

EVALUASI EFISIENSI PROSES EVAPORASI PASCA *BLOWDOWN* KONSENTRAT

Ajrieh Setyawan

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-Badan Tenaga Nuklir Nasional

Kawasan PUSPIPTEK Serpong Gedung 50

E-mail: ajrieh@batan.go.id

ABSTRAK

EVALUASI EFISIENSI PROSES EVAPORASI PASCA BLOWDOWN KONSENTRAT BULAN OKTOBER 2017. Evaporator merupakan salah satu instrumen utama pengolahan limbah radioaktif cair. Mengingat sistem evaporasi telah beroperasi selama lebih dari 30 tahun, maka dilakukan perhitungan efisiensi terhadap pengaruh pasca blowdown konsentrat pada sistem evaporasi. Efisiensi dihitung dengan data *real input dan output steam* pada sistem pengolahan dan dukung karakterisasi selama operasi evaporasi. Hasil perhitungan didapatkan efisiensi proses evaporasi tanggal 2, 7 dan 9 Oktober 2017 adalah 59.98%, 57.99% dan 56.236%. Penurunan efisiensi Proses evaporasi disebabkan oleh peningkatan ekstrak kering dalam konsentrat. Evaluasi efisiensi lain yang dapat mempengaruhi nilai efisiensi antara lain *pressure drop* pada pipa, transfer panas ke lingkungan, pembentukan korosi dan kerak, serta berbagai hal yang dapat memengaruhi kualitas *steam*.

Kata Kunci : Evaporasi, Kalor panas, Efisiensi

ABSTRACT

EVALUATION EVAPORATION PROCESS MONTHLY OCTOBER 2017 AFTER CONCENTRATE BLOWDOWN. Evaporator is one of the main instruments of liquid radioactive waste treatment. Since the evaporation system has been in operation for more than 30 years, the efficiency of the post-blow down concentration in the evaporation system is calculated. Efficiency is calculated by real input data and steam output on the processing system and characterization support during evaporation operations. The calculation result obtained efficiency of evaporation process on 2, 7 and 9 October 2017 is 59.98%, 57.99% and 56.236%. Decrease efficiency of evaporation process by increasing dry extract in concentrate. Evaluations that may affect efficiency include pressure drop on pipes, heat transfer to the environment, corrosion and crust formation, and various things that can affect the quality of steam.

Keywords: Evaporation, Heat heat, Efficiency

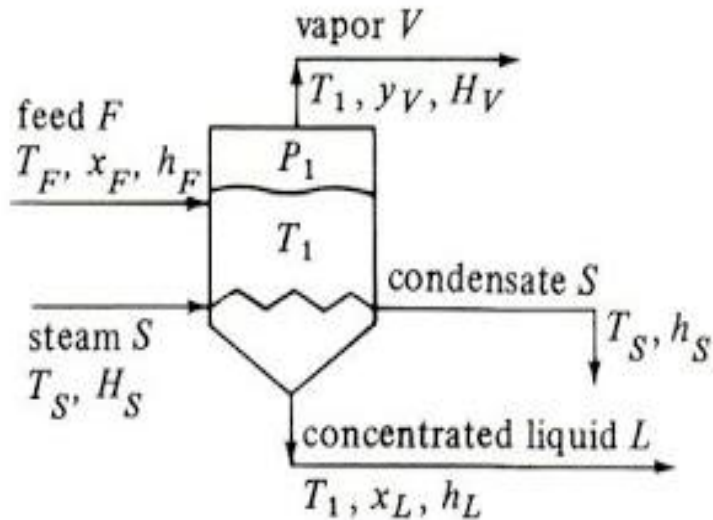
PENDAHULUAN

Evaporator merupakan alat yang berfungsi untuk mengubah keseluruhan atau sebagian pelarut dari sebuah larutan berbentuk cair menjadi uap sehingga hanya menyisakan larutan yang lebih padat atau kental yang disebut konsentrat, proses yang terjadi di dalam evaporator disebut dengan evaporasi. Cara kerjanya ialah dengan menambahkan kalor atau panas yang bertujuan untuk memekatkan suatu larutan yang terdiri dari zat pelarut yang memiliki titik didih yang rendah dengan pelarut yang memiliki titik didih yang tinggi sehingga pelarut yang memiliki titik didih yang rendah akan menguap dan hanya menyisakan larutan yang lebih pekat dan memiliki konsentrasi yang tinggi.

Evaporasi dapat didefinisikan sebagai suatu operasi dimana suatu larutan dipisahkan berdasarkan volatilitasnya. Komponen yang sulit menguap tetap berada dalam fase cair, sedangkan yang mudah menguap diubah dalam fase gas, sehingga didapatkan larutan yang lebih pekat. Perpindahan panas dan perpindahan massa adalah dua proses dasar yang terjadi dalam evaporasi. Selama proses evaporasi, harus diberikan kalor untuk menyediakan energi yang diperlukan untuk mengubah komponen volatil menjadi fase gas^[1]

Selama proses evaporasi berlangsung, seringkali zat padat mengendap di sekitar bidang pemanas dan membentuk kerak. Adanya kerak menyebabkan terjadinya kenaikan tahanan terhadap perpindahan panas, dan akibatnya ialah semakin lambatnya proses pemisahan pada evaporator. Pembentukan kerak semacam ini tidak dapat dicegah, dan terjadi pada semua jenis evaporator, tetapi kecepatan pembentukannya dapat diperlambat. Zat-zat pembentuk kerak paling terkenal adalah $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaSO_4 , Na_2CO_3 , Na_2SO_4 dan garam-garam dari asam organik tertentu. Sangat tidak mungkin untuk mencegah pembentukan kerak apabila dalam sampel umpan terdapat bahan-bahan pembentuk kerak, kecepatan pembentukan dapat diperlambat dengan kecepatan yang tinggi lewat bidang pemanas. Salah satu cara untuk pembersihan kerak pada evaporator dapat digunakan bahan kimia yaitu dengan asam penghilang kerak seperti HNO_3 .^[2]

Neraca Kesetimbangan



Gambar 1 Sistem Evaporator

METODOLOGI

Tujuan analisis efisiensi sistem evaporator pasca blowdown konsentrat untuk menghitung efisiensi kalor sistem evaporasi IPLR dan mengetahui hal-hal yang memengaruhi nilai efisiensi kalor. Analisis ini dilakukan dengan cara membandingkan jumlah *steam* yang dibutuhkan dari hasil perhitungan menggunakan neraca kalor dengan *steam* yang digunakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan Data :

Data hasil evaporasi pada bulan Oktober.

Parameter data perhitungan efisiensi evaporasi diperoleh dari data umpan limbah, steam panas, Produk konsentrat dan Destilat

Time (day)	Liquid Waste					Steam				
	FQ 22001 (L)	FR 22001 (m3/h)	Tank 22001 (%)	Pump (bar)	PI 2204/05 (bar)	FR 62501 (m3/h)	FC 62501 (%)	V 62501 (%)	TR 62501 (°C)	PI 62501 (bar)
2	273487.4	0.7466	46.22	5	1.2666	1.70625	79.25	29	103	4.8
7	290146.5	0.7366	33.25	5	1.2142	1.051429	44.28	29.142	102	4.8
9	306353.5	0.7635	21.77	5	1.075	1.70625	79.25	28.875	103	4.8

Demin Water	Cooling Water			Evaporator		
FI 62201 (L/h)	FI 625104 %	TI 62104 (°C)	PI 62104 (kg/m3)	LR 22010 (%)	PR 22012 (mbar)	TR 22001 (°C)
196.5	100	29.62	6	56.625	66	102
200	100	29.35	5.65	57.714	64.85714286	100
195	100	29.5	6	59.125	65.5	100

Concentrate				Destillate		Tank	
LR 22004 (%)	TI 22004 (°C)	Sample No R 22010	CR 22001 mS/cm	Tank 2206	Sample No	LI 22002 (%)	LI 22003 (%)
36	28	16	91.65	40.777	17	86.88	15.66
38	28	20	124.8	49.625	21	28.125	31
38	28	24	129.8	57.11	25	49.25	38.5

Liquid Waste		Concentrate		Destilate	
Li 2201 A (%)	Li 2201 D (%)	LR 2204 (%)	LR 22010 (%)	Li 2206 A (%)	Li 2206 B (%)
45.5	65	36	56.77	87	40.2
32.42857143	65	38	57.71428571	87	49.625
21.77	65	38	59.12	87	57.11

Neraca Massa

time (day)	ρ _F (g/L)	ρ _{air} (g/L)	ρ _{F+air} (g/L)	V _F (dm ³ /h)	F (kg/h)	X _F	ρ _{konsentrat} (g/L)	ρ _{air} (g/L)	ρ _{konsentrat + air} (g/L)	L (kg/h)	X _L	V (kg/h)	X _V
2	1.8	1000	1001.8	763.75	765.124	0.0018	109.25	1000	1109.25	13.9628	0.0984	751.1618	0
7	1.8	1000	1001.8	736.67	737.992	0.0018	109.75	1000	1109.75	13.4096	0.0989	724.5830	0
9	1.8	1000	1001.8	763.75	765.124	0.0018	139.05	1000	1139.05	10.5131	0.1220	700.7648	0

Neraca Energi

T _s (°C)	P _s (bar)	P _s (kPa)	P _{evap} (mBar)	P _{evap} (kPa)	C _p (kJ/kgK)	T _s (°C)	h _s	H _s
103	4.8	480	65.5	6.55	4.2421	150.3	633.49	2746.85
102	4.8	480	64.8	6.49	4.2391	150.3	633.49	2746.85
103	4.8	480	65.5	6.55	4.2391	150.3	633.49	2746.85

λ	HL	H _v	ΔT	H _f	S (kg/h)	S (kg/s)	S aktual (kg/s)	Efisiensi	q (kJ/kg)
2113.36	2558.6	2113.2	-48.3	-204.89	842.18	0.2339	0.39	59.98	494.40
2113.36	2558.6	2113.2	-50.3	-210.25	814.18	0.2261	0.39	57.99	477.96
2113.36	2558.6	2113.2	-50.3	-210.25	789.56	0.2193	0.39	56.23	463.50

Perhitungan Neraca Massa

Diketahui:

$$\begin{aligned} \rho_F &= 1.8 \text{ g/L} \\ \rho_L &= 109.25 \text{ g/L} \\ \rho_{\text{air}} &= 1000 \text{ g/L} \end{aligned}$$

1. Mencari F

$$\begin{aligned} F &= \rho_{\text{campuran}} \times V_F \\ F &= (1.8 + 1000) \frac{\text{g}}{\text{L}} \times 763.75 \frac{\text{dm}^3}{\text{h}} \\ &= 765124.75 \frac{\text{g}}{\text{h}} \\ &= 765.124 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

3. Mencari X_L

$$\begin{aligned} X_L &= \frac{\rho_L}{\rho_{\text{campuran}}} \\ &= \frac{109.25 \text{ g}}{1109.25 \text{ L}} \\ &= 0.0985 \text{ g/L} \end{aligned}$$

4. Mencari L

$$L = \frac{F \times X_F}{X_L}$$

2. Mencari X_F

$$X_F = \frac{\rho f}{\rho \text{ campuran}}$$

$$= \frac{1.8 \text{ g}}{1001.8 \text{ L}}$$

$$= 0.0018 \text{ g/L}$$

$$= \frac{765.124 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 0.0018 \frac{\text{g}}{\text{L}}}{0.0985 \frac{\text{g}}{\text{L}}}$$

$$= 13.644 \text{ kg/h}$$

5. Mencari V

$$V = F - L$$

$$= 765.124 \text{ kg/h} - 13.644 \text{ kg/h}$$

$$= 734.229 \text{ kg/h}$$

Perhitungan Neraca Energi

Diketahui:

$T_s = 103^\circ\text{C}$
 $P_s = 4.8 \text{ bar} = 480 \text{ kPa}$
 $P \text{ evaporator} = 66 \text{ mBar}$

1. Mencari T_1

$P_s = 480 \text{ kPa}$
 Interpolasi dari Geankoplis Appendix A.2-9

Temperature (°C)	Pressure Vapor (kPa)
150	475.8
x	480
155	543.1

$$\frac{x-150}{155-150} = \frac{480-475.8}{543.1-475.8}$$

$$\frac{x-150}{5} = \frac{4.2}{67.3}$$

$$67.3 x - 10095 = 21$$

$$67.3 x = 10116$$

$$x = 150.3^\circ\text{C}$$

4. Mencari h_s

$T = 150.3^\circ\text{C}$
 Interpolasi dari Geankoplis Appendix A.2-9

Temperature (°C)	Enthalpy Liquid (kJ/kg)
150	632.20
150.3	x
155	653.84

$$\frac{x-632.2}{653.84-632.2} = \frac{150.3-150}{155-150}$$

$$\frac{x-632.2}{21.64} = \frac{0.3}{5}$$

$$5x - 3161 = 6.492$$

2. Mencari C_p

$T_F = 102^\circ\text{C}$
 Interpolasi dari Genakoplis Appendix A.2-11

Temperature (°C)	C_p (kJ/kgK)
93.3	4.229
102	x
121.1	4.271

$$\frac{x-4.229}{4.271-4.229} = \frac{102-93.3}{121.1-93.3}$$

$$\frac{x-4.229}{0.042} = \frac{8.7}{27.8}$$

$$27.8 x - 117.5662 = 0.3654$$

$$27.8 x = 117.9316$$

$$x = 4.2421$$

3. Mencari h_F

$$h_F = C_p \times (T_F - T_1)$$

$$= 4.2391 \text{ kJ/kgK} \times (375 - 423.3)\text{K}$$

$$= 4.2391 \text{ kJ/kgK} \times -47.3 \text{ K}$$

$$= -204.748 \text{ kJ/kg}$$

5. Mencari H_s

$T = 150.3^\circ\text{C}$
 Interpolasi dari Geankoplis Appendix A.2-9

Temperature (°C)	Enthalpy Sat. Vapor (kJ/kg)
150	2746.5
150.3	x
155	2752.4

$$\frac{x-2746.5}{2752.4-2746.5} = \frac{150.3-150}{155-150}$$

$$\frac{x-2746.5}{5.9} = \frac{0.3}{5}$$

$$5x - 13732.5 = 1.77$$

$$5x = 3167.49$$

$$x = 633.49 \text{ kJ/kg}$$

$$5x = 13734.27$$

$$x = 2746.8 \text{ kJ/kg}$$

6. Mencari λ

$$\lambda = H_s - h_s$$

$$= 2746.5 \text{ kJ/kg} - 633.49 \text{ kJ/kg}$$

$$= 2113.36 \text{ kJ/kg}$$

7. Mencari kebutuhan steam (s)

Nilai H_v dan H_L didapat dari steam table Smith Vanness.

$$H_v = 2113.6 \text{ kJ/kg}$$

$$H_L = 2558.6 \text{ kJ/kg}$$

$$F \times h_F + s \times \lambda = L \times h_L + V \times H_v$$

$$765.124 \text{ kg/h} \times (-200.509) \text{ kJ/kg} + s \times 2113.36 \text{ kJ/kg} = 13.644 \text{ kg/h} \times 2558.6 \text{ kJ/kg} + 734.229$$

$$\text{kg/h} \times 2113.6 \text{ kJ/kg}$$

$$-153414.2481 + 2113.36 s = 34909.5384 + 1551866.4144$$

$$2113.36 s = 1740190.2009$$

$$s = 840.6021 \text{ kg/h}$$

$$= 0.2335 \text{ kg/s}$$

8. Mencari q

$$q = \lambda \times s$$

$$= 2113.36 \text{ kJ/kg} \times 0.2335 \text{ kg/s}$$

$$= 494.4026 \text{ kJ/s}$$

9. Mencari efisiensi (η)

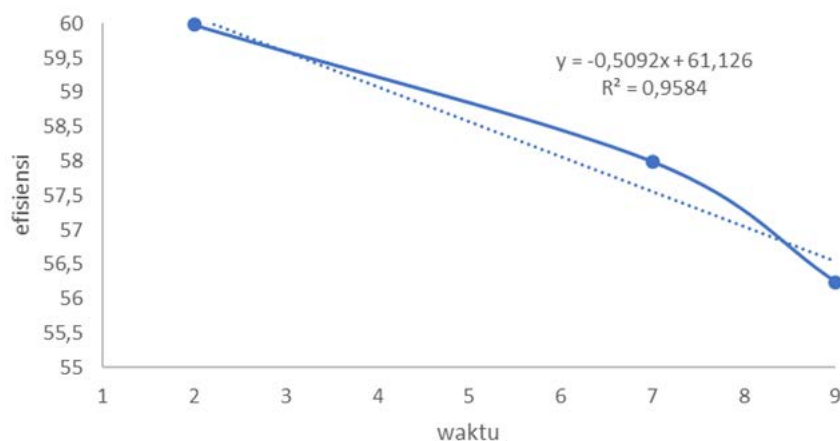
$$s_{\text{actual}} = 0.39 \text{ kg/s}$$

$$\eta = \frac{s_{\text{teoritis}}}{s_{\text{aktual}}} \times 100\%$$

$$= \frac{0.2335}{0.39} \times 100\%$$

$$= 59.8719\%$$

Pada pengkajian pengolahan data dilakukan analisa terhadap nilai efisiensi evaporator pada tanggal 2, 7, dan 9 di bulan Oktober 2017. Analisa efisiensi dilakukan agar dapat mengetahui kemampuan suatu alat dalam beroperasi. Nilai efisiensi yang semakin rendah menunjukkan bahwa alat akan semakin lama dalam beroperasi. Jika sistem evaporasi beroperasi dengan baik maka dapat mengolah sebanyak 0.75 m³/jam limbah radioaktif, namun dengan efisiensi yang rendah maka akan mengolah lebih sedikit limbah. Data pengolahan data dapat dilihat pada grafik 1.



Grafik 1. Hubungan Efisiensi Vs Waktu

Berdasarkan data pada Grafik 1, didapatkan grafik antara waktu terhadap efisiensi. Diperlukan penambahan asumsi ρ air dalam mencari nilai fraksi. ρ campuran diperlukan dalam perhitungan nilai fraksi dikarenakan umpan yang masuk dan konsentrat yang keluar juga masih mengandung air.

Pada tanggal 2 Oktober efisiensi evaporator yang didapatkan yaitu 59.98, pada tanggal 7 Oktober efisiensi yang didapatkan yaitu 57.99% dan pada tanggal 9 Oktober efisiensi yang didapatkan yaitu 56.236%. Semakin lama waktunya, efisiensi semakin menurun. Hal ini sesuai dengan literatur bahwa umpan yang berisi air limbah radioaktif dapat menurunkan efisiensi suatu alat karena mengandung radionuklida dan bahan buangan yang lain. Semakin lama alat tersebut digunakan dengan umpan yang sama, semakin menurun efisiensinya. Penurunan efisiensi dapat disebabkan juga karena adanya korosi dan kerak. Korosi dan kerak pada permukaan penghantar panas dapat menghambat proses perpindahan panas pada evaporator sehingga dibutuhkan steam yang lebih banyak agar evaporasi berjalan normal. Selain itu, penurunan efisiensi kalor dapat disebabkan karena terdapat pipa yang bocor dan kesalahan alat ukur. Penurunan efisiensi kalor dapat dicegah dengan cara adanya pemeliharaan berkala pada alat evaporator.

Pada analisis kalor digunakan suhu referensi 28°C, artinya saat larutan berada pada 28°C temperatur normal. Penentuan suhu referensi pada 28°C agar analisis lebih mudah dipahami. Untuk materi yang berada dalam fase cair (umpan, konsentrat, kondensat) jumlah kalor total yang dibawa sama dengan jumlah kalor sensibelnya, dikarenakan dari suhu 28°C sampai pada kondisi akhir tidak diperlukan perubahan fase. Sedangkan pada masukan *steam*, kalor total yang dibawa merupakan campuran dari kalor untuk menaikkan suhu *steam* (pada fase cair, dari 28°C hingga titik didihnya) serta kalor laten yang dibutuhkan *steam* untuk berubah fase menjadi uap. Pada *vapor*, selain kalor untuk menaikkan suhu pada saat cair dan kalor untuk berubah fase, kalor juga digunakan untuk menaikkan suhu pada fase gasnya. Kondisi tersebut dinamakan *superheated*.

Tidak sempurnanya nilai efisiensi kalor disebabkan oleh beberapa hal, salah satunya oleh *pressure drop*. *Pressure drop* disebabkan karena adanya gaya gesek yang terjadi dengan pipa. Gaya gesek tersebut dapat meningkatkan tahanan pada transfer massa dari *boiler* menuju evaporator, sehingga properti *steam* yang dihasilkan pada *boiler* tidak sama dengan *steam* yang digunakan di evaporator. Selain *pressure drop*, efisiensi juga sangat dipengaruhi oleh transfer panas keluar sistem. Pada praktiknya, kalor yang dibawa oleh *steam* tidak sepenuhnya digunakan untuk memisahkan konsentrat dan destilat, melainkan juga didapat kalor yang lepas pada pipa dari *boiler* menuju evaporator, dan bahkan perpindahan panas keluar sistem juga terjadi pada evaporator. *Pressure drop* serta pelepasan kalor ke lingkungan tidak dapat dicegah, melainkan hanya dapat dikurangi dampaknya pada sistem evaporasi.

Selain *pressure drop* dan transfer panas keluar sistem, penurunan efisiensi kalor juga dapat disebabkan karena reaksi antara limbah radioaktif cair dengan peralatan yang digunakan (korosi, kerak). Korosi dan kerak pada permukaan penghantar panas dapat menghambat proses perpindahan panas pada evaporator sehingga dibutuhkan *steam* yang lebih banyak agar evaporasi berjalan normal. Selain itu, penurunan efisiensi kalor dapat disebabkan karena terdapat pipa yang bocor, kesalahan alat ukur, dan sebagainya.

KESIMPULAN

Dari kegiatan diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa kinerja alat evaporator masih baik dengan evaluasi efisiensi sistem evaporasi pasca blowdown bulan oktober tanggal 2, 7 dan 9 oktober 2017 adalah 59.98%, 57.99% dan 56.236%. Hal-hal yang mempengaruhi efisiensi yaitu *pressure drop* pada pipa, transfer panas ke lingkungan, pembentukan korosi dan kerak, serta berbagai hal yang dapat memengaruhi kualitas *steam*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Benedict, M., Pigford, T. H., & Levi, H. W. (1981). *Nuclear Chemical Engineering*. New York: McGraw-Hill.
- [2] *Evaporation System, System Note RWI 220 NJM 0001*. (t.thn.).
- [3] Walman, E. (1994). *Evaporasi*. Serpong: Pusat Teknologi Pengolahan Limbah Radioaktif Badan Tenaga Atom Nasional.
- [4] <http://nptel.ac.in/courses/103103032/module9/lec38/3.html>. (t.thn.). Dipetik February 28, 2017, dari NPTEL Web site: <http://nptel.ac.in/courses/103103032/module9/lec38/3.html>
- [5] *Badan Tenaga Nuklir Nasional - Sejarah*. (t.thn.). Dipetik February 27, 2017, dari BATAN Web site: <http://www.batan.go.id/index.php/id/home/sejarah>
- [6] Nagasaki, S. (2015). *Radioactive Waste Engineering and Management*. Tokyo: Springer.
- [7] Purnomo, S., Setyawan, A., & Aji, D. (2015). Karakterisasi Limbah Radioaktif Cair untuk Kesesuaian Proses Evaporasi. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengolahan Limbah XIII Tahun 2015*, (hal. 37-43).

