruhnya dalam bentuk panas. Suatu zat pendingin diperlukan untuk menghindari terjadinya suhu yang berlebihan dalam bejana reaktor. Kriteria suhu berlebihan ditentukan oleh beberapa faktor, yaitu suhu transformasi allotropis pada bahan yang vital, titik didih zat pendingin, suhu melunak, bahan struktur dan lain-lain.

Tabel 1. Spesifikasi air pendingin primer PWR^[4]

Parameter	Spesifikasi
Konduktivitas	Lebih kecil dari 1 s/d 40 ($\mu\text{S/cm}$) pada 25 °C
pH	4,2 – 10,5 pada 25 °C
Oksigen	0,005 ppm maks
Klorida	0,15 ppm maks
Fluorida	0,15 ppm maks
Hidrogen	25 – 50 cc (SPT) / kg
Suspendend solid	0,2 ppm maks
Boric Acid	0 – 4000 ppm
Silica	1,0 ppm maks
Alumina	0,05 ppm maks
Calcium	0,15 ppm maks
Magnesium	0,025 ppm maks

Dalam PWR fungsi air tidak hanya sebagai pendingin tapi juga sebagai : moderator, reflektor, shielding, dan kerja generator listrik. Pengendalian air pendingin primer berguna untuk pengendalian korosi pada komponen reaktor dan tangki bahan bakar sehingga dapat mengontrol reaktivitas nuklir, mereduksi sumber radiasi serta untuk memonitor integritas bahan bakar^[5].

TATA KERJA

1. Data data diambil dari pustaka dan Internet.
2. Analisis Fe, Pb, Cd, Cu, Zn, Mn, Ca, Na, Mg dan Ni dilakukan dengan alat Flame AAS (Laboratorium Kimia Analitik, Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan – BATAN Yogyakarta, Terakreditasi)

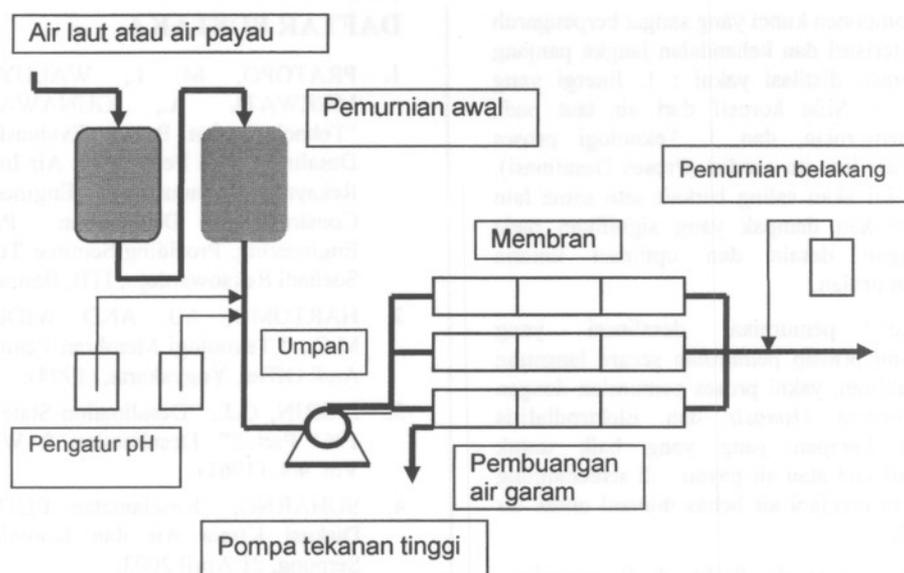
Proses pengolahan air laut Muria

Demineralisasi

Air laut rata-rata dipompa ke unit koagulasi untuk mengendapkan lumpur – lumpur yang terikut. Di sini air ditambah dengan zat penggumpal seperti tawas/ filter alum, ferro sulfat, natrium aluminat dan

sebagainya. Proses demikian tidak bisa digabungkan sembarangan dengan proses teknologi membran sebab dapat merusak membrannya. Air yang keluar dari unit koagulasi sebagian masih ada pengotor yang tersisa, di sini dibersihkan melalui unit klarifier dan filtrasi. Air yang keluar dari klarifier dilewatkan membran osmose, air akan mengalami proses fisis yang memisahkan zat terlarut dari pelarutnya. Membran hanya dilalui pelarut, sedangkan zat terlarutnya baik elektrolit maupun organik akan ditolak. Air hasil yang keluar dari membran osmose dilewatkan melalui kolom penukar ion untuk memisahkan kation dan anion yang tidak dikehendaki. Pada proses penukar ion dapat memakai zeolit – Na (produk air mengandung Na), atau resin penukar ion (kation/ anion). Proses ini hanya untuk mengurangi kesadahan air yang disebabkan oleh garam kalsium atau magnesium, bikarbonat dan sebagainya. Cara ini tidak dapat menghilangkan kontaminan secara sempurna. Untuk menghindari jamur dan bakteri – bakteri yang tumbuh diperlukan proses klorinasi atau ozonisasi sebelum masuk ke unit destilasi yang terdiri dari beberapa buah. Tujuan dari klorinasi yaitu untuk desinfeksi dan membantu menghilangkan Fe, Mn. Zat – zat kimia dalam air bereaksi dengan klor baru sesudahnya klor membunuh atau menghambat tumbuhnya mikroba. Jika air mengandung zat organik atau amoniak maka kebutuhan klornya tinggi. Air destilat dari unit destilasi dikontrol pH 6 - 7 (netral) dan total zat terlarut. Hasil air yang diperoleh sesudah melewati proses koagulasi, klarifier, membran osmose, penukar ion, klorinasi dan destilasi mempunyai kualitas yang sesuai dengan syarat – syarat yang harus dipenuhi untuk kepentingan pendingin primer. Sedangkan untuk kualitas air sebagai pendingin sekunder maka cukup memakai air sebagai hasil klorinasi. Untuk mendapatkan produk air bebas mineral diperlukan air laut atau air payau memakai proses desalinasi tipe membran atau *multi effect distillation* (MED). Hasil studi memberikan gambaran bahwa kombinasi proses elektrodialisis dan reverse osmosis baik untuk memproses (treatment) air payau/air laut menjadi air bebas mineral untuk air primer PWR.

Dari data analisis air laut semenanjung Muria Jepara dengan kadar pengotor yang rendah nampaknya akan memberikan harapan yang baik untuk mengolah air laut atau air payau menjadi air bebas mineral untuk air primer PWR. Diagram alir proses seperti ditunjukkan pada Gambar 1^[6].



Gambar 1. Unit proses pengolahan air laut dengan cara membran

PEMBAHASAN

Berdasarkan sampling hasil analisis air laut di semenanjung Muria Jepara menggunakan AAS diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 2. Analisis kandungan air laut Muria Jepara dengan AAS

No.	Unsur	Kadar
1.	Fe	0,176 ± 0,012 ppm
2.	Pb	0,612 ± 0,017 ppm
3.	Cd	52,567 ± 0,750 ppm
4.	Cu	0,044 ± 0,005 ppm
5.	Zn	0,061 ± 0,003 ppm
6.	Mn	0,057 ± 0,003 ppm
7.	Ca	365,256 – 368, 654 ppm
8.	Na	9572,000 – 9775,000 ppm
9.	Mg	759,000 – 779,00 ppm
10.	Ni	0,524 ± 0,005 ppm

Air laut merupakan zat kimia yang korosif. Disamping itu, air laut juga mengandung ion-ion logam yang dapat mengakibatkan timbulnya kerak. Pemilihan material proses sangat menentukan ketahanan dan efisiensi jangka panjang.

Dengan kemajuan teknologi yang semakin pesat maka produksi air murni untuk proses industri baik nuklir dan non nuklir biaya proses

senantiasa diupayakan dapat berkurang sehingga dapat efisien dan efektif.

Table 3. Biaya desalinasi air laut^[7]

Tahun	Biaya Modal (US\$/daily m ³)	Biaya Air Produk (US\$/m ³)
1980	1500	1.25
1990	1000 – 1200	1.0 – 1.2
2000	800 – 1000	0.8 – 1.0
2010	500 – 700	0.5 – 0.7

*) International Atomic Energy Agency (IAEA), Viena, Austria (2004).

Sedangkan berdasarkan studi yang dilakukan oleh Hartman (1999) didapatkan hasil antara *Reverse Osmosis*, *Elektrodialisis* dan *MSF* biaya proses didapatkan untuk RO (reverse osmosis) = 0,9 - 1 US\$/m³, untuk elektrodialisis = 1 - 1,2 US\$/ m³, sedangkan untuk evaporasi atau distilasi = 1,4 - 1,6 US\$/ m³.

Proses pemurnian air bebas mineral tapak pengolahan air laut untuk penyediaan air bagi kebutuhan pendingin air primer PWR semakin diperlukan. Terdapat dua prinsip kerja yang diterapkan untuk pengolahan air laut yaitu pemisahan menggunakan membrane (*Reverse Osmosis* dan *Elektrodialisis*) dan pemurnian melalui cara proses *Evaporasi/ Distilasi*. Kedua cara ini mempunyai keunikan masing-masing, tetapi tipe evaporasi/ distilasi telah banyak dimanfaatkan secara lebih luas di dunia industri.

Ada tiga komponen kunci yang sangat berpengaruh pada karakterisasi dan kehandalan jangka panjang tipe evaporasi/ distilasi yakni : 1. Energi yang digunakan, 2. Sifat korosif dari air laut pada instalasi pemurnian, dan 3. Teknologi proses pemurnian air laut itu sendiri (Proses Desalinasi). Ketiga hal ini akan saling berkait satu sama lain dan memberikan dampak yang signifikan pada pengembangan desain dan optimasi kinerja instalasi pemurnian.

Proses pemurnian desalinasi yang menggunakan prinsip pemurnian secara langsung dengan membran, yakni proses pemurnian dengan metode *Reverse Osmosis* dan *Elektrodialisis* memberkan harapan yang yang baik untuk mengolah air laut atau air payau di semenanjung Muria Jepara menjadi air bebas mineral untuk air primer PWR.

Penentuan tapak dipilih di Semenanjung Muria Jepara yang terletak dipantai utara laut Jawa, karena kandungan pengotor logam berat dalam air laut relatif rendah (tidak banyak partikel tersuspensi) dibandingkan dengan pantai lain yang sudah terkontaminasi industri (pabrik), prasarana transport dan transmisi/jaringan listrik, tahan gempa, jauh dari gunung berapi dan cost areanya relatif murah.

KESIMPULAN

Berdasarkan studi air laut Muria sebagai bahan dasar pembuatan air bebas mineral untuk air primer PWR diperoleh hasil analisis air laut sebagai berikut: Fe = $0,176 \pm 0,012$ ppm, Pb = $0,612 \pm 0,017$ ppm, Cd = $52,567 \pm 0,750$ ppm, Cu = $0,044 \pm 0,005$ ppm, Zn = $0,061 \pm 0,003$ ppm, Mn = $0,057 \pm 0,003$ pp, Ca = antara 365,256 – 368,654 ppm, Na = antara 9572,000 – 9775,000 ppm, Mg = antara 759,000 – 779,00 ppm dan Ni = $0,524 \pm 0,005$ ppm. Evaluasi dari hasil analisis dan proses pemurnian desalinasi menggunakan prinsip pemurnian secara langsung dengan proses membran yakni *reverse osmosis* dan *elektrodialisis* diharapkan mendukung keberhasilan proses mengolah air laut atau air payau di semenanjung Muria Jepara menjadi air bebas mineral untuk air primer PWR.

Penentuan tapak dipilih di semenanjung Muria Jepara yang terletak dipantai utara laut Jawa, karena kandungan pengotor logam berat dalam air laut relatif rendah (tidak banyak partikel tersuspensi) dibandingkan dengan pantai lain yang sudah terkontaminasi industri, serta jauh dari gunung berapi dan cost areanya relatif murah.

DAFTAR PUSTAKA

1. PRATOPO, M. I., WALUYO, G., MURWATI, A., GUNAWAN, W.T, "Teknologi dan Proses Evaluasi Pemilihan Desalinasi Bagi Penyediaan Air Industri", PT. Rekayasa Industri, Engineering & Construction, Departemen Proses-Divisi Engineering, Prosiding Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo, ITB, Bandung, 1997.
2. HARTOMO, A.J. AND WIDIATMOKO, M.C., "Teknologi Membran Pemurnian Air", Andi Offset, Yogyakarta, (1994).
3. MORIN, O.J., "Desalination-State of the Art 1961 Part 2", Desalination & Water Reuse, Vol. 4/4, (1961).
4. SUHARNO, "Keselamatan PLTN", Forum Diskusi Kimia Air dan Korosi, BATAN, Serpong, 21 April 2003.
5. SARYATI DAN RUKIHATI, "Kimia Air Dalam Reaktor Nuklir", Forum Diskusi Kimia Air dan Korosi, BATAN, Serpong, 21 April 2003.
6. BUROS, O.K. Et. Al, "Desalination by Reverse Osmosis", The USAID Desalination Manual, Englewood, N.J., U.S.A., IDEA Publication (2005).
7. TEWARI, P.K. AND MISRA, B.M., "Technological innovations in desalination", BARC, NewSletter , (2004).

TANYA JAWAB

M. Setiaji

- Data hasil analisis air laut pada kondisi bagaimana, pada musim hujan atau kemarau? Apakah tidak sebaiknya dilakukan analisis pada musim yang berbeda atau pada keadaan air pasang atau air surut.

Dwi Biyantoro

- Hasil analisis air laut dilakukan pada musim hujan. Hal ini dilakukan karena pada musim hujan banyak air dari sungai (hulu) yang menuju ke laut (hilir). Berdasarkan survei yang pernah dilakukan hasil analisis air laut Muria pada kedua musim tidak terlalu banyak mengalami perubahan hal ini karena di semenanjung Muria relatif *suspended solid* (SS) relatif rendah dibandingkan dengan pantai yang lain.

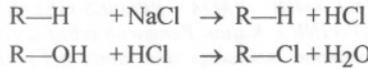
MV. Purwani

- Definisi demineralisasi apakah sudah benar ? Karena kalau pengurangan ion positif

bukankah H⁺ itu ion positif. Apa perlu dihilangkan ?

Dwi Biyantoro

- Sudah benar. Demineralisasi adalah untuk mengurangi mineral ion positif seperti Ca, Mg, Na dan ion negatif seperti SO₄, Cl, HCO₃ dalam air laut pada proses desalinasi. Ion H⁺ justru akan membentuk H₂O, seperti contoh reaksi dibawah :



Iswani G.

- Mengapa perlu dilakukan pemurnian air laut dengan penukar ion dan elektrodialisis? Apakah tidak bisa dengan membran langsung dengan *multi stage*.

Dwi Biyantoro

- Pemurnian air laut dilakukan dengan dengan desalinasi tipe proses membran yaitu gabungan *reverse osmosis* dan elektrodialisis. Membran yang digunakan *multi stage*.