



Utilization Of Polypropilene Glycol As Anti Foaming Agent On Evaporation Of Detergent Radioactive Liquid Waste

Zainus Salimin, Endang Nuraeni, Dwi Luhur Ibnu Saputra

Center for Radioactive Waste Technology, National Nuclear Energy Agency, PUSPIPTEK Complex, Building 50,
Tangerang Selatan 15310, Telp. 021-7563142, Fax. 021-7560927.

Email: zainus_s@batan.go.id

Abstract

Utilization Of Polypropilene Glycol As Anti Foaming Agent On Evaporation Of Detergent Radioactive Liquid Waste. The treatment of radioactive liquid waste in Serpong nuclear facilities is performed by the sequences processes of reduction volume by evaporation and then immobilization of its radionuclides by cementation. The existing evaporator has the treatment capacity of 750 l/h of liquid waste. The nuclear laundry system for cleaning and decontamination of contaminated cloths generates the detergent radioactive liquid waste. The evaporation of detergent liquid waste at the present requires the silicone oil anti foaming agent to prevent the contamination of evaporation distillate caused of carry-over by the foam. For looking the utilization alternative of another anti foaming, the study of utilization of polypropylene glycol as anti foaming agent on the evaporation of detergent liquid radioactive waste has been performed. The evaporation experiment was performed for simulation liquid waste having the Cs-137 activity of 14,8 Bq/ml and dry extract content of 5 g/l by variation of the detergent concentration of 0,1247; 0,1496; 0,187; 0,374; 0,748; and 1,496 g/l. During evaporation, the boiling liquid level be kept by feeding of liquid waste and the generated foam attacks by polypropylene solution injection. Every 15 minutes the sampling of evaporation distillate and concentrate are done for analysis of its Cs-137 activity and extract contents. The result of experiment indicates that on the evaporation of solution containing detergent concentration of 0,1247 to 0,167 g/l gives the effective defoaming process in which the utilization of polypropylene as antifoaming agent can prevent the contamination of distillate due to the foam can be eliminated properly. On the evaporation of solution on the detergent concentration of 0,374 to 1,496 g/l, the foam can be controlled there is small Cs-137 contamination of distillate on the value of its clearance level. The evaporation of solution on the detergent concentration of superior than 1,496 g/l, the foam can not be controlled by utilization of antifoaming agent causing the significance value of distillate contamination. By utilization of polypropylene as antifoaming agent, the Cs-137 activity of distillate can be decreased on the value of clearance level. Normally the Cs-137 activity on the concentrate will increase but on its actually result there is decreasing of concentrate activity cause of the Cs-137 sorbtion capability of polypropylene glycol. Every of polypropylene glycol molecule has the functional group of OH on its furthest tip. When the polypropilene glycol molecule contacts with the water molecule so two H^+ ions be released from polypropilene glycol forming the ions of ^-ORO . The Cs^+ on the solution will attached by ^-ORO to form $CsOROCs$ so the Cs concentration on the concentrate will decreased.

Keywords: anti foaming agent, polypropylene, evaporation, detergent liquid waste.

Pendahuluan

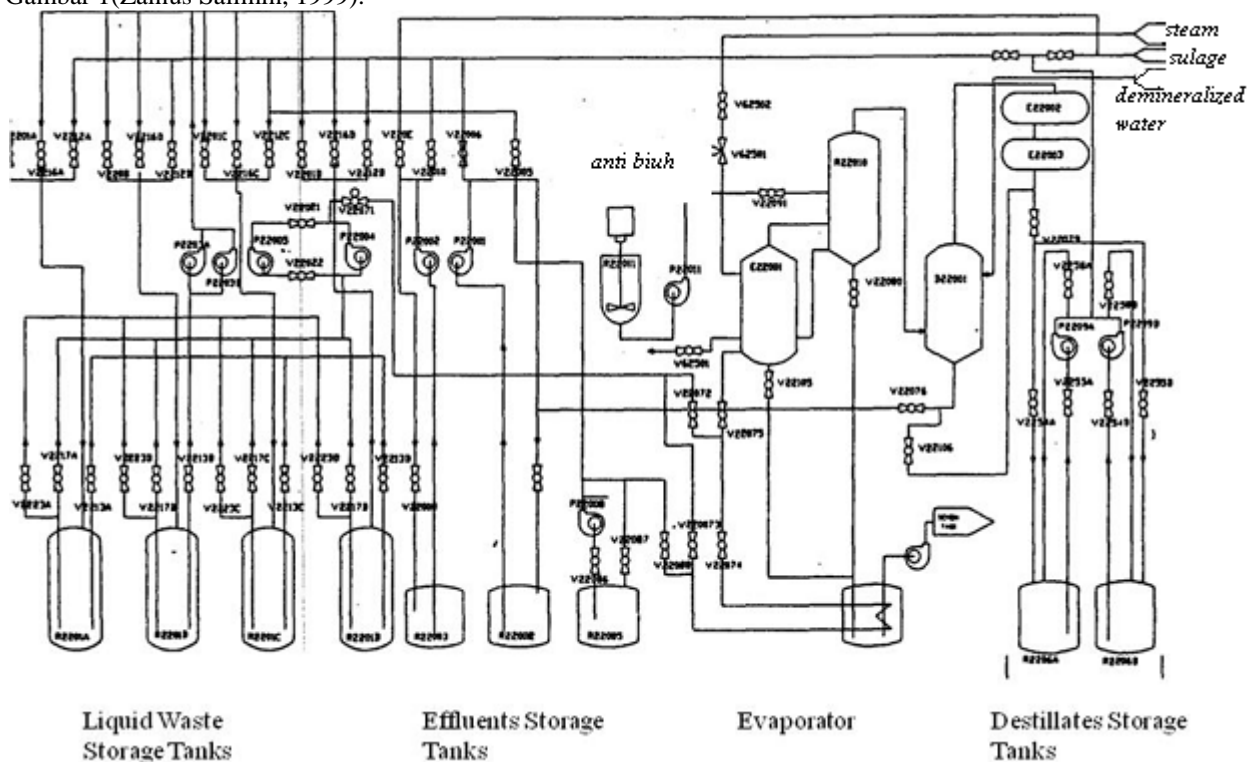
Fasilitas nuklir yang ada di Serpong terdiri dari fasilitas – fasilitas reaktor 30 MW, fabrikasi bahan bakar, produksi radioisotop, pengolahan limbah radioaktif, dan laboratorium penunjang (Zainus Salimin,1999). Beroperasinya fasilitas nuklir tersebut menimbulkan limbah radioaktif cair, semi cair dan padat tingkat rendah dan sedang. Limbah radioaktif cair dari fasilitas reaktor merupakan air yang terkontaminasi unsur radioaktif hasil fisi dan aktivasi dengan aktivitas (A) sebesar $10^{-6} \leq A < 10^{-2}$ Ci/m³. Limbah radioaktif cair dari kegiatan pencucian pakaian kerja terkontaminasi zat radioaktif mengandung detergen “ persil” yang merupakan jenis detergen kadar buih rendah. Limbah radioaktif cair berpelarut air tersebut diolah melalui proses evaporasi. Proses evaporasi limbah radioaktif cair menghasilkan derajat pemisahan yang dinyatakan dalam faktor dekontaminasi (F.D) dengan nilai yang cukup tinggi. Nilai F.D dalam proses evaporasi merupakan nilai aktivitas limbah awal dibagi nilai aktivitas destilat hasil evaporasi. Bila aktivitas limbah cair mentah dan destilat berturut –turut berharga 10^{-2} dan 10^{-6} Ci/m³ maka F.D dari proses evaporasi berharga 10^4 Ci/m³ (Zainus Salimin,1997).

Evaporasi adalah proses pemekatan dari suatu larutan dengan mengubah zat pelarutnya menjadi uap dan mengambilnya sebagai destilat. Pada umumnya suatu larutan terdiri dari zat yang mudah menguap (“volatile”) dan



zat yang tidak mudah menguap ("non-volatile"). Dengan demikian evaporasi adalah proses penghilangan zat "volatile" untuk mendapatkan larutan yang lebih pekat. Dalam proses evaporasi limbah radioaktif cair, bahan radioaktif merupakan komponen terbesar dalam konsentrat. Faktor yang penting dalam mekanisme proses evaporasi adalah pemisahan uap dari cairannya, terjadinya percikan cairan harus dijaga agar dalam uap jangan sampai terbawa kontaminan radioaktif. Dalam evaporasi larutan sering terjadi pembentukan buih ("foaming") yang menyebabkan terikutnya cairan dalam uap ("carry-over") sehingga destilat terkontaminasi kontaminan radioaktif. Buih terjadi bila larutan yang dievaporasi mengandung koloid, sabun, detergen, dan padatan halus tersuspensi. Buih timbul oleh senyawa organik yang mengandung gugusan hidrofilik seperti - OH, - CO, - COH, - COO-, dan gugusan hidrofobik seperti - C₆H₆, dan - C_nH_{2n+1} (Austin, G.T, 1986, Zainus Salimin, 2007). Detergen persil buih rendah yang digunakan dalam pencucian pakaian kerja terkontaminasi merupakan senyawa alkil avil sulfonat yang mempunyai rumus CH₃-(CH₂)₁₀-CH₂-OSO₃Na atau Na⁺RSO₃⁻. Tiap molekul detergen dapat dianggap sebagai suatu rantai yang salah satu ujungnya bersifat suka air (hidrofil) dan ujung yang lain bersifat takut air (hidrofob). Gugus SO₃⁻ bersifat hidrofil dan rantai R⁺ bersifat hidrofob. Kotoran yang berupa lemak atau minyak menarik gugus hidrofob, sedangkan gugus hidrofil tertarik oleh air (Zainus Salimin, 2001). Timbulnya buih menyebabkan penurunan factor dikontaminasi dan destilat tidak memenuhi persyaratan untuk dilepas kelingkuangan karena aktivitasnya tidak memenuhi syarat klirens. Cara pencegahan dan penghilangan buih dapat dilakukan antara lain melalui penggunaan pemecah buih ("foambreaker"), pengawasan batas cairan, pancaran semprotan air ("spay-jets"), peralatan mekanik seperti bafel, zat kimia anti buih, dan vibrasi akustik. Zat kimia anti buih yang dapat dipakai dalam proses evaporasi antara lain minyak silikon, asam lemak, senyawa amida, alkohol polialkilen glikol (IAEA, 1984).

Dari operasi pencucian pakaian kerja radiasi yang dilakukan di fasilitas nuklir serpong ditimbulkan 134 m³ limbah cair yang mengandung detergen konsentrasi 1,496 g/l dengan aktivitas minimal 10⁻⁶ Ci/m³. Limbah tersebut kemudian di campur dengan limbah cair lain yang sejenis dari fasilitas reaktor dan produksi radioisotop, kemudian diolah melalui proses evaporasi dilanjutkan dengan proses sementasi konsentrat hasil proses evaporasi. Diagram alir proses evaporasi limbah radioaktif cair yang dilakukan di Pusat Teknologi Limbah Radioaktif ditunjukkan pada Gambar 1 (Zainus Salimin, 1999).



Gambar 1. Diagram alir pengolahan limbah radioaktif cair tingkat rendah dan sedang dengan proses evaporasi IPLR PTLR (Zainus Salimin, 1999)

Dalam proses evaporasi tersebut, zat anti buih yang digunakan adalah minyak silikon. Minyak silikon yang digunakan mempunyai penyusun utama dimetil silikon dengan rumus $\{(CH_3)_3SiO[SiO(CH_3)_2]_nSi(CH_3)_3\}$ dengan nilai n : 1 – 8, berat molekul 236 – 755 g/gmol kekentalan 1,04 – 4,58 centistokes, tegangan muka 20 – 21 dine/cm dan densitas 0,76 – 0,96 g/ml (Zainus Salimin, 1997). Dalam proses evaporasi limbah cair konsentrasi detergen 0,1247; 0,1870; 0,3740; dan 0,7480, laju alir penambahan minyak silikon berturut-turut adalah 0,0760; 0,3310; 1,480; dan 3,781 ml/menit. Limbah radioaktif cair yang mengandung detergen 1,496 g/l tidak dapat dievaporasi,

terjadi luapan cairan karena terikuk oleh luapan buih sehingga destilat terkontaminasi unsur radioaktif. Dalam evaporasi tersebut tidak dapat dilakukan kontrol tinggi permukaannya walaupun anti buih minyak silikon telah digunakan. Limbah cair dengan konsentrasi detergen (X g/l) antara 0,1247 – 0,748 dapat dievaporasi melalui penambahan anti buih dengan laju alir (Y ml/menit) mengikuti persamaan : $Y = 0,17 X + 0,11$. Pemakaian anti buih tidak diperlukan dalam evaporasi limbah cair dengan konsentrasi detergen kurang dari 0,1247 g/l karena buih yang terjadi sedikit, tidak menimbulkan "carry-over". Guna mencari alternatif penggunaan zat anti buih yang lain, dilakukan penelitian penggunaan polipropilen glikol sebagai zat anti buih pada evaporasi limbah radioaktif yang mengandung detergen. Polipropilen glikol mempunyai rumus $HO(C_3H_6-O)_nH$ dengan nilai n : 4 – 700, berat molekul 150 – 4000 g/gmol, kekentalan 60 – 1200 centistokes, tegangan muka 33,8 dine/cm, dan densitas 0,99 g/ml (Salamone. Joseph C, 1996, Metha.B, Manju.M, 2005)

Tata Kerja

Bahan

Bahan yang digunakan memiliki kemurnian *pro-analisis* dari E.Merck, yaitu : natrium sulfat, natrium nitrat dan natrium klorida serta polipropilen glikol sebagai anti buih. Larutan cesium klorida yang dipakai mempunyai ekuivalen aktivitas 14.800 Bq/ml. detergen persil yang digunakan produksi P.T. Estrella Laboratories, Bogor, di bawah lisensi Henkel kGaA, Jerman.

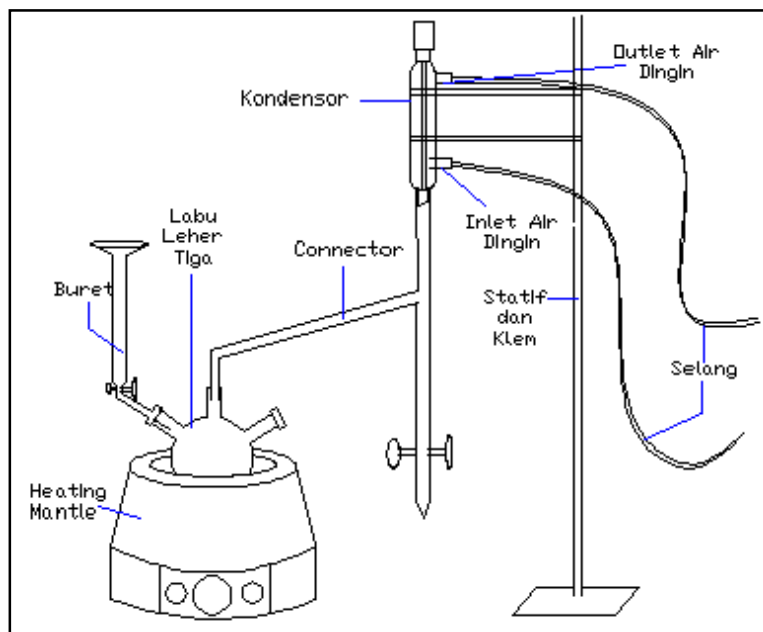
Metoda

Pembuatan Limbah Simulasi

Ditimbang bahan-bahan yang diperlukan meliputi 0,45 g natrium sulfat, 2 g natrium nitrat, 0,05 g natrium sulfat, 0,748 g detergen; diambil 0,1 ml larutan cesium klorida 74.000 Bq/ml. bahan-bahan tersebut dimasukan dalam labu takar 500 ml, ditambahkan aquades hingga volumenya 500 ml, diperoleh larutan berkadar ekstrak kering dan detergen berturut-turut 5 dan 1,496 g/l dengan aktivitas 4×10^{-10} Ci/ml atau 14,8 Bq/ml. Hal yang sama dilakukan untuk kadar detergen dalam limbah 0,748; 0,374; 0,187; 0,1496 dan 0,1247 g/l. Untuk percobaan blanko, limbah simulasi dievaporasi tanpa anti buih

Percobaan Blanko

Limbah simulasi sebanyak 500 ml dimasukan ke dalam labu leher tiga kapasitas 1.000 ml. Rangkaian alat-alat untuk destilasi (evaporasi) dipasang sesuai Gambar 2 dilakukan pendidihan larutan dengan pemanas *heating-mantle*. Selama penguapan terjadi, permukaan cairan dalam labu dibuat tetap melalui penambahan limbah. Dalam setiap periode tertentu setelah larutan mendidih, diambil cuplikan konsentrat dan destilat. Dilakukan analisis aktivitas dalam destilat dan konsentrat.



Gambar 2. Rangkaian alat untuk percobaan evaporasi



Percobaan dengan Anti Buih

Limbah simulasi aktif dimasukkan dalam labu leher tiga, rangkaian alat-alat untuk evaporasi dipasang. Dilakukan pendidihan larutan dengan pemanas *heating-mantle*. Selama penguapan terjadi, permukaan cairan dalam labu dibuat tetap melalui penambahan limbah. Pada setiap saat timbul buih, zat anti buih dimasukkan sampai buih reda. Dalam setiap periode tertentu setelah larutan mendidih, diambil cuplikan destilat dan konsentrat. Dilakukan analisis aktivitas Cs-137 dalam destilat dan konsentrat. Setiap periode tertentu tersebut diatas, diamati jumlah volume anti buih yang ditambahkan. Percobaan diulang dengan penggunaan anti buih polietilen glikol.

Hasil Dan Pembahasan

Proses evaporasi dengan konsentrasi detergen 1,496 g/l aktivitas 14,8 Bq/ml tidak dapat dilakukan tanpa memakai larutan anti buih. Dari Tabel 1 terlihat bahwa aktivitas dalam destilat selalu mempunyai harga yang hampir sama dengan aktivitas dalam limbah awal. Hal ini disebabkan adanya luapan sebagai akibat dari timbulnya buih yang besar, penambahan anti buih juga tidak dapat menahan luapan buih. Gelembung buih yang terjadi berukuran kecil dan bertekanan cukup besar yang nilainya lebih besar dari tekanan atmosferik, mempunyai jumlah cairan yang cukup untuk mengimbangi cairan yang hilang melalui pengaliran yang terjadi karena pengaruh gravitasi pada cairan dalam dinding gelembung. Demikian pula halnya untuk aktivitas radionuklida dalam destilat akan sama dengan aktivitas radionuklida dalam konsentrat, akibat terjadinya buih yang tak terkendali.

Pada Tabel 1 terlihat aktivitas konsentrat berharga lebih kecil dari aktivitas destilat. Hal tersebut karena ada sebagian Cs yang terserap pada anti buih polipropilen glikol. Setiap molekul polipropilen glikol mempunyai 2 (dua) buah gugus OH yang terletak pada ujung-ujung molekul. Dalam air ada pelepasan H⁺ dari molekul polipropilen glikol sehingga terbentuk ion ⁻ORO kemudian ion Cs⁺ dalam larutan masuk dalam muatan negatif tersebut mengikuti reaksi sebagai berikut :



Tabel 1 Data Aktivitas Destilat dan KOnsentrat Hasil Evaporasi Limbah Simulasi Konsentrasi Detergen 1,496 g/l Aktivitas 14,8 Bq/ml Dengan Penambahan Anti Buih

No	Waktu (menit)	Aktivitas (Bq/ml)	
		Konsentrat	Distilat
1	0	14,8	-
2	22	13,8	14,6
3	42	13,7	14,6
4	58	13,5	14,6

Aktivitas destilat hasil evaporasi dengan penggunaan anti buih dan tanpa anti buih sebagai fungsi waktu untuk kadar detergen berturut-turut 0,1247; 0,1496; 0,187; 0,374 dan 0,748 g/l ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Aktivitas Konsentrat Hasil Evaporasi Limbah Cair Pada Beberapa Konsentrasi Detergen Sebagai Fungsi Waktu

No	Waktu (menit)	Aktivitas Konsentrat (Bq/ml)									
		Kadar Detergen(g/l)									
		0,1247		0,1496		0,187		0,324		0,748	
		Tanpa Anti Buih	Dengan Anti Buih	Tanpa Anti Buih	Dengan Anti Buih	Tanpa Anti Buih	Dengan Anti Buih	Tanpa Anti Buih	Dengan Anti Buih	Tanpa Anti Buih	Dengan Anti Buih
1	22	4,8E-16	5,5E-17	6E-16	1,8E-18	3E-14	3E-16	7,1E-14	3,3E-16	9,7E-12	0,4E-16
2	42	1,2E-16	1,9E-17	2,1E-16	3,8E-18	1,9E-14	2,7E-16	3,9E-14	2,1E-16	6,6E-12	0,1E-16
3	58	1,1E-16	0,5E-17	0,4E-16	0,5E-18	0,1E-15	1,1E-18	1,3E-14	0,2E-18	1,3E-12	1,3E-16
4	83	3,7E-17	0,6E-18	1,6E-16	0,5E-18	0,6E-15	0,6E-18	0,3E-14	2,1E-18	0,9E-12	0,6E-16
5	128	1,3E-17	1E-19	2,3E-16	0,2E-18	0,2E-15	4E-18	0,2E-14	0,6E-18	0,3E-12	0,8E-16
6	132	0,1E-17	5E-20	2,3E-16	0,4E-18	0,4E-15	1,1E-18	0,5E-14	0,2E-18	0,4E-12	1,2E-16
7	154	0,2E-17	4,1E-20	2,8E-16	0,8E-18	0,5E-15	3,9E-18	1,1E-14	0,3E-18	0,2E-12	0,9E-16
8	172	0,1E-17	2,5E-20	2,1E-16	0,7E-18	0,8E-15	4E-18	1,4E-14	0,7E-18	0,6E-12	0,2E-16

Pada Tabel 2 tersebut terlihat bahwa aktivitas destilat dengan penggunaan anti buih mempunyai nilai yang jauh lebih kecil dari pada aktivitas destilat dari evaporasi tanpa anti buih dengan beda yang cukup signifikan. Hal tersebut menunjukkan bahwa penggunaan anti buih sangat efektif mengurangi terjadinya "Carry-over" sehingga aktivitas Cs yang terikut uap menjadi kecil. Penggunaan anti buih dalam proses evaporasi pada kadar detergen 0,1247 – 0,748 g/l sangat efektif karena beda aktivitas destilat tanpa anti buih dengan penggunaan anti buih sangat signifikan. Penggunaan anti buih memberikan aktivitas destilat pada harga kurang dari nilai clearance untuk Cs-137 sebesar 7 x



10^2 Bq/l atau 7×10^{-1} Bq/ml sesuai ketentuan Baku Tingkat Radioaktivitas Dilingkungan dan dalam S.K Ka.Bapeten No 02/Ka-BAPETEN/V-99 (BAPETEN, 1999)

Aktivitas konsentrat hasil evaporasi dengan fungsi waktu untuk kadar detergen berturut-turut 0,1247; 0,1496; 0,1870; 0,3740; dan 0,748 g/l ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Aktivitas Destilat Hasil Evaporasi Limbah Cair Pada Beberapa Konsentrasi Detergen Sebagai Fungsi Waktu

No	Waktu (menit)	Aktivitas Konsentrat (Bq/ml)									
		Kadar Detergen(g/l)									
		0,1247		0,1496		0,187		0,324		0,748	
		Tanpa Anti Buih	Dengan Anti Buih	Tanpa Anti Buih	Dengan Anti Buih	Tanpa Anti Buih	Dengan Anti Buih	Tanpa Anti Buih	Dengan Anti Buih	Tanpa Anti Buih	Dengan Anti Buih
1	24	16,7	16,6	16,8	17,7	16,2	16,6	15,6	15,6	14,9	15,1
2	44	16,8	15,8	16,9	17,2	16,1	15,7	15,4	14,9	19,9	15
3	60	17,5	15,5	17,6	16,7	16,8	15,3	15,7	14,7	15,1	14,9
4	86	17,6	15,1	17,8	16,5	17	14,8	15,9	13,9	15,3	14,6
5	110	18,6	14,5	18	16,2	17,1	15	16,2	13,8	15,3	14,2
6	135	19	14,5	18,06	16	17,2	14,2	16,5	13,6	15,4	13,9
7	156	19,1	13,8	18,11	15,6	17,6	14,3	16,6	13,4	15,6	13,4
8	174	19,3	13,9	18,36	15,4	17,8	14,4	16,8	13,3	15,7	13,2

Pada Tabel 3 tersebut terlihat bahwa aktivitas konsentrat hasil evaporasi tanpa anti buih untuk larutan dengan konsentrasi detergen semakin besar barharga semakin kecil. Hal tersebut dikarenakan semakin besar konsentrasi detergen maka aktivitas Cs yang terikut uap semakin besar (terikut "carry-over" yang semakin kuat). Secara teoritis proses evaporasi menggunakan anti buih akan memberikan aktivitas konsentrat yang lebih besar dibanding pada evaporasi tanpa anti buih, namun pada Tabel 3 terlihat bahwa aktivitas konsentrat justru lebih kecil dibanding hasil dari evaporasi tanpa anti buih. Hal tersebut dikarenakan ada Cs yang terlihat pada anti buih polipropilen glikol yang telah berubah menjadi ion $^{\ominus}ORO^{\ominus}$ sesuai reaksi 2.

Dengan demikian maka anti buih polipropilen glikol menjadi mengandung kontaminan Cs. Secara menyeluruh jumlahan aktivitas Cs dalam konsentrat dan anti buihberharga jauh lebih besar dari aktivitas dalam konsentrat hasil evaporasi tanpa anti buih.

Laju alir penambahan anti buih dalam proses evaporasi sebagai fungsi konsentrasi detergen dalam limbah ditunjukkan pada Tabel 4.

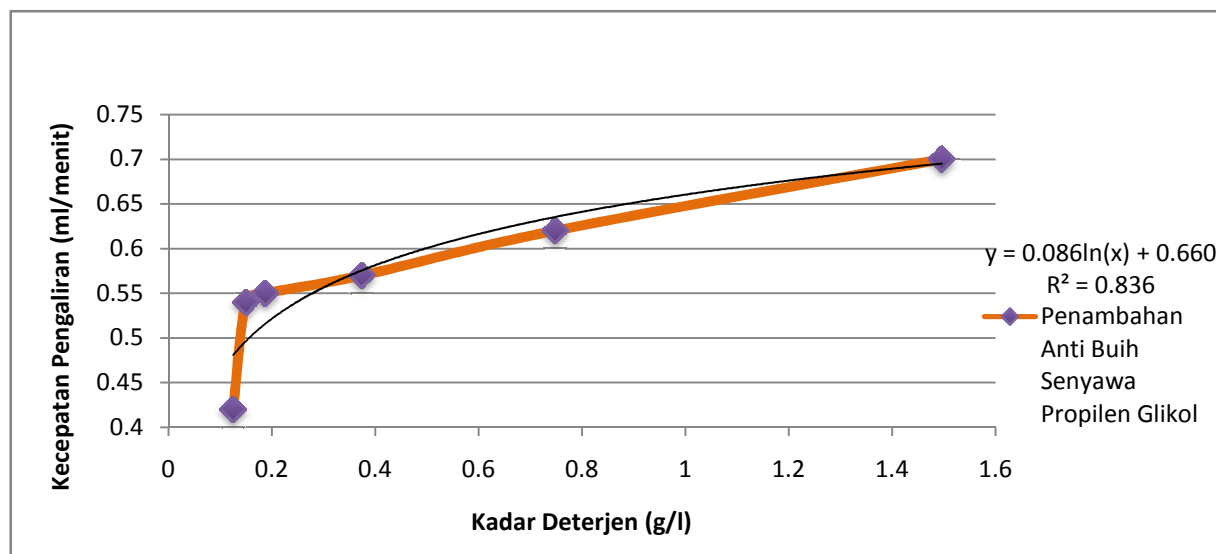
Tabel 4. Laju Alir Penambahan Anti Buih Sebagai Fungsi Konsentrasi Detergen

No.	Kadar Detergen (g/l)	Volume Total Penambahan Anti Buih (ml)	Lama Proses Evaporasi (menit)	Kecepatan Penambahan Anti Buih (ml / menit)
1	0,1247	61,5	146	0,42
2	0,1496	63,85	118	0,54
3	0,187	69,96	127	0,55
4	0,374	72,45	134	0,57
5	0,748	88,9	144	0,62
6	1,496	105,6	150	0,7

Pada Tabel 4 terlihat bahwa semakin besar konsentrasi detergen maka semakin banyak anti buih yang ditambahkan. Hal tersebut dikarenakan semakin besar konsentrasi detergen maka semakin banyak buih yang terjadi. Dari Gambar 3, hubungan laku alir penambahan anti buih terhadap kadar detergen maka didapat persamaan hubungan laju alir detergen (Y ml/menit) dengan konsentrasidetergen (X g/l) sebagai fungsi :

$$Y = 0,0861 \ln(X) + 0,6604$$

Bila dibandingkan penggunaan anti buih polipropilen glikol terhadap minyak silikon maka terlihat bahwa untuk penghilangan buih yang terjadi pada konsentrasi detergen yang sama maka laju alir penambahan anti buih polipropilen glikol berharga lebih besar dari laju alir minyak silikon. Hal tersebut dikarenakan minyak silikon yang berkekentalan rendah sekitar 4,6 Centistokes lebih lincah bergerak kekiri, kekanan, keatas dan kebawah pada permukaan cairan dari pada gerakan polipropilen glikol yang lambat karena berkekentalan yang tinggi sekitar 60 centristokes.



Gambar 3. Laju Alir Penambahan Anti Buih Senyawa Propilen Glikol Sebagai Fungsi Konsentrasi Deterjen

Kesimpulan

Penggunaan anti buih polipropilen glikol dalam evaporasi limbah radioaktif yang mengandung deterjen dapat mengendalikan dan menghindari " Carry-over" Cs dalam uap sehingga kontaminasinya dalam destilat dapat dicegah. Penghilangan buih pada kadar deterjen 0,1247 – 0,167 g/l dapat berlangsung sangat efektif dengan selisih aktivitas destilat pada evaporasi dengan anti buih dan tanpa anti buih pada nilai yang signifikan. Proses evaporasi limbah cair yang mengandung konsentrasi deterjen $\geq 1,496$ g/l sulit dikendalikan walaupun telah menggunakan anti buih. Zat anti buih polipropilen glikol mempunyai kemampuan menyerap Cs, karena saat molekul polipropilen glikol berada dalam air sebagian ujung molekulnya berubah menjadi ion "ORO" karena melepas ion $2H^+$, kemudian ion Cs^+ dalam konsentrat hasil evaporasi dengan penggunaan anti buih. Laju alir penambahan anti buih (Y ml/menit) sebagai fungsi konsentrasi deterjen (X g/l) adalah: $Y = 0,086 \ln(X) + 0,669$

Daftar Pustaka

- Austin, G.T, Shreve's, Chemical Process Industries, 5 th Ed, Mc Graw – Hill Book Company, New York, 1986
- BAPETEN, Baku Tingkat Radioaktivitas Di Lingkungan, SK. Ka. Bapeten No.02/Ka-BAPETEN/V-99, Jakarta, 1999
- Mehta, B, Manju, M, Organic Chemistry, Prentice Hall of India Pvt Ltd, Now Delhi, 2005
- Othmer, K, Encyclopedia of Chemical Technology, Volume I, 3 th Ed, John Wiley and Sons, New York, 1979
- Othmer, K, Encyclopedia of Chemical Technology, Volume 7, 3 th Ed, John Wiley and Sons, New York, 1979
- Salamone, Joseph.C, Polymeric Materials Encyclopedia, Vol 9, CRC Press, Inc, USA, 1996
- Zainus Salimin, Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif, Pusat Teknologi Limbah Radioaktif dan PLTN, Diktat Pendidikan dan Pelatihan Pengelolaan Limbah Radioaktif, Pusdiklat, BATAN, 2013
- Zainus Salimin, Evaporasi Limbah Radioaktif Cair Yang Mengandung Deterjen Dengan Anti buih Minyak Silikon, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Teknologi Pengolahan LImbah I, Serpong 10 – 11 Desember 1997, ISSN : 1410 – 6086
- Zainus Salimin, Peran dan Perkembangan Operasi Teknik Kimia Pengolahan Limbah Radioaktif Untuk Mendukung Aplikasi IPTEK Nuklir di Indonesia, Orasi Pengukuhan Profesor Riset Bidang Teknologi Evaporasi, Serpong, BATAN, 2007
- Zainus Salimin, Pengolahan Limbah Radioaktif Cair Aktifitas Rendah Yang Mengandung Deterjen Persil Dengan Proses Oksidasi Biokimia, Tesis Magister Sains, IPB, 2002



Lembar Tanya Jawab

Moderator : Abdullah Effendi (Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta)

Notulen : Widayati (Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : Widayati (Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta)
Pertanyaan : Apa yang diinginkan dari penelitian ini?
Jawaban : Evaporasi menghasilkan seperti aquadest non contaminated. Buih hilang menggunakan anti buih
2. Penanya : Suharto (Univ. Katolik Parahyangan Bandung)
Pertanyaan : Apakah ada antifoam lain ?
Jawaban : Yang biasa digunakan dalam industri adalah silicon oil, karena viskositasnya besar dan percepatan molnya cepat, tetapi karena ada pilihan yang lebih hemat yaitu polipropilea glikol maka dicoba untuk menggunakannya.
3. Penanya : Hadi (Geologi UPN "Veteran" Yogyakarta)
Pertanyaan : Berapa konsentrasi yang dipakai ?
Jawaban : Konsentrasinya kecil dan hanya digunakan dipermukaan saja (<1%).
4. Penanya : Abdullah Effendi (Teknik Kimia UPN "Veteran" Yogyakarta)
Pertanyaan : Adakah usaha lain untuk menghilangkan buih ?
Jawaban : Ada antara lain menggunakan baffle yang bergerak kekiri kekanan secara mekanik atau menggunakan ultrasonik.

