

EFEKTIVITAS RESIN PENUKAR KATION UNTUK MENURUNKAN KADAR *TOTAL DISSOLVED SOLID (TDS)* DALAM LIMBAH AIR TERPRODUKSI INDUSTRI MIGAS

Tri Partuti^{1*}

¹Jurusan Teknik Metalurgi, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

*Email: tri.partuti@ft-untirta.ac.id

Abstrak

Air terproduksi adalah air (brine) yang dibawa ke atas dari strata yang mengandung hidrokarbon selama kegiatan pengambilan minyak dan gas bumi atau uap air bagi kegiatan panas bumi termasuk didalamnya air formasi, air injeksi dan bahan kimia yang ditambahkan untuk pengeboran atau untuk proses pemisahan minyak atau air. Air terproduksi ini dapat mencemari lingkungan apabila tidak ditangani dengan baik. Karakteristik limbah air terproduksi yang berasal dari daerah Minas, Riau memiliki pH netral, konduktivitas 12 mS/cm, salinitas 0,7 % dan konsentrasi TDS 5.420 ppm. Penurunan konsentrasi TDS dalam limbah air terproduksi telah dilakukan dengan memvariasikan kondisi limbah air terproduksi, yaitu konsentrasi TDS (2.000, 3.000, 4.000 dan 5.000 ppm) serta pH larutan (4, 7 dan 12) dengan menggunakan metode proses pertukaran kation menggunakan resin penukar kation asam kuat (HCR-S), sistem kolom dan laju alir 10 ml/menit. Pengukuran pH, konduktivitas dan salinitas dilakukan dengan menggunakan water quality checker Horiba U-10, sedangkan untuk pengukuran TDS menggunakan metode gravimetri. Pengukuran pH, konduktivitas dan salinitas dilakukan untuk menentukan waktu jenuh resin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi TDS dalam limbah air terproduksi, semakin cepat proses pertukaran kation terjadi dan semakin cepat resin menjadi jenuh. Resin penukar kation efektif digunakan untuk menurunkan konsentrasi TDS < 5.000 ppm hingga mencapai 70 - 97%. Untuk kondisi pH larutan limbah air terproduksi, proses pertukaran kation lebih efektif terjadi pada pH = 7 dibandingkan pH yang bersifat asam (pH = 4) dan basa (pH = 12).

Kata kunci : Limbah Air Terproduksi, Total Dissolved Solid (TDS), Resin Penukar Kation

Abstract

Produced water is water (brine) are brought to the top of the strata containing hydrocarbons during extraction of oil and gas or steam for geothermal activities including formation of water, injection of water and chemicals are added to drilling or for the separation of oil or water. The produced water can pollute the environment if it is not handled properly. Characteristics of waste produced water from Minas area, Riau has a neutral pH, conductivity of 12 mS / cm, salinity of 0.7% and TDS concentration of 5.420 ppm. TDS concentration reduction in waste produced water has been carried out by varying the conditions of waste produced water, the concentration of TDS (2,000, 3,000, 4,000 and 5,000 ppm) and pH (4, 7 and 12) by using cation exchange process using acid cation exchange resin strong (HCR-S), and the column system flow rate of 10 ml / min. Measurement of pH, conductivity and salinity was done using water quality checker Horiba U-10, whereas for TDS measurements using the gravimetric method. Measurement of pH, conductivity and salinity was conducted to determine the time of saturated resin. The results showed that the higher the concentration of TDS in the effluent produced water, the faster the cation exchange process was occurred and the faster resin became saturated. The effective cation exchange resin was used to reduce the concentration of TDS <5,000 ppm up to 70-97%. For the pH of waste produced water, the process was more effective cation exchange occurs at pH = 7 than acidic pH (pH = 4) and alkaline (pH = 12).

Keywords : Waste of Produced Water, Total Dissolved Solid (TDS), Cation Exchange Resins

1. PENDAHULUAN

Salah satu hasil dari kegiatan industri minyak dan gas (migas) yang berpotensi menimbulkan pencemaran dan kerusakan lingkungan adalah air terproduksi. Air terproduksi merupakan air produk sampingan yang terbawa ke atas pada saat pengambilan minyak dan gas bumi, termasuk didalamnya air formasi, air injeksi dan bahan kimia yang ditambahkan untuk pengeboran atau untuk proses pemisahan minyak atau air. Volume air terproduksi dapat mencapai sekitar 80% dari total volume limbah yang dihasilkan oleh industri migas dengan kondisi pH yang bervariasi (Hayes, 2010).

Padatan terlarut total (*Total Dissolved Solid, TDS*) yang terkandung dalam air terproduksi berkisar antara 3.000 – 300.000 ppm, yang didominasi oleh ion-ion natrium dan klorida. Untuk kegiatan industri migas di *on-shore* (darat), air terproduksi dengan konsentrasi TDS tinggi jika dibuang langsung ke sungai dapat menimbulkan masalah bagi kehidupan hewan dan tumbuhan disekitarnya dan juga dapat menimbulkan korosi pada pipa-pipa logam yang ada. Berdasarkan PP No. 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air disebutkan bahwa konsentrasi residu terlarut (TDS) yang diijinkan adalah 1.000 ppm.

Berbagai teknologi digunakan untuk mengolah air limbah yang mengandung konsentrasi TDS yang tinggi, diantaranya dengan cara penyulingan (destilasi), osmosis balik, pembekuan (*freezing process*), elektrodialisis dan pertukaran ion (Mielke, 1999). Proses pertukaran ion tidak membutuhkan energi yang besar karena sederhana dalam desain dan pengoperasiannya. Pertukaran ion dengan menggunakan resin sintesis memiliki beberapa keunggulan diantaranya kecepatan pertukaran yang lebih cepat dibandingkan dengan bahan alam seperti zeolit, tahan lama, tidak mudah rusak oleh tekanan serta pengaruh asam dan basa, serta memiliki kapasitas pertukaran yang tinggi. Pertukaran ion dapat dilakukan dengan sistem batch, semi-batch ataupun kolom (Ruthven, 1997). Keuntungan menggunakan sistem kolom diantaranya resin yang dibutuhkan sedikit, efisiensi regenerasinya tinggi sehingga hanya membutuhkan sedikit regenerasi dan lahan yang dibutuhkan tidak luas (Simon, 1991).

Beberapa kriteria yang harus dipenuhi oleh resin yang akan digunakan sebagai penukar ion antara

resin harus cukup terangkai silang sehingga keterlarutannya dapat diabaikan, bersifat hidrofilik untuk memungkinkan difusi ion-ion melalui strukturnya, memiliki banyak gugus penukar ion agar berkapasitas penukar yang besar, stabil secara kimiawi agar tidak mudah rusak, kerapatan resin yang mengembang harus lebih besar daripada air agar dapat mengendap di dasar kolom (Pudjaatmaka, et.al., 1994).

Penelitian ion natrium yang dapat ditukarkan dengan ion hidrogen yang berasal dari resin penukar kation dengan sistem batch telah dilakukan oleh Aulia (2002). Pada penelitian ini dilakukan proses pertukaran ion dengan menggunakan resin penukar kation untuk menurunkan konsentrasi TDS dalam limbah air terproduksi dengan sistem kolom, sehingga air keluaran dari proses pertukaran kation aman dibuang ke lingkungan sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan. Penelitian penurunan konsentrasi TDS dan konduktivitas pada air pendingin primer reaktor dengan menggunakan resin penukar ion juga telah dilakukan oleh Lestari, dkk (2006). Penggantian resin penukar ion setelah mengalami kejenuhan akan sangat mempengaruhi kualitas air pendingin primer menjadi lebih baik, dimana konduktivitas air menjadi lebih kecil, pH air mendekati air murni serta konsentrasi TDS menjadi lebih rendah dari batas maksimal yang ditentukan. Variasi perbandingan resin kation dan anion terhadap penurunan konsentrasi TDS dan konduktivitas telah diteliti oleh Maulana dan Widodo, dimana untuk perbandingan resin kation dan anion 4:6 menghasilkan konduktivitas air produk yang rendah.

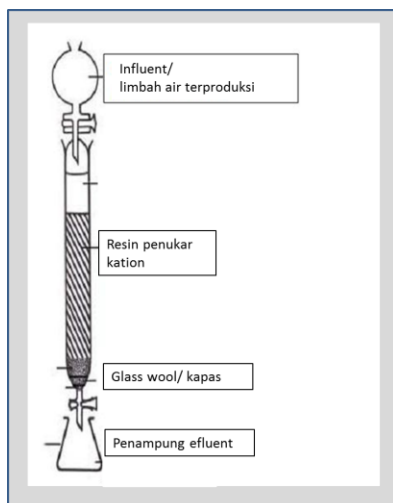
2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Persiapan Resin dan Kolom

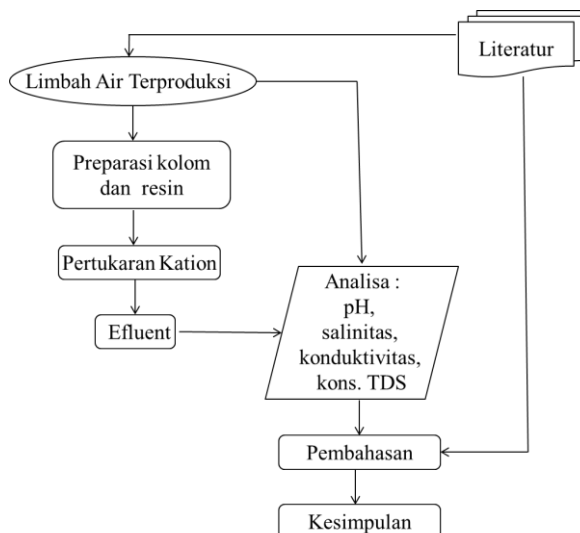
Resin yang digunakan adalah resin penukar kation asam kuat (HCR-S), dimasukkan ke dalam kolom ukuran tinggi 25 cm dan diameter 2,5 cm. Kolom dirangkai seperti pada Gambar 1. Sebelum dimasukkan ke dalam kolom, resin mengalami pengembangan (*swelling*).

Pengembangan resin dilakukan dengan merendam 35,5 ml resin penukar kation kering dalam *deionized water* selama 1 jam. Persentase pengembangan resin dapat dihitung dengan persamaan (1) berikut :

$$\% \text{ swelling} = \frac{(\text{volume resin sesudah 1 jam} - \text{volume resin mula - mula}) \times 100}{\text{volume resin mula - mula}} \dots (1)$$



Gambar 1. Rangkaian kolom penukar ion



Gambar 2. Diagram alir penelitian

2.2 Karakterisasi Limbah Air Terproduksi dan Analisa Konsentrasi TDS

Karakterisasi limbah air terproduksi yang diperoleh dari daerah Minas, Riau dilakukan menggunakan beberapa parameter, seperti pH, konduktivitas, salinitas dan konsentrasi TDS. Pengukuran pH, konduktivitas dan salinitas menggunakan alat *water quality checker* Horiba U-10 selama proses pertukaran ion berlangsung. Adapun variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah variasi konsentrasi TDS (2.000, 3.000, 4.000 dan 5.000 ppm) serta pH limbah air terproduksi (4, 7 dan 12). Laju alir sampel yang keluar kolom diatur 10 ml/menit. Sampel yang masuk (*influent*) dan keluar (*effluent*) kolom diukur konsentrasi pH, salinitas, konduktivitas serta TDS-nya. Untuk analisa pengaruh pH, banyaknya ion H⁺ dalam efluen dinyatakan dengan meq ion H⁺ menggunakan persamaan (2) berikut ini :

$$\text{meq H}^+ = \text{antilog} (-\text{pH}_{\text{effluent}}) \dots (2)$$

Jika konsentrasi *influent* dan *effluent* sudah sama, maka proses pertukaran ion dihentikan. Diagram alir penelitian terlihat pada Gambar 2. Pengukuran konsentrasi TDS dilakukan dengan menggunakan metode gravimetri. Sampel limbah air terproduksi disaring dan diambil sebanyak 10 ml, dimasukkan ke dalam cawan penguap, kemudian dipanaskan pada temperatur 105 °C hingga sampel menguap sempurna. Cawan kemudian didinginkan dalam desikator, kemudian ditimbang. Perhitungan konsentrasi TDS dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (3). Besarnya persentase penurunan konsentrasi TDS pada setiap efluent fraksi ke-n dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (4).

$$\text{konsentrasi TDS (ppm)} = \frac{b - a \text{ (mg)}}{V_{\text{larutan}} \text{ (ml)}} \times 1000 \left(\frac{\text{ml}}{\text{l}}\right) \dots (3)$$

Dimana : a = berat cawan kosong,
 b = berat cawan + sampel,
 V_{larutan} = volume sampel (10 ml).

$$\% \text{ penurunan TDS} = \frac{\text{kons. TDS}_{\text{influent}} - \text{kons. TDS}_{\text{effluent fraksi ke-n}}}{\text{kons. TDS}_{\text{influent}}} \times 100 \dots (4)$$

2.3 Regenerasi Resin Penukar Ion

Proses regenerasi resin penukar kation dilakukan dengan mengalirkan HCl 4% dari atas kolom melewati resin dengan laju alir yang sama pada percobaan. Larutan HCl 4% dibuat dengan mengencerkan 125 ml

HCl teknis dengan *deionized water* hingga tepat 1000 ml. Regenerasi dilakukan hingga konsentrasi *influent* samadengan *effluent*, dan selanjutnya dibilas dengan *deionized water* untuk menghilangkan sisa regeneran yang masih tertinggal di kolom.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Persiapan Resin dan Kolom

Pengembangan resin perlu dilakukan untuk menghilangkan udara yang terperangkap diantara manik-manik resin, sehingga proses adsorpsi ion berlangsung dengan sempurna. Sebanyak 35,5 ml resin penukar kation kering direndam dalam *deionized water* selama 1 jam. Setelah direndam selama 1 jam, maka volume resin akan bertambah menjadi 50 ml. Dengan menggunakan persamaan (1), maka dapat dihitung persentase pengembangan resin penukar kation yaitu sebesar 40,85 %.

3.2 Karakterisasi Limbah Air Terproduksi dan Analisa Penurunan Konsentrasi TDS

Secara alamiah, kandungan kimiawi di dalam air terproduksi akan berbeda-beda dari masing-masing lapangan, namun dibeberapa tempat air terproduksi akan mengandung senyawa kimia seperti minyak yang belum terpisahkan dari air, logam berat seperti Cd, Hg, As, Cr, Cu, Pb, Ni dan Zn serta kimia organik seperti fenol dan lain sebagainya. Sebagai contoh, kandungan kimia air terproduksi dari salah satu lapangan di Kalimantan Timur mengandung TDS dengan konsentrasi 4.667 ppm, konduktivitas 9,36 ms/cm, salinitas 3,205 ‰ serta pH air 7,72 (Supriyadi, dkk., 2001). Hasil pengukuran pH, konduktivitas, salinitas dan konsentrasi TDS limbah air terproduksi awal yang berasal dari daerah Minas, Riau tidak berbeda jauh dengan air terproduksi dari daerah Kalimantan Timur (Tabel 1). Dengan mengkondisikan konsentrasi TDS limbah air terproduksi, maka dapat dicari hubungan pengaruh konsentrasi TDS dan pH terhadap proses pertukaran kation.

Perbandingan komposisi resin kation dan anion (3:7, 4:6 dan 5:5) tidak berpengaruh secara signifikan terhadap penurunan konsentrasi TDS (Maulana dan Widodo), hal ini dikarenakan resin mengalami

kebocoran dimana resin belum mampu untuk mengikat semua ion yang terdapat dalam air umpan.

Pertukaran dengan menggunakan resin penukar kation hanya dapat menurunkan konsentrasi ion positif yang ada dalam limbah air terproduksi, seperti ion natrium yang merupakan ion dominan dalam limbah air terproduksi. Penurunan konsentrasi ion natrium juga dapat mengindikasikan menurunnya konsentrasi TDS (Siti, 2002). Persentase penurunan konsentrasi TDS dengan resin kation untuk variasi konsentrasi TDS dapat mencapai antara 70 – 97 % pada fraksi effluent ke-2 (Gambar 3). Penurunan sebesar ini menunjukkan bahwa resin penukar kation dapat digunakan untuk menurunkan konsentrasi TDS dalam limbah air terproduksi dan dengan proses ini dapat menghasilkan keluaran air yang memenuhi baku mutu air buangan.

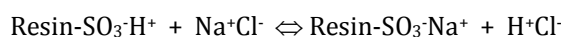
Semakin tinggi konsentrasi TDS maka semakin sedikit fraksi effluent yang dihasilkan. Hal ini dapat dijelaskan secara kinetika pertukaran ion, dimana pengontrolan laju pertukaran ion sangat berhubungan dengan waktu kontak dan laju alir. Laju alir yang cepat menyebabkan waktu kontak antara larutan dan resin berlangsung singkat sehingga sesuai untuk larutan elektrolit berkonsentrasi rendah, Sebaliknya, laju alir yang lambat sesuai untuk larutan elektrolit berkonsentrasi tinggi agar pertukaran ion yang terjadi lebih sempurna. Dengan bertambahnya waktu penggunaan resin penukar ion, maka kemampuan tukar ion akan menurun sehingga perlu dilakukan penggantian ataupun dapat diregenerasi kembali (Lestari, 2006). Pada penelitian ini, laju alir yang digunakan untuk semua variasi konsentrasi TDS dan pH adalah sama, yaitu 10 ml/menit dengan volume resin 50 ml, sehingga untuk konsentrasi TDS yang tinggi waktu pertukaran ionnya semakin singkat (fraksi effluent sedikit).

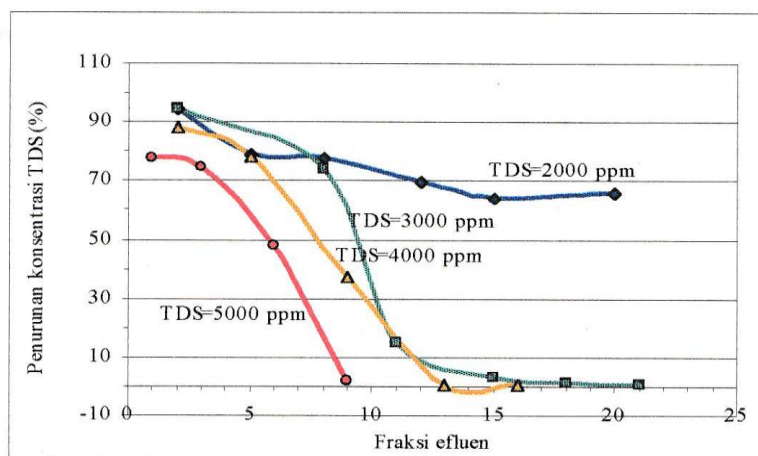
Tabel 1. Karakterisasi Awal Limbah Air Terproduksi

Parameter	Hasil Pengukuran
pH	7,23
Salinitas (%)	0,70
Konduktivitas (mS/cm)	12,0
TDS (ppm)	5.420

Satu siklus pertukaran kation dengan sistem kolom meliputi proses pembilasan-balik (*backwash*), adsorpsi dan regenerasi. Proses pembilasan balik bertujuan untuk menghilangkan gelembung udara dan partikel halus yang terbawa masuk ke kolom dan menjamin distribusi yang merata dari manik-manik resin dimana resin dengan ukuran yang lebih besar akan berada di dasar kolom. Pada tahap adsorpsi, semua pengotor yang tidak diinginkan (dalam hal ini TDS) dikurangi konsentrasinya. Limbah air terproduksi di dominasi oleh ion-ion natrium (Na⁺)

dan klorida (Cl⁻). Saat limbah air terproduksi yang mengandung ion Na⁺ kontak dengan resin penukar kation yang mengandung ion hidrogen (H⁺), maka ion H⁺ akan meninggalkan resin dan masuk ke dalam larutan sebagai effluent, sedangkan ion Na⁺ akan teradsorpsi di permukaan resin dan menggantikan ion H⁺ dari resin. Persamaan reaksi yang terjadi adalah :





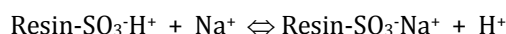
Gambar 3. Kurva penurunan konsentrasi TDS (%) vs fraksi effluent pada pH = 7

Analisis pengaruh pH lebih bertujuan untuk mengetahui waktu jenuh resin sehingga dapat menentukan kapan proses pertukaran kation dihentikan. Waktu jenuh resin dapat ditunjukkan dari jumlah fraksi effluent yang dihasilkan. Semakin sedikit jumlah fraksi effluent maka semakin cepat pula resin penukar kation menjadi jenuh. Banyaknya ion H⁺ yang ada dalam tiap fraksi effluent dapat dinyatakan dengan meq ion H⁺. Semakin besar nilai meq ion H⁺ maka semakin banyak pula ion H⁺ yang dilepaskan oleh resin ke dalam effluent, berarti semakin banyak pula ion Na⁺ dalam limbah air terproduksi yang dapat dipertukarkan dengan ion H⁺ dari resin (Gambar 4). Waktu jenuh resin juga dapat dilihat dari analisa konduktivitas (Gambar 5) dan salinitas (Gambar 6) larutan effluent untuk fraksi ke-n. Penurunan konduktivitas dipengaruhi oleh komposisi perbandingan resin penukar kation dan anion, dimana untuk perbandingan 3:7, 4:6 dan 5:5 menghasilkan konduktivitas berturut-turut adalah 3,7 $\mu\text{s/cm}$, 3,2 $\mu\text{s/cm}$ dan 4,1 $\mu\text{s/cm}$. Peningkatan nilai konduktivitas terjadi pada fraksi ke-19 (3:7), fraksi ke-20 (4:6) dan fraksi ke-16 (5:5). Meningkatkan nilai konduktivitas menunjukkan resin telah jenuh (Maulana dan Widodo).

Variasi komposisi resin kation dan anion tidak mempengaruhi pH effluent, dimana pH effluent mengalami kenaikan pada semua variasi komposisi dikarenakan tidak semua resin anion mampu membasakan air dengan kandungan ion positif dari resin kation.

Dengan menggunakan resin penukar kation saja, maka pH effluent yang dihasilkan akan bersifat asam karena mengandung ion hidrogen yang berhasil dipertukarkan dengan ion positif dari limbah air terproduksi seperti ion natrium dan ion logam lainnya. Proses pertukaran kation paling cepat terjadi untuk kondisi larutan limbah air terproduksi pH = 7. Pada kondisi larutan basa, kesetimbangan reaksi akan bergeser ke arah kanan, sehingga semakin banyak ion

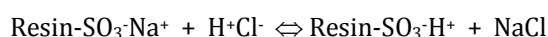
Na⁺ yang dapat dipertukarkan oleh resin, dan sebaliknya untuk kondisi larutan asam, kesetimbangan pertukaran kation akan bergeser ke arah kiri sehingga proses pengikatan kation Na⁺ dalam larutan limbah air terproduksi menjadi terhambat, sesuai dengan persamaan reaksi berikut :



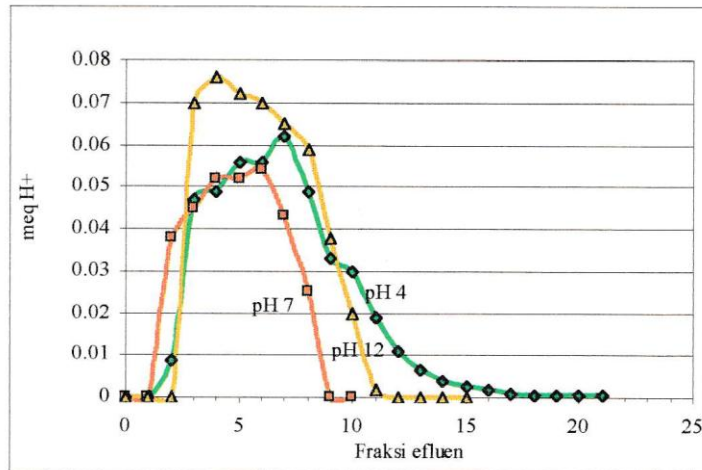
3.3 Regenerasi Resin Penukar Ion

Regenerasi adalah perubahan resin penukar ion dari satu bentuk ke bentuk lain. Proses regenerasi dilakukan sama seperti proses pertukaran ion, hanya saja waktunya lebih singkat, prosesnya meliputi *backwash*, regenerasi dan pembilasan, serta dihentikan jika pH *effluent* sudah sama dengan *influent* (Tabel 2). Regenerasi yang dapat digunakan untuk meregenerasi resin HCR-S adalah asam sulfat (1-8%), asam klorida (4-8%) atau natrium klorida (8-12%) sesuai dengan kondisi operasi yang direkomendasikan oleh Lenntech-Dowex HCR-S. Pemilihan penggunaan HCl sebagai regenerasi memiliki beberapa keuntungan diantaranya HCl merupakan asam kuat, lebih ekonomis/murah dan tidak menyebabkan korosi pada peralatan yang digunakan (Ruthven, 1997). Ion H⁺ dari larutan HCl berperan untuk mensubstitusi kation-kation dari larutan air terproduksi yang terikat pada situs-situs aktif resin dan mengembalikannya ke bentuk semula (H⁺). Volume HCl yang dibutuhkan untuk meregenerasi resin penukar kation adalah 200 ml.

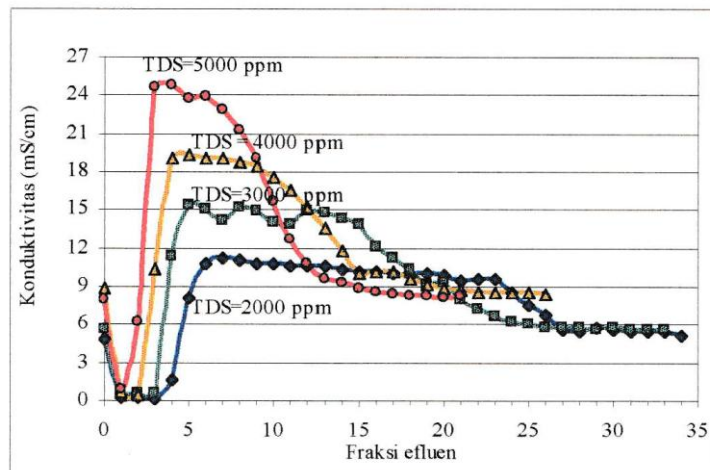
Persamaan reaksi kimia yang terjadi pada saat proses regenerasi resin penukar kation adalah :



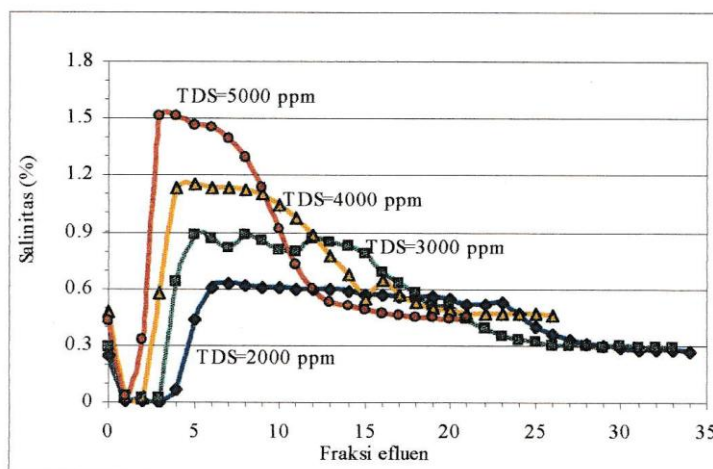
Resin penukar kation yang sudah diregenerasi dapat digunakan kembali untuk pertukaran ion selanjutnya.



Gambar 4. Hubungan meq H⁺ vs fraksi effluent pada konsentrasi TDS = 5.000 ppm



Gambar 5. Hubungan konduktivitas terhadap waktu jenuh resin pada kondisi pH = 4



Gambar 6. Hubungan salinitas terhadap waktu jenuh resin pada kondisi pH = 4

Tabel 3. Regenerasi Resin Penukar Kation

Fraksi ke-	Perubahan pH
0	0,014
1	0,410
2	0,060
3	0,041
4	0,022

4. KESIMPULAN

Resin penukar kation efektif untuk menurunkan konsentrasi TDS limbah air produksi antara 70 – 97 % untuk konsentrasi TDS < 5.000 ppm dan pada kondisi larutan netral (pH = 7). Semakin tinggi konsentrasi TDS dalam limbah air terproduksi maka waktu pertukaran kationnya semakin cepat.

5. SARAN

Efluent hasil pertukaran kation masih mengandung ion Cl⁻ sebagai anion yang dominan dalam limbah air terproduksi. Sebaiknya proses pertukaran kation dilanjutkan dengan proses pertukaran anion sehingga dapat dihasilkan air yang bebas ion.

6. DAFTAR PUSTAKA

Data sheet Dowex HCR-S Ion Exchange Resin, <http://www.lenntech.com/Data-sheets/Dowex-hcr-s-L.pdf> (akses 7 November 2014).
 Hayes, T., Produce Water Management : Chalenge and Solution, E&P Center Gas Technology Institute, 2010.
 Horiba, Instruction Manual Water Quality Checker U-10, Horiba Ltd, Jepang, 1991.
 Lestari, D.E.; Utomo, S.B.; Suhartono, Keandalan Sistem Pemurnian Kualitas Air Pendingin Primer RSG-GAS, Seminar Keselamatan Nuklir, 2006.
 Letterman, R. D., Water Quality and Treatment 5th edition, McGraw-Hill, Inc., New York, 1999.

Maulana, A.M.; Widodo, A.S., Pengolahan Air Produk Reverse Osmosis Sebagai Umpan dengan Menggunakan Ion Exchange, Makalah Penelitian FT-Undip, Semarang.

file:///D:/skripsi/MAKALAH_PENELITIAN_pdf-.pdf
 Mielke, E., Desalination Specialist in Marine and Earth Sciences Resources, Sciences and Industry Division, New York, 1999.

Pudjaatmaka, A.H., et al., Buku Ajar Vogel : Kimia Analisis Kuantitatif Kimia Anorganik, Jakarta, 1994.
 PP No. 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, 2001.

PERMENLH No. 19 tahun 2010 tentang Baku Mutu Limbah Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Minyak dan Gas Serta Panas Bumi. Indonesia, 2010.

Ruthven, D., Encyclopedia of Separation Technology vol. 2, John Wiley and Sons, New York, 1997.

Simon, G., Ion Exchange Training Manual, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1991.

Siti, A., Studi Awal Pemanfaatan Resin Penukar Kation dalam Proses Pertukaran Na untuk Pengolahan Air Limbah Industri Migas dengan Sistem Batch, Unibraw, Malang, 2002.

Supriyadi; Sukarman S.; Hadi Purnomo, Aspek Legalitas Pelaksanaan Pembuangan Limbah Fluida Industri Migas di Bawah Permukaan, Prosiding Simposium Nasional IATMI, Yogyakarta, 2001.