

## EVALUASI HASIL ANALISIS EFISIENSI KINERJA SISTEM EVAPORATOR IPLR TAHUN 2014-2017

Ajrieh Setyawan, Nurrandi Mayas Sujati

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-Badan Tenaga Nuklir Nasional

Kawasan PUSPIPTEK Serpong Gedung 50

E-mail: ajrieh@batan.go.id

### ABSTRAK

EVALUASI HASIL ANALISIS EFISIENSI KINERJA SISTEM EVAPORATOR IPLR TAHUN 2014-2017. Evaporator merupakan instrumen utama pengolahan limbah radioaktif cair. Mengingat sistem evaporasi telah beroperasi selama lebih dari 30 tahun, maka dilakukan evaluasi hasil analisis efisiensi kinerja evaporasi selama tahun 2014-2017. Efisiensi kalor dihitung dengan data *real input dan output steam* pada sistem pengolahan dan data dukung karakterisasi selama operasi evaporasi. Berdasarkan hasil observasi dan analisa alat evaporator tahun 2014 hingga 2017 didapatkan bahwa sistem evaporasi memiliki efisiensi sebesar 83,10%, 78,36%, 79,38% dan 61,38%. Asumsi yang dapat mempengaruhi efisiensi kalor yaitu *pressure drop* pada pipa, transfer panas ke lingkungan, pembentukan korosi dan kerak, serta berbagai hal yang dapat memengaruhi kualitas *steam*.

Kata Kunci : efisiensi, evaporasi, kalor, limbah radioaktif.

### ABSTRACT

EVALUATION OF ANALYSIS OF PERFORMANCE EFFICIENCY OF IPLR EVAPORATOR SYSTEM 2014-2017. Evaporator is the main instrument of processing liquid radioactive waste. Given that the evaporation system has been in operation for more than 30 years, so be needed an evaluation of the efficiency analysis of evaporative performance during 2014-2017. The heat efficiency is calculated by real input and steam output data on the processing system and characterization support during the evaporation operation. Based on the observation and analysis of evaporator equipment from 2014 until 2017, it was found that the evaporation system has efficiency of 83.10%, 78.36%, 79.38% and 61.38%. Assumptions that may affect the efficiency of the heat are pressure drop on pipes, heat transfer to the environment, corrosion and crust formation, and various things that can affect the quality of steam.

Keywords: efficiency, evaporation, heat, radioactive waste.

### PENDAHULUAN

Evaporasi dapat didefinisikan sebagai suatu operasi dimana suatu larutan dipisahkan berdasarkan volatilitasnya. Evaporasi dilakukan dengan menguapkan sebagian dari pelarut, sehingga didapatkan larutan zat cair pekat yang konsentrasinya lebih tinggi. Dalam evaporasi, sisa penguapan adalah zat cair yang sangat viskos dan bukan zat padat. Selain itu, evaporasi juga berbeda dengan destilasi, karena uapnya komponen tunggal. Meskipun uap tersebut merupakan campuran, pada proses evaporasi ini hanya berlangsung untuk pemekatan larutan, bukan pembuatan zat padat atau kristal. Selama proses evaporasi, harus diberikan kalor untuk menyediakan energi yang diperlukan untuk mengubah komponen volatil menjadi fase gas [1]

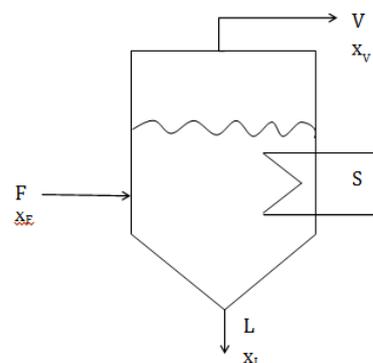
Perpindahan panas dan perpindahan massa adalah dua proses dasar yang terjadi dalam proses penguapan / evaporasi. Konsep perpindahan panas keseluruhan dipakai dalam perlakuan sistem evaporator, dengan persamaan umum seperti yang dinyatakan dalam heat transfer (Perpindahan Panas) : [2]

$$Q = U A \Delta T$$

Dimana  $Q$  menyatakan kecepatan perpindahan panas yang melewati bidang pemanas,  $U$  adalah

Koefisien perpindahan panas,  $A$  adalah luas permukaan perpindahan panas, dan  $\Delta T$  adalah beda suhu. Tujuan evaluasi hasil analisis kinerja sistem evaporator untuk menghitung nilai efisiensi kinerja evaporator pada pengolahan limbah radioaktif cair dari tahun 2015-2017 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

### Neraca Bahan



Gambar 1: Diagram *single effect evaporator* [3]

Gambar 1 memperlihatkan diagram evaporator yang disederhanakan, dimana bidang pemanas dinyatakan oleh aliran S. Misalkan umpan masuk evaporator dengan kecepatan F kg/jam dan mengandung zat padat dengan fraksi massa  $x_F$ . Zat hasil yang meninggalkan evaporator berupa cairan pekat sebanyak L kg/jam dan mengandung solut dengan fraksi berat  $x_L$ . Di samping itu dihasilkan pula V kg/jam uap yang mempunyai konsentrasi solut  $x_V$ . Persaman neraca bahan total dan neraca bahan solut di evaporator adalah: [3]

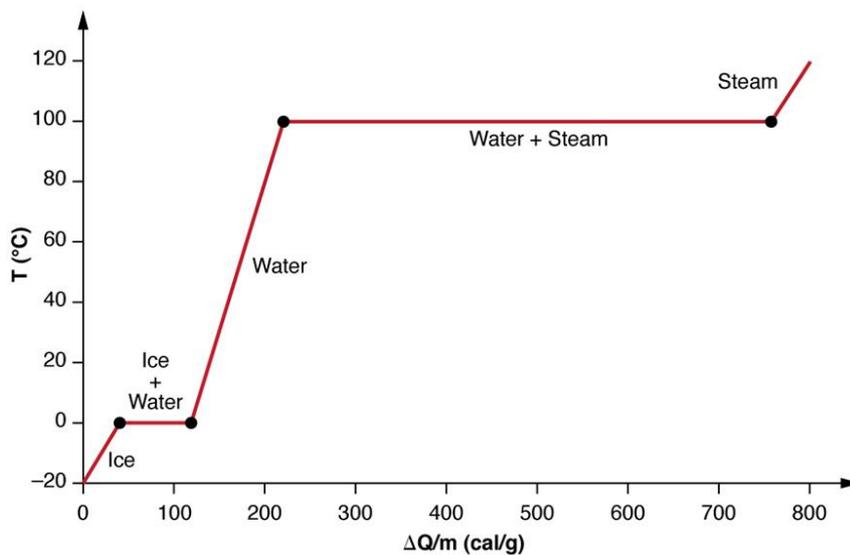
$$F = L + V \dots\dots\dots(1)$$

$$F x_F = L x_L + V x_V \dots\dots\dots (2)$$

Umumnya di dalam uap tidak terdapat solut, sehingga  $x_V$  sama dengan nol, sehingga persamaannya menjadi:

$$F x_F = L x_L \dots\dots\dots(3)$$

**Kalor Sensibel dan Kalor Laten**



Gambar 2 : Grafik suhu vs kalor spesifik [3]

Gambar di atas menunjukkan ada 2 jenis hubungan antara energi kalor yang dimiliki suatu materi dengan temperatur.

$$Q = m c_p \Delta T \dots\dots\dots(4)$$

1. Kenaikan temperatur sebanding dengan energi yang dimiliki  
 Sesuai dengan grafik di atas maka terdapat hubungan garis lurus antara  $\Delta Q/m$  dengan T. Untuk menghubungkan kedua variabel tersebut maka didefinisikan sebuah koefisien  $c_p$  (kapasitas panas spesifik). Kapasitas panas spesifik yaitu jumlah kalor per satuan massa yang dibutuhkan untuk menaikkan temperaturnya sebanyak 1 satuan suhu. Sehingga hubungan antara Q dan T yaitu: [3]

Dimana  $\Delta T$  merupakan selisih antara suhu suatu materi dengan suhu referensinya.  
 Kalor yang dibutuhkan pada saat menaikkan temperatur disebut dengan kalor sensibel.

2. Tidak terjadinya kenaikan temperatur pada saat perubahan fase  
 Pada saat perubahan fase, kalor yang diterima suatu materi digunakan untuk mengubah fase materi tersebut, sehingga tidak terjadi peningkatan suhu pada titik tersebut. Oleh karena itu tidak terdapat

hubungan antara Q dan T, melainkan dikenal sebuah variabel yang diberi nama kalor laten spesifik, dengan hubungan sebagai berikut. [3]

$$Q = mL \dots\dots\dots(5)$$

L merupakan besarnya jumlah energi per satuan massa yang dibutuhkan suatu materi untuk berubah fase. Nilainya

bervariasi berdasarkan jenis materi yang diberikan kalor.

**METODOLOGI**

**1. Pengumpulan data**

Data mengenai kinerja evaporator dan fasilitas pendukung evaporator diambil dari log book operasi evaporasi tiap tahun. Data – data yang diambil yaitu :

Temperatur (°C)					
Tahun	Steam In	Steam Out	Feed	Vapour	Konsentrat
2014	98	100	25	100	28
2015	98	105	25	105	30
2016	100	105	25	105	30
2017	100	105	25	103	28

Massa (Kg/s)			
Tahun	Steam Aktual	Feed	Konsentrat
2014	0,361	0,27	0,004
2015	0,27	0,214	4,41.10 <sup>-4</sup>
2016	0,354	0,208	0,002
2017	0,347	0,45	0,03

**Asumsi**

- a) Suhu limbah masuk sama dengan suhu ruangan (25°C)
- b) Suhu steam keluar sama dengan suhu vapour
- c) Cp limbah sama dengan Cp konsentrat
- d) Tidak ada kenaikan titik didih pada limbah, konsentrat, dan steam
- e) Nilai konsentrasi massa pelarut (air) sama dengan densitasnya

(An Engineering Approach, 5<sup>th</sup> edition, Cengel M Yunus and Michael A. boles).

Berikut tahapan-tahapan menghitung efisiensi dari evaporator

Menghitung Q Total : Q sensible + Q latent

Menghitung Efisiensi : (Uap yg dihasilkan ÷ Uap aktual)\*100%

**2. Study Literature**

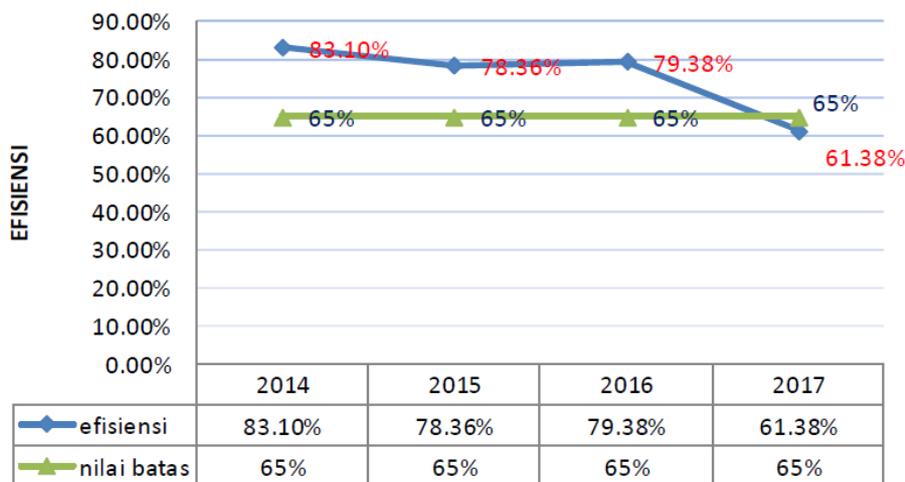
Metode *study literature* ini dilakukan dengan membaca literatur-literatur yang berkaitan dengan Efisiensi Kinerja Evaporator pada Pengolahan Limbah Radioaktif Cair. serta mengutip referensi tertulis seputar hal yang dibutuhkan. Beberapa referensi berupa artikel, jurnal ilmiah, proposal serta buku-buku penunjang lainnya yang berkaitan dengan perhitungan.

Dalam menghitung efisiensi evaporator yang perlu diperhatikan adalah mencari nilai specific entalpi yang didapat diperoleh dari tabel steam

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Analisis efisiensi kalor dilaksanakan dengan tujuan untuk mengetahui efisiensi penggunaan energi kalor dalam pengolahan limbah radioaktif secara evaporasi di PTLR selama tahun 2014 – 2017. Hasil analisa efisiensi dapat dilihat pada tabel 1.

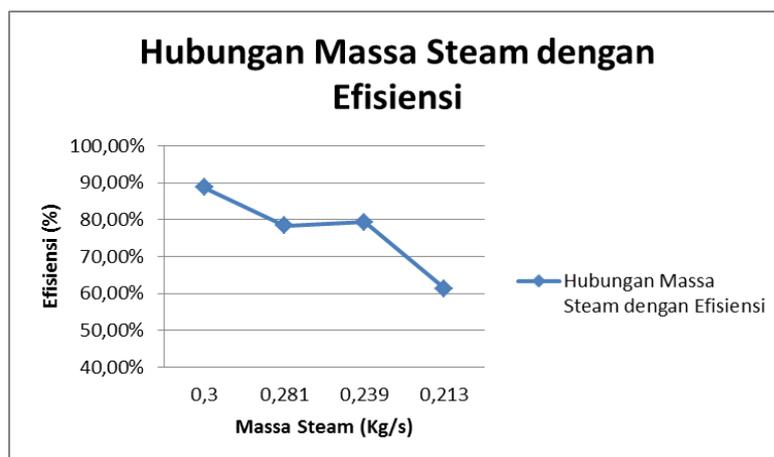
Tabel 1. Analisa Performa Efisiensi Evaporasi tahun 2014 – 2017.



Dari tabel 1. hasil analisis 2014 hingga 2017 didapatkan bahwa sistem evaporasi memiliki efisiensi kalor sebesar 83,10%, 78,36%,79,38% dan 61,38% . Angka tersebut didapat melalui perbandingan jumlah steam yang digunakan pada sistem evaporasi di PTLR dengan jumlah steam yang digunakan pada sistem ideal. Nilai efisiensi kalor terjadi penurunan pada tahun 2015 yang sebelumnya 83,10% menjadi 78,36%. Namun, pada tahun 2016 terjadi sedikit peningkatan efisiensi kalor

menjadi 79,38%. Terjadinya kenaikan nilai efisiensi kalor dikarenakan terjadinya perbaikan alat ukur dan pembersihan kerak pada plat perpindahan panas didalam evaporator pada tahun 2016. Pada tahun 2017 terjadi penurunan nilai efisiensi kalor yang cukup signifikan yang sebelumnya 79,38% menjadi 61,38% hal ini dapat disebabkan karena pada periode operasi 2016 dan 2017 belum dilakukannya perendaman menggunakan asam nitrat untuk menghilangkan potensi sumbatan gumpalan keras dan kerak dalam sistem evaporator.

Tabel 2. Hubungan massa steam dengan nilai efisiensi tahun 2014 – 2017.



Parameter lain penyebab 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* dan pelepasan kalor kelingkuangan 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 hasil analisis 2014 hingga 2017 didapatkan bahwa sistem evaporasi memiliki efisiensi kalor sebesar 83,10%, 78,36%, 79,38% dan 61,38% . Angka tersebut didapat melalui perbandingan jumlah *steam* yang digunakan pada sistem evaporasi di PTLR dengan jumlah *steam* yang digunakan pada sistem ideal.

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. Walman, Edo. Diklat Operasi Teknik Kimia Pengolahan Limbah Radioaktif. Serpong: BATAN, (1994).
2. Benedict, M., Pigford, T. H., & Levi, H. W. *Nuclear Chemical Engineering*. New York: McGraw-Hill,
3. *Evaporation System, System Note RWI 220 NJM 0001*. (1981).
4. Johan, Bahdir. Buletin Limbah. Serpong: P2PLR-BATAN, (2000).
5. Nicholas. *Handbook of Chemical Equipment*. Boston: Butterworth-Heinemann, (2000).
6. Brown. 1978. Unit Operation. New York: J.Wiley and Sons

## Tanya Jawab

Penanya : Sri Wahyuningsih

Pertanyaan :

1. Apa yang dilakukan untuk meningkatkan efisiensi kinerja sistem evaporator IPLR.

Jawaban :

1. Yang dilakukan untuk meningkatkan efisiensi kinerja :
  - a. meminimalisir *pressure drop* dan transfer panas yang keluar sistem yaitu dengan menghilangkan/mengurangi sambutan dalam pemipaan, perbaikan sistem pemipaan .
  - b. meminimalisir kerak/ korosi : kerak dan korosi akan menghambat proses perpindahan panas pada evaporasi. Salah satu solusinya dengan melakukan perendaman asam pada saat selesai evaporasi setelah konsentrat dijadikan limbah untuk imobilisasi.

