

STUDI PEMBUANGAN KONSENTRAT DESALINASI

Siti Alimah

Pusat Pengembangan Energi Nuklir (PPEN) - BATAN
Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta 12710
Telp./Faks. 021-5204243, E-mail: Alimahs@batan.go.id

Masuk: 5 April 2010

Direvisi: 16 April 2010

Diterima: 1 Juli 2010

ABSTRAK

STUDI PEMBUANGAN KONSENTRAT DESALINASI. Instalasi desalinasi menghasilkan produk air bersih dan produk samping brine dengan konsentrasi sekitar dua kali air umpan, dan disebut sebagai konsentrat. Konsentrat dapat menyebabkan efek lingkungan yang merugikan, yang sebagian besar tergantung pada desain instalasi keseluruhan dan operasi, metode yang digunakan untuk pembuangan konsentrat dan kondisi fisis dan biologis di sekitar instalasi. Metode yang digunakan untuk pembuangan konsentrat adalah keputusan penting dalam desain dan perencanaan instalasi desalinasi secara keseluruhan. Beberapa opsi pembuangan konsentrat meliputi pembuangan permukaan, pembuangan ke instalasi pengolahan air limbah, injeksi sumur dalam, kolam penguapan, land application (aplikasi di atas permukaan tanah) untuk spray irigasi dan teknologi zero liquid discharge (ZLD). Masing-masing metode pembuangan konsentrat tersebut mempunyai kelebihan dan kekurangan, sehingga harus dievaluasi dengan hati-hati untuk pengambilan keputusan. Metode pembuangan konsentrat yang cocok, dapat mengurangi dampak pada badan air dan akuifer air tanah. Hasil studi kasus yang telah dilakukan di wilayah Semenanjung Muria memperlihatkan bahwa pembuangan permukaan dapat menjadi pilihan yang baik sebagai metode pembuangan konsentrat untuk instalasi desalinasi yang dikopel dengan PLTN jenis PWR.

Kata kunci: konsentrat, desalinasi, pembuangan, PLTN

ABSTRACT

STUDY OF DESALINATION CONCENTRATE DISPOSAL. Desalination plants generate product of clean water and by-product brine with concentration approximately twice of feedwater, and referred to as the concentrate. Concentrate can cause significant adverse environmental effects, in large part depends on overall plant design and operation, methods used for concentrate disposal and specific physical and biological conditions in the vicinity of the plant. The method used to dispose concentrate is a major decision in designing and planning the overall desalination plant. Some concentrate disposal options include disposal on seawater surface, disposal to wastewater treatment plant, deep well injection, evaporation ponds, land application to spray irrigation and zero liquid discharge (ZLD) technologies. Each concentrate disposal method has certain advantages and disadvantage, therefore it should be evaluated with respect to decision making. The appropriate concentrate disposal methods can reduce impact on the body waters and groundwater aquifers. The results of the performed case study of Muria Peninsula showed that disposal on seawater surface may be a favourable option as concentrate disposal method to desalination plant coupled with PWR nuclear power plant for being applied.

Keywords: concentrate, desalination, disposal, NPP

1. PENDAHULUAN

Desalinasi merupakan salah satu teknologi pemanfaatan PLTN untuk produk lain, yaitu untuk memasok kebutuhan air pendingin reaktor dan air bersih di fasilitas tersebut, serta untuk kebutuhan masyarakat di sekitar PLTN. Energi untuk proses desalinasi dapat diperoleh dari PLTN berupa panas sisa. Meskipun demikian, desalinasi dengan pasokan energi dari PLTN juga mempunyai dampak terhadap lingkungan, yaitu dihasilkannya konsentrat yang disebut *brine*. Konsentrat merupakan limbah dan salinitasnya dapat mencapai dua kali lipat dari konsentrasi umpan^[1]. Aliran konsentrat ini selain mengandung garam juga mengandung residu kimia yang digunakan pada saat pengolahan awal, padatan tersuspensi, deposit kerak dan logam berat penyebab korosi. Jika tidak dikelola dengan baik, aliran konsentrat yang dibuang ke permukaan air laut dapat mempengaruhi kualitas air pantai dan memberikan dampak negatif pada spesies yang berada di sekitar lokasi keluaran. Jadi, konsentrat desalinasi ini merupakan limbah multi komponen dengan berbagai efek pada air, sedimen dan organisme laut. Keakutan dampak desalinasi, sebagian besar bergantung pada desain instalasi secara keseluruhan dan operasi, metode yang digunakan untuk pembuangan konsentrat, kondisi fisis dan biologis di sekitar instalasi.

Pada pembuangan konsentrat ke permukaan air laut, salinitas yang lebih besar akan mempunyai efek yang lebih besar terhadap komunitas bentos. Penipisan oksigen dalam aliran konsentrat dapat membinasakan organisme laut. Logam berat yang seringkali ada dalam jumlah kecil dalam aliran konsentrat, terjadi karena adanya korosi di permukaan bagian dalam alat. Karena adanya korosi maka aliran konsentrat dapat mengandung tembaga, besi, nikel, kromium dan zink, meskipun kandungannya sangat rendah. Logam berat tersebut cenderung terakumulasi di sedimen. Padahal sedimen merupakan tempat tinggal tumbuhan dan hewan yang ada di dasar laut. Antikerak seperti sodium hexameta fosfat yang ditambahkan ke air umpan untuk mencegah pembentukan kerak, mempunyai toksisitas yang rendah. Namun demikian senyawa tersebut mempunyai waktu tinggal yang lama di lingkungan tersebut, sehingga akan menyebabkan terjadinya akumulasi dan mempunyai risiko terhadap kehidupan laut. Sedangkan koagulan dan flokulan seperti feri klorida dan aluminium klorida yang digunakan untuk menghilangkan padatan tersuspensi dari air umpan, akan dikeluarkan ke laut sebagai hasil pencucian filter. Namun, meskipun tidak beracun, koagulan dan flokulan tersebut dapat meningkatkan kekeruhan di daerah sekitar keluaran. Kekeruhan dapat menghambat masuknya sinar untuk fotosintesis rumput laut. Detergen, oksidan dan *biocide* yang digunakan untuk disinfeksi, juga dapat membahayakan kehidupan laut.

Saat ini terdapat berbagai metode pembuangan konsentrat desalinasi selain pembuangan ke permukaan air laut yaitu pembuangan di instalasi pengolahan limbah, pembuangan menggunakan *land application* (aplikasi di atas permukaan tanah) untuk *spray* irigasi, pembuangan dengan injeksi sumur dalam, pembuangan ke kolam penguapan dan teknologi ZLD (*zero liquid discharge*). Studi ini bertujuan membandingkan berbagai opsi pembuangan konsentrat desalinasi, untuk menentukan kelebihan dan kekurangannya. Hasil studi diharapkan dapat memberi masukan untuk pengelolaan konsentrat desalinasi dalam kaitannya dengan penggunaan desalinasi nuklir di Indonesia, untuk pasokan air bersih di PLTN maupun untuk kebutuhan masyarakat.

2. PENGELOLAAN KONSENTRAT DESALINASI

2.1. Karakteristika Konsentrat

Konsentrat adalah produk samping desalinasi yang disebut *brine* dan merupakan zat cair, mempunyai konsentrasi lebih tinggi dari air umpan. Karakteristika konsentrat bergantung pada jenis teknologi desalinasi yang digunakan (Tabel 1) dan salinitas awal air

umpan. Pada umumnya, instalasi yang menggunakan membran dibanding instalasi distilasi, menghasilkan salinitas yang lebih tinggi dalam konsentratnya. Salinitas awal air umpan tergantung lokasi karena salinitas air umpan masing-masing lokasi berbeda-beda. Parameter kritis konsentrat adalah TDS (total padatan terlarut), temperatur dan densitas^[2], yang merupakan parameter-parameter fisika yang penting untuk kehidupan organisme di perairan laut dan payau. Kenaikan temperatur di atas kisaran toleransi organisme dapat meningkatkan laju metabolisme, seperti pertumbuhan, reproduksi dan aktivitas organisme. Kenaikan laju metabolisme dan aktivitas ini berbeda untuk tiap spesies. Salinitas merupakan jumlah gram garam yang terlarut dalam satu kilogram air laut, dan merupakan faktor pembatas bagi kehidupan organisme perairan. Garam yang dimaksud adalah berbagai ion yang terlarut dalam air, yang pada umumnya terdiri dari 7 ion utama yaitu : natrium (Na), kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg), klorit (Cl), sulfat (SO₄) dan bikarbonat (HCO₃). Densitas air laut naik sejalan dengan kenaikan salinitas dan penurunan temperatur^[3].

Konsentrat mengandung konstituent air umpan dan sejumlah bahan kimia yang digunakan selama proses maupun selama pengolahan awal di antaranya asam, antikerak, antibusa, klorin dan bahan deklorinasi, serta mengandung logam berat jika terjadi korosi.

Tabel 1. Karakteristika Konsentrat untuk Berbagai Teknologi Desalinasi^[2]

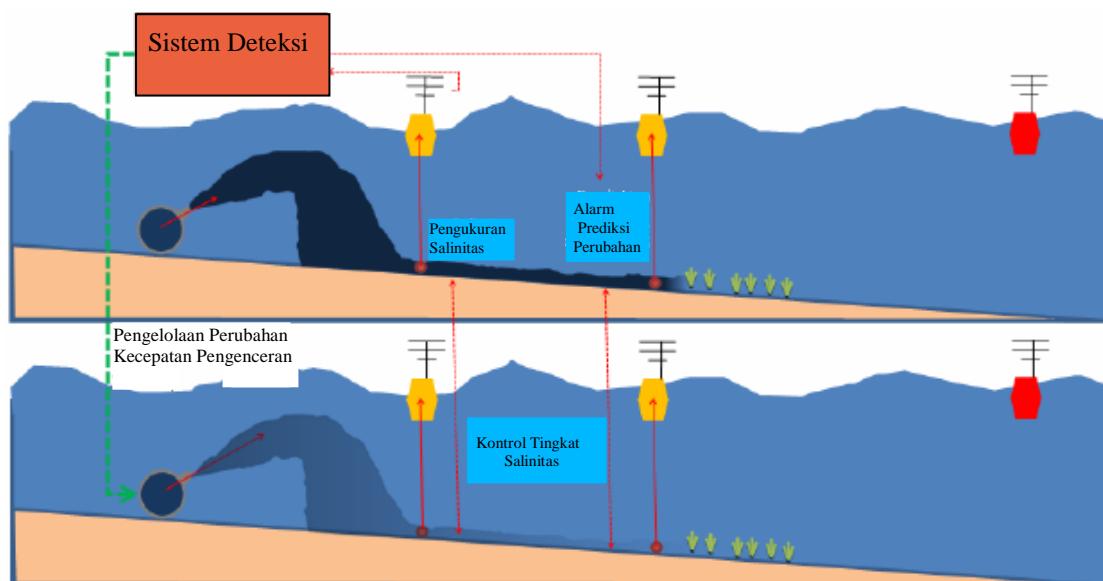
Parameter	RO Air Payau	RO Air Laut	MSF/MED
• Air Umpan	Air Payau	Air Laut	Air Laut
• <i>Recovery</i>	60-85%	30-50%	15-50%
• Suhu	Ambang	Ambang	15-50% di atas Ambang
• Pengenceran Konsentrat	Mungkin, Tidak khas	Mungkin, Tidak khas	Khas, dengan air pendingin
• Rasio Konsentrat	2,5-6,7	1,25-2,0	<1,15

2.2. Opsi Pembuangan Konsentrat

Pembuangan konsentrat adalah faktor penting untuk menjaga kelangsungan ekonomi instalasi desalinasi. Berdasarkan studi *Bureau of Reclamation* Amerika Serikat tahun 2000, metode yang digunakan untuk pembuangan konsentrat adalah sebagai berikut:: pembuangan ke permukaan 45%, pembuangan di instalasi pengolahan air limbah 42%, injeksi sumur dalam 9%, pembuangan menggunakan *land application* (aplikasi tanah) untuk spray irigasi 2%, kolam evaporasi 2% dan ZLD 0%^[4]. Faktor yang perlu dipertimbangkan untuk memilih opsi pembuangan yang paling baik meliputi kuantitas dan kualitas konsentrat, lokasi instalasi desalinasi, regulasi dan dampak terhadap lingkungan. Sedangkan faktor-faktor lain yang perlu dipertimbangkan adalah penerimaan masyarakat, biaya kapital dan operasi serta kemampuan perluasan instalasi di masa depan^[5].

Metode pembuangan ke permukaan air adalah metode paling umum dari pembuangan konsentrat dan dibatasi untuk instalasi yang ditempatkan dekat laut. Ketika konsentrat masuk ke air penerima, konsentrat tersebut akan meningkatkan salinitas ke air penerima tersebut. Radius akibat perubahan tersebut bervariasi. Lokasi pipa keluaran tergantung pengenceran alami dan terjadinya difusi. Ombak, air pasang, *bathymetry*, arus dan kedalaman air adalah faktor penting yang menentukan pengenceran alami dan pencampuran pada lokasi pembuangan konsentrat. Jika pengenceran alami tidak cukup untuk terjadinya difusi, maka instalasi desalinasi membutuhkan metode pengenceran buatan yang disebut *diffuser*. *Diffuser* merupakan metode sederhana, yaitu mencampur konsentrat dengan air pendingin, air umpan atau air lain dengan TDS lebih rendah sebelum dibuang. *Diffuser* adalah suatu semburan konsentrat pada daerah keluaran untuk

menghasilkan pencampuran maksimum. Faktor-faktor yang dipertimbangkan untuk pencampuran dengan semburan adalah perbedaan densitas antara konsentrat dan air penerima, momentum dan kecepatan air pada keluaran. Biasanya badan pembuat peraturan menetapkan daerah pencampuran di sekitar keluaran untuk mendeteksi salinitas air penerima. Gambar 1 memperlihatkan deteksi salinitas di laut. Alat deteksi ini secara kontinyu mendeteksi salinitas di lokasi *outfall* (keluaran) dan kondisi salinitas di dasar laut (dekat lokasi). Tanpa pencampuran yang sesuai, penambahan salinitas dapat meluas menjadi ratusan meter, melebihi daerah pencampuran dan akan membahayakan ekosistem daerah yang dilaluinya. Daerah pencampuran adalah jarak perjalanan penambahan salinitas sebelum kontak dengan dasar laut. Jika air salinitas tinggi kontak dengan dasar laut, beberapa risiko dapat terjadi pada bentos organisme laut yang tinggal di dasar laut. Peningkatan salinitas mengganggu ekosistem, menyebabkan dehidrasi dan menyebabkan kematian beberapa spesies. Namun, terdapat juga beberapa spesies yang toleran terhadap peningkatan salinitas. Suatu studi memperlihatkan bahwa *invertebrata* dengan *abdomen* panjang lebih sensitif terhadap salinitas tinggi dibanding invertebrata dengan *abdomen* pendek. Jika area berpopulasi tinggi, pembuangan di garis pantai dapat menimbulkan masalah, karena adanya gangguan daerah pencampuran ke area rekreasi pantai. Hal ini terutama terlihat ketika laut tenang dan terjadinya pengenceran alami sangat kecil. *Pretreatment* (pengolahan awal) sebelum pembuangan yang meliputi aerasi (penambahan oksigen ke konsentrat) dan degasifikasi untuk menghilangkan hidrogen sulfida, perlu dilakukan. Kebutuhan pengolahan khusus tergantung pada konsentrasi *additif* (penambahan bahan kimia) dan klorin yang ada di keluaran, dan diatur oleh badan pengawas. Penggunaan material yang tidak mudah terkorosi dapat membatasi adanya produk korosi dalam air.



Gambar 1. Deteksi Salinitas di Laut^[6]

Opsi untuk membuang konsentrat di instalasi pengolahan air limbah merupakan metode ke dua yang umum digunakan untuk pembuangan konsentrat. Ada dua jenis pembuangan di instalasi pengolahan air limbah yaitu pembuangan di awal (sebelum) dan di akhir pengolahan air limbah. Pada pembuangan di awal pengolahan air limbah, perhatian utama pada metode ini adalah jika volume konsentrat terlalu besar. Tingkat TDS yang tinggi dalam konsentrat yang dibuang ke instalasi ini, dapat mempunyai dampak yang signifikan

pada proses pengolahan biologis, yang kemungkinan mengganggu kinerja pengolahan. Instalasi pengolahan air limbah konvensional tidak mengurangi TDS. Kandungan TDS yang tinggi dari air limbah yang diolah akan menghasilkan suatu dampak terhadap lingkungan jika instalasi mengembalikan air yang diolah ke sistem air permukaan. Sedangkan pembuangan di akhir pengolahan air limbah dilakukan jika terdapat kerugian pembuangan di awal pengolahan. Metode ini dilakukan dengan mencampur konsentrat dengan air limbah yang telah diolah. Pencampuran konsentrat dengan TDS tinggi dan air limbah dengan TDS rendah, akan mengurangi beban instalasi pengolahan air limbah. Dibanding pembuangan di awal, metode pembuangan di akhir ini mempunyai kerugian yaitu diperlukannya pemipaan terpisah untuk aliran yang membawa konsentrat dan aliran pengolahan air limbah, padahal pada umumnya lokasi pengolahan air limbah cukup jauh, sehingga akan menambah biaya pemipaan.

Injeksi sumur dalam adalah metode pembuangan konsentrat dengan menginjeksikan konsentrat ke sumur bawah tanah. Lokasi yang baik adalah formasi geologi *subsurface* berpori dan mempunyai lapisan *impermeable* untuk mencegah migrasi ke atas. Untuk mencegah kontaminasi dengan sumber air minum, injeksi sumur harus dipisahkan dari *aquifer* yang ditujukan untuk air minum. Injeksi sumur ini mempunyai kisaran kedalaman yang bervariasi yaitu 0,2 mil (321,87m) sampai 1,6 mil (2574,95m) di bawah permukaan tanah, dan bergantung pada pertimbangan geologi di lokasi. Lokasi sumur harus terisolasi dari daerah sumber daya mineral seperti besi, batubara, minyak dan gas. Oleh karena itu, di beberapa lokasi, injeksi sumur dalam tidak layak karena kondisi geologi atau regulasi. Metode ini cocok untuk daerah pedalaman. Monitor sumur harus dipasang, dan operator harus mengecek monitor sumur untuk mendeteksi jika ada perubahan kualitas air tanah. Pada injeksi sumur juga harus dilakukan tes untuk kekuatan tekanan dan monitor kebocoran yang dapat mengkontaminasi *aquifer* yang berdekatan. Satu faktor yang paling penting adalah padatan tersuspensi dalam fluida, karena adanya padatan tersuspensi dapat menyebabkan penyumbatan. Penyumbatan juga dapat diakibatkan adanya *fouling* karena adanya karbon organik yang merupakan umpan bakteri. Pengukuran padatan tersuspensi diperlukan untuk menjamin kinerja tetap baik. Suatu pengukuran efek penyumbatan dan bahaya formasi bawah tanah pada kinerja injeksi sumur disebut injektivitas (I) dan didefinisikan sebagai^[7] :

$$I = \frac{q}{P_{wf} - P_r} \quad (1)$$

Dalam hubungan ini :

q : laju injeksi (m³/hari)

P_{wf} : tekanan aliran sumur (psi)

P_r : tekanan formasi rata-rata (psi)

Injektivitas dipengaruhi beberapa faktor, yang meliputi kualitas kimia dan fisika dari fluida injeksi, laju injeksi dan tekanan, dan juga sifat fisika lapisan bawah tanah.

Kolam penguapan merupakan metode pembuangan konsentrat untuk menguapkan air dari konsentrat, sehingga garam akan terakumulasi di dasar kolam dan selanjutnya garam ini dibuang ke *landfill*. Kolam penguapan ini relatif mudah dikonstruksi, perawatan lebih mudah dan perhatian operator lebih sedikit dibanding metode lain. Kolam-kolam tersebut telah digunakan untuk produksi garam, tetapi sekarang juga merupakan metode efektif untuk pembuangan konsentrat. Metode ini bergantung pada konsentrasi garam dan jenis garam yang ada dalam air. Faktor-faktor yang mempengaruhi laju penguapan di

antaranya iklim (suhu, kelembaban dan angin) dan sifat-sifat konsentrat (konsentrasi, komposisi dan laju alir). Semakin besar salinitas maka laju penguapan semakin rendah. Komposisi (jenis) garam terlarut mempunyai dampak pada kelembaban, sebagai contoh jika air jenuh dengan NaCl, tidak akan terjadi penguapan jika kelembaban di atas 70%. Kolam penguapan digunakan di daerah dengan curah hujan rendah, mempunyai kondisi cuaca panas dengan laju penguapan relatif tinggi. Ukuran kolam penguapan tergantung pada laju penguapan di daerah tersebut. Semua kolam penguapan mempunyai lapisan (polietilen atau polimer lain) untuk mencegah kebocoran air garam ke *aquifer* air tanah. Pelapisan harus dilakukan dengan hati-hati untuk mencegah terjadinya kebocoran. Total area yang diperlukan untuk kolam penguapan meliputi area penguapan dan juga area tanggul dan batas pinggir kolam, dan diperlihatkan dengan persamaan sebagai berikut^[8] :

$$A_t = (1.2A_e) \times \frac{1 + 0.155dh}{\sqrt{A_e}} \quad (2)$$

Dalam hubungan ini :

A_t = Total area yang diperlukan (acres)

A_e = Area penguapan (acres)

dh = Ketinggian tanggul (ft)

Metode pembuangan konsentrat dengan pemanfaatan di atas permukaan tanah adalah untuk irigasi tanaman pertanian atau perkebunan. Metode ini mempunyai keuntungan yaitu penggunaan konsentrat untuk irigasi tanaman yang toleran terhadap garam seperti barley, palm, kelapa, rumput (*salt grass*) dan tumbuhan jenis *halophytic* (tanaman yang toleran terhadap tingginya salinitas karena kemampuannya menyerap air dengan mempertahankan potensi osmotik yang tinggi melalui akumulasi ion-ion anorganik) seperti paku laut. Namun, air irigasi yang mengandung garam, hanya bisa aman digunakan di daerah yang memiliki drainase yang baik, tekstur tanah kasar dan permukaan air tanah rendah. Efek merugikan air garam tidak terjadi di daerah dengan curah hujan tinggi. Kemungkinan penggunaan untuk irigasi ini tergantung pada ketersediaan, jenis, kondisi dan harga tanah, iklim, jenis tanaman yang toleran terhadap garam, kecepatan *percolation* (perembesan) dan lokasi permukaan air tanah. Kesulitan utama dari opsi ini adalah keluaran konsentrat harus memenuhi regulasi proteksi air tanah dan klasifikasi penggunaan air tanah. Jadi, sebelum dibuang, biasanya pengenceran konsentrat diperlukan untuk terpenuhinya standar kualitas air tanah dan untuk proteksi terhadap *aquifer* air minum. Volume air pengencer yang diperlukan dapat mencapai beberapa kali lebih besar dari konsentrat.

Metode pembuangan konsentrat terakhir adalah ZLD (*zero liquid discharge*). Metode ini merupakan suatu proses untuk mengkonversi konsentrat cair menjadi padatan kering menggunakan *evaporator* dan *crystallizer* atau *spray dryer*. ZLD dapat merupakan opsi pembuangan untuk daerah-daerah di mana pembuangan di permukaan air, pembuangan di instalasi pengolahan air limbah, pembuangan dengan pemanfaatan di atas tanah dan injeksi sumur dalam, tidak layak. Limbah padat yang dihasilkan dari proses ZLD dapat dibuang ke *landfill*, namun *landfill* tersebut harus di desain dengan tepat karena desain yang tidak tepat dapat menciptakan masalah *leaching* kimia menuju air tanah. Penggunaan ZLD dapat mengurangi potensi dampak dari konsentrat desalinasi ke lingkungan. Namun penggunaan ZLD ini, biayanya lebih besar dari instalasi desalinasi yang menggunakan membran, baik dari biaya kapital maupun biaya operasi, sehingga opsi pembuangan ini tidak dimungkinkan, kecuali untuk instalasi yang sangat kecil. Dalam keadaan tertentu, sebagai

pengganti proses konsentrat menjadi padatan (yang melalui *evaporator* dan *crystallizer* atau *spray dryer*) brine dengan konsentrasi tinggi dapat di alirkan ke kolam penguapan. Ini akan menghasilkan biaya yang lebih rendah.

3. PEMBAHASAN

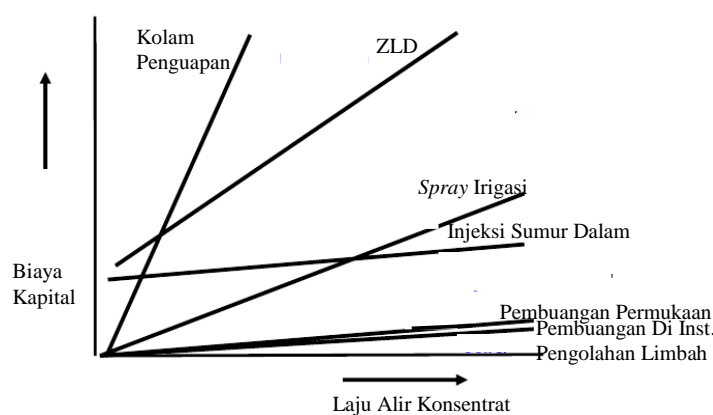
Dampak lingkungan pada desalinasi merupakan salah satu faktor dalam implementasi teknologi desalinasi. Metode pembuangan konsentrat desalinasi yang tidak tepat, selain dapat berdampak pada kehidupan air penerima juga dapat menimbulkan masalah polusi sumber air tanah karena adanya kandungan garam yang tinggi dan bahan kimia yang berbahaya. Suatu instalasi desalinasi yang diterima, diharapkan memenuhi regulasi lingkungan. Pembuangan konsentrat desalinasi ini dapat dilakukan dengan berbagai cara, diantaranya pembuangan ke permukaan air. Seperti telah disebutkan sebelumnya, pembuangan permukaan adalah suatu bentuk pengenceran konsentrat, yaitu dengan mencampur konsentrat dengan air pendingin, air umpan atau air lain dengan TDS yang lebih rendah dari konsentrat dan selanjutnya di buang langsung ke air penerima. Gas terlarut dan kekurangan oksigen harus menjadi perhatian pembuangan konsentrat. Saat ini, pembuangan permukaan merupakan metode yang paling mudah dan merupakan opsi yang murah. Biaya pembuangan konsentrat ke laut bervariasi tergantung lokasi. Faktor yang menentukan biaya dengan metode ini adalah biaya pengangkutan (pemipaan), biaya konstruksi *outfall* dan operasi, serta biaya pemantauan terhadap lingkungan. Biaya pengangkutan ini berkaitan dengan volume konsentrat dan jarak antara instalasi desalinasi dengan *outfall*. Biaya konstruksi *outfall* tergantung lokasi. Biaya operasi berkaitan dengan aerasi konsentrat sebelum di buang atau pengolahan lain jika konsentrat mengandung bahan beracun. Metode pembuangan ini digunakan tanpa memperhatikan ukuran instalasi. Meskipun pembuangan permukaan adalah metode umum untuk membuang konsentrat desalinasi, namun metode ini akan menjadi tidak efektif untuk instalasi desalinasi yang berada di daerah pedalaman, karena tidak efisiennya biaya untuk transport konsentrat dari daerah pedalaman ke laut. Hal ini karena *brine* sangat korosif, sehingga pemipaan dan truk tangki harus dilapisi dengan lapisan pelindung khusus, sehingga menyebabkan persyaratan dan biaya transportasi menjadi lebih mahal. Selain korosif, konsentrat juga mengandung bahan kimia yang digunakan selama pengolahan awal.

Pembuangan ke instalasi pengolahan air limbah tergantung pada kemampuan instalasi pengolahan air limbah menerima air dengan salinitas tinggi dalam hal kapasitas dan kualitas. Metode ini menurunkan BOD (*Biological Oxygen Demand*) sehingga menurunkan tingkat pencemaran, namun akan meningkatkan TDS, karena keluaran air limbah seringkali dikembalikan sistem air permukaan. Pembuangan ke instalasi pengolahan air limbah ini jarang digunakan untuk instalasi desalinasi dengan ukuran besar (6-15 MGD), karena dampak salinitas yang lebih besar akan memberi efek pada komponen biologis instalasi pengolahan air limbah. Semakin tinggi salinitas, DO (*Dissolved Oxygen*) akan semakin rendah. Oleh karena itu, metode pembuangan ini biasanya digunakan untuk instalasi yang kecil (0,15-1 MGD) dan medium (1-6 MGD) dengan laju alir yang rendah. Kondisi pembuangan ke instalasi limbah ini sangat spesifik lokasi, dan faktor yang menentukan biaya adalah biaya pengangkutan (pemompaan dan perpipaan), ongkos koneksi ke instalasi pengolahan dan ongkos pengolahan konsentrat di instalasi pengolahan limbah. Biaya pengangkutan berkaitan dengan kapasitas fasilitas pengolah limbah dan efek pengeluaran konsentrat pada biaya operasi pengolahan air limbah. Biaya koneksi tergantung pada tersedianya utilitas untuk konsentrat dan karakteristik konsentrat yang dikeluarkan seperti TDS dan kandungan logam berat. Metode ini merupakan pembuangan dengan biaya yang rendah.

Opsi injeksi sumur dalam, memerlukan kajian dampak lingkungan untuk menjamin bahwa konsentrat tidak akan berefek negatif terhadap air tanah. Penggunaan metode injeksi sumur dalam ini terhalangi oleh harga yang mahal, karena memerlukan pemipaan yang panjang. Metode ini juga mempunyai masalah seperti kemungkinan terjadi korosi di casing sumur. Aktivitas seismik dapat menyebabkan bahaya ke sumur dan menghasilkan kontaminasi air tanah, oleh karena itu metode ini cocok untuk lokasi dengan potensi seismik rendah. Injeksi sumur dalam ini jarang digunakan untuk instalasi kecil dan lebih sering untuk instalasi yang lebih besar. Faktor yang mempengaruhi biaya adalah :

1. Kedalaman sumur, diameter dinding *tube* dan casing.
2. Kebutuhan pengolahan awal konsentrat sebelum pembuangan.
3. Ukuran pompa dan tekanan yang bervariasi, tergantung pada kondisi geologi dan kedalaman daerah injeksi.
4. Penyiapan lokasi, mobilisasi dan demobilisasi.

Seperti disebutkan, semakin besar salinitas maka laju penguapan semakin rendah. Adanya garam terlarut dalam air menghasilkan tekanan uap jenuh lebih rendah karena penurunan potensial kimia dari air dan selanjutnya laju penguapan menjadi lebih rendah. Dengan penurunan laju penguapan, maka akan dibutuhkan kolam dengan luas yang lebih besar, sehingga biaya kapital lebih mahal. Pada operasi kolam penguapan, biaya operasi dan perawatan adalah minimal, namun biaya kapital paling maksimal di antara berbagai opsi seperti terlihat dalam Gambar 3. Metode ini memerlukan luas tanah yang besar. Biaya pada opsi ini dipengaruhi oleh laju penguapan (iklim), volume konsentrat, tanah dan biaya pengelolannya, biaya pelapisan dan salinitas konsentrat. Kolam yang lebih besar akan memerlukan biaya kapital yang lebih besar, karena penambahan persyaratan tanah dan sistem pelapisan lebih mahal. Jadi, semakin tinggi aliran konsentrat, biaya kapital semakin besar. Penguapan air dari kolam seringkali kehilangan sumber penguapan, jika cuaca tidak memungkinkan. Monitoring lingkungan harus dilakukan dengan hati-hati untuk memantau adanya potensi kebocoran kolam. Teknologi ini dibatasi untuk instalasi desalinasi yang relatif kecil yaitu kurang dari 5 MGD.



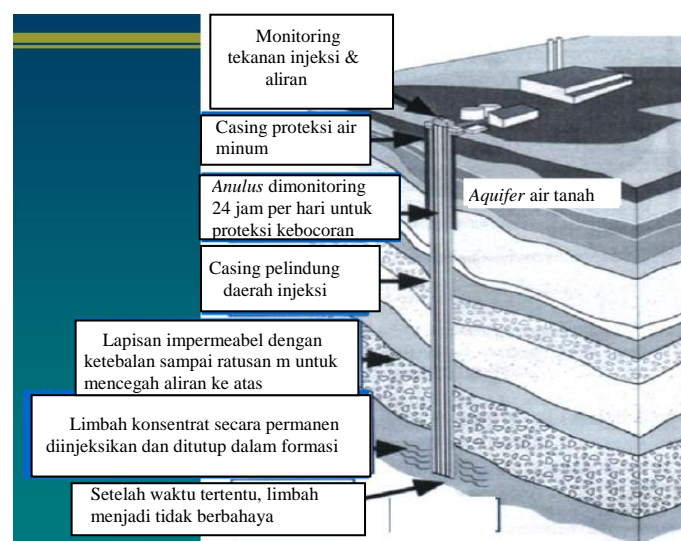
Gambar 3. Biaya Kapital Berbagai Opsi Pembuangan Konsentrat^[5]

Pembuangan dengan pemanfaatan di atas permukaan tanah untuk irigasi, sebagaimana injeksi sumur dalam dan kolam penguapan dibatasi aspek geografi yaitu persyaratan hidrogeologi dan cuaca. Opsi ini seringkali juga dibatasi ketersediaan tanah dan pengenceran air. Metode ini dimungkinkan jika konsentrat memenuhi batasan kesesuaian kualitas air tanah dan tingkat kecocokan untuk irigasi. Faktor yang mempengaruhi biaya pada metode ini adalah biaya tanah, biaya sistem penyimpanan dan distribusi, biaya

pengenceran air serta biaya instalasi sistem irigasi. Irigasi *spray* digunakan untuk instalasi yang kecil karena adanya persyaratan tanah dan biaya tanah yang tinggi.

Metode ZLD merupakan suatu konsep yang bertujuan untuk melindungi air permukaan dan air tanah dari pencemaran. Metode ini digunakan jika terdapat intrusi air laut yang mengakibatkan kualitas air tanah menurun sampai menyebabkan efek lingkungan lain seperti pada pertanian. Pada aplikasi ZLD, diperlukan peralatan seperti *evaporator* dan *crystallizer*, serta energi, sehingga biaya kapital dan biaya operasi sangat tinggi. Teknologi ZLD merupakan pengelolaan konsentrat yang lebih menjanjikan, sehingga dapat meningkatkan pasar desalinasi untuk lokasi di mana tidak mungkin untuk membuang konsentrat ke laut. Namun demikian, meskipun metode ini sangat praktis diaplikasikan, sampai tahun 2002, berdasar survei *Bureau of Reclamation* Amerika Serikat, metode ini belum digunakan untuk pembuangan konsentrat desalinasi.

Sebagai studi kasus, untuk PLTN yang direncanakan di Ujung Lemah Abang Jepara, penggunaan kolam penguapan tidak dimungkinkan karena daerah calon lokasi PLTN mempunyai curah hujan yang berlimpah di musim hujan dan beberapa hujan juga turun di musim kemarau. Curah hujan tahunan sekitar 2800-3800 mm/tahun dan laju penguapan 1.200 mm/tahun^[9]. Selain itu kolam penguapan menimbulkan bau, membahayakan margasatwa dan terdapat resiko rembesan ke air tanah. Pemanfaatan di atas permukaan tanah untuk irigasi juga tidak menjadi pilihan karena di sekitar lokasi tersebut selain terdapat perkebunan kelapa, juga terdapat perkebunan coklat, karet dan pohon jati, yang tidak toleran terhadap air yang mengandung garam. Meskipun bukan merupakan daerah dengan potensi seismik, tetapi jika melihat geologi lokasi ULA yang terdiri dari lapisan tanah subur (ketebalan 3-5m), tufa atas (ketebalan sekitar 15m), batu pasir vulkanik (ketebalan 50m), tufa bawah (ketebalan 20m) dan lapisan terakhir adalah batu pasir gampingan^[10], maka dari aspek keselamatan, penggunaan injeksi sumur dalam tidak dimungkinkan untuk digunakan. Hal ini dikarenakan sampai kedalaman yang disyaratkan yaitu 321,87m, lokasi ULA tidak mempunyai lapisan impermeabel (tanah liat) untuk mencegah migrasi ke atas. Gambar 4 memperlihatkan aspek keselamatan dari injeksi sumur dalam. Pembuangan di instalasi pengolahan air limbah tidak dimungkinkan meskipun biaya lebih murah dibanding pembuangan permukaan. Hal ini karena kandungan TDS yang tinggi dari air limbah yang diolah dapat mengganggu kinerja pengolahan dan dapat menghasilkan dampak terhadap lingkungan jika instalasi mengembalikan air yang diolah ke sistem air permukaan.



Gambar 4. Aspek Keselamatan Injeksi Sumur Dalam^[11]

Dilihat dari segi kualitas air laut yang mempunyai TDS cukup tinggi 28.700 ppm^[12], dan dapat diperkirakan TDS konsentrat mencapai 57.400 ppm dengan jumlah sekitar 2750 m³/hari, serta calon lokasi PLTN dekat dengan laut, maka untuk PLTN yang direncanakan di Ujung Lemah Abang Jepara, pembuangan ke permukaan laut lebih menjadi pilihan. Metode ini selain biayanya lebih murah, dampak terhadap lingkungan yang berupa risiko ekologi dapat diatasi dengan mencampur konsentrat dengan air pendingin keluaran kondensor sebelum dibuang. Pengenceran alami untuk terjadinya difusi adalah dimungkinkan karena adanya gelombang yang cukup tinggi yang terjadi baik di musim hujan dan musim kemarau yang bisa mencapai 5,3 m dan juga adanya kecepatan arus pada musim kemarau 4-12 cm/det saat pasang purnama, 1-36cm/detik pada musim hujan saat pasang perbani. Meskipun demikian, *diffuser* perlu disediakan jika tidak ada pengenceran alami. Tingkat DO dinaikkan sesuai standar lingkungan dan dilakukan aerasi sebelum konsentrat dibuang. Jika mengandung bahan beracun dan hidrogen sulfida, maka perlu dilakukan pengolahan sebelum dibuang. Jumlah air produk desalinasi untuk pengoperasian 1 unit PLTN dengan daya 1000 MWe adalah sekitar 2750 m³/hari, sehingga instalasi ini termasuk ukuran kecil (0,15-1 MGD, 1 MGD = 3784,32 m³/hari). Jika melihat dari segi kuantitas, penggunaan ZLD tidak menjadi pilihan karena biaya kapital dan operasi mahal.

4. KESIMPULAN

Instalasi desalinasi menghasilkan produk air bersih dan konsentrat yang merupakan limbah, dan dapat berdampak terhadap lingkungan jika pembuangannya tidak tepat. Di antara berbagai opsi pembuangan konsentrat, pembuangan permukaan merupakan metode yang paling mudah untuk berbagai ukuran instalasi dan biayanya murah dibanding pembuangan yang lain. Risiko ekologi dapat diatasi dengan pengelolaan yang tepat. Pembuangan ke instalasi pengolahan air limbah meskipun biaya murah dan cocok untuk instalasi kecil/medium, namun adanya TDS yang tinggi dapat mengganggu kinerja pengolahan air limbah. Sedangkan injeksi sumur dalam biayanya mahal dan dapat terjadi korosi & penyumbatan. Metode ini, sesuai untuk daerah pedalaman dengan ukuran instalasi besar. Kolam penguapan meskipun mudah dibangun dan perawatan mudah, namun diperlukan tanah luas dan pelapisan yang mahal. Metode ini menimbulkan bau dan membahayakan margasatwa serta rembesan dapat berisiko ke air tanah. Pemanfaatan di atas permukaan tanah untuk irigasi tanaman harus memenuhi batasan tingkat kecocokan untuk irigasi, biayanya tinggi dan sesuai untuk instalasi yang kecil. Teknologi *zero liquid discharge* (ZLD) cocok untuk instalasi yang sangat kecil, tidak ada batasan aspek geografi dan potensi dampak lingkungan paling rendah. Metode ini biayanya mahal dan dapat terjadi *leaching* kimia menuju air tanah jika desain *landfill* tidak tepat. Hasil studi kasus yang telah dilakukan di wilayah Semenanjung Muria memperlihatkan bahwa pembuangan permukaan dapat menjadi pilihan yang baik sebagai metode pembuangan konsentrat untuk instalasi desalinasi yang dikopel dengan PLTN jenis PWR, dilihat dari segi biaya. Dampak terhadap lingkungan dapat diatasi dengan difusi, aerasi dan pengolahan sebelum dibuang .

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. HON JJ SNELLING, "Desalination", Sixty Fourth Report of The Environment, Resources and Development Committee, Port Bonython, 5 August 2009.
- [2]. TAMIM YOUNOS, "Environmental Issues of Desalination", Universities Council on Water Resources Journal of Contemporary Water Research & Education Issue 132, December 2005 .

- [3]. HARYONO SETIYO HUBOYO, BADRUS ZAMAN, "Analisis Sebaran Temperatur Dan Salinitas Air Limbah PLTU-PLTGU Berdasarkan Sistem Pemetaan Spasial (Studi Kasus: PLTU- PLTGU Tambak Lorok Semarang), Jurnal Presipitasi Vol. 3 No.2, ISSN 1907-187X , September 2007.
- [4]. ANONIM, "Desalination for Safe Water Supply" Guidance for the Health and Environmental Aspects Applicable to Desalination, Public Health and the Environment World Health Organization, Geneva 2007.
- [5]. MIKE MICKLEY, P.E., PH.D.1 , "Review of Concentrate Management Options", <http://www.twdb.state.tx.us/iwt/desal/docs/...%20Volume%202/.../C9.pdf>, diakses April 2010.
- [6]. HERNANDEZ, A.B., et.al., "Monitoring and Decision Support Systems for Impact Minimization of Desalination Plant Outfall in Marine Ecosystems", Conference on Desalination for the Environment-Clean Water and Energy Baden, 17-20 May, 2009.
- [7]. JULIUS GLATER and YORAM COHEN, "Brine Disposal from Land Based Membrane Desalination Plants: a Critical Assessment", Prepared for the Metropolitan Water District of Southern California, July 24, 2003.
- [8]. ROBIN A. FOLDAGER , "Economics of Desalination Concentrate Disposal Methods in Inland Regions: Deep-Well Injection, Evaporation Ponds, and Salinity Gradient Solar Ponds, "A Thesis Submitted to The University Honors Program in Partial Fulfillment of The Requirements for Graduation with University Honors, New Mexico State University Las Cruces, 2003 .
- [9]. PPEN-BATAN, Bid Invitation Specification (BIS) of The First Nuclear Power Plant at Peninsula Region Central Java, Vol. 6.3, BATAN, 2006.
- [10]. NEWJEC INS., "Feasibility Study for Nuclear Power Plants in The Muria Peninsula" , November 1996.
- [11]. VLADISLAV BRKIC, "Waste Disposal By Deep Well Injection", Exploration and Production Environmental Conference, San Antonio, USA, 2003.
- [12]. ARIYANTO SUDI, ALIMAH SITI, "Economy Aspect for Nuclear Desalination Selection in Muria Peninsula Using 1000 MWe PWR", International Conference on Opportunities and Challenges fo Water Cooled Reactors in the 21st Century, Vienna, Austria, IAEA, 27- 30 October 2009.