

## EVALUASI PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF CAIR SECARA EVAPORASI

Bambang Sugito

PTLR-BATAN Kawasan Puspipstek Setu Tangerang Selatan

### ABSTRAK

**EVALUASI PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF CAIR SECARA EVAPORASI.** Unit evaporasi di bangun untuk mengolah limbah radioaktif cair aktivitas rendah dan sedang yang berasal dari Pusat Reaktor Serba Guna ( PRSG) beserta laboratorium pendukungnya. Limbah radioaktif cair sebelum di evaporasi terlebih dahulu dilakukan *pretreatment* seperti pengaturan pH serta homogenisasi. Limbah radioaktif cair dari PRSG memiliki karakteristik yang sesuai untuk diolah secara evaporasi, seperti aktivitas :  $10^{-6} \text{ Ci/m}^3 < \text{aktivitas beta} > 2 \cdot 10^{-2} \text{ ci/m}^3$ , tidak mengandung bahan organik, tidak mengandung bahan yang mudah meledak, tidak korosif dan lain-lain. Proses evaporasi dikendalikan melalui panel komando evaporasi I 22001. Operasi evaporasi yang tidak kontinyu karena kerusakan Boiler mengakibatkan penunjukan parameter ukur kurang meyakinkan, selain itu umur evaporasi yang sudah lebih dari 25 tahun perlu mendapat perhatian agar penunjukan parameter ukur masih sesuai standar yang ditetapkan. Hal ini dilakukan dengan membandingkan catatan penunjukan parameter ukur dengan standar alat proses evaporasi. Selama tahun 2016 evaporator bisa mengolah limbah radioaktif cair sebanyak  $66 \text{ m}^3$  dan penunjukan masih sesuai dengan standar alat.

Kata Kunci : evaporasi, pengolahan limbah, radioaktif cair

### ABSTRACT

**EVALUATION OF RADIOACTIVE WASTE TREATMENT IN EVAPORATION.** The evaporative unit is built to treat the low and medium activity liquid radioactive waste from the Multipurpose Reactor Center (PRSG) and its supporting laboratory. Liquid radioactive wastes prior to evaporation are pretreatment such as pH adjustment and homogenization. The liquid radioactive waste of the PRSG has the appropriate characteristics for evaporative processing, such as:  $10^{-6} \text{ Ci / m}^3 < \text{beta activity} > 2 \cdot 10^{-2} \text{ ci / m}^3$ , contains no organic material, does not contain explosive materials, not corrosive and others. The evaporation process is controlled through command panel evaporation I 22001. Non-continuous evaporative operation due to Boiler damage resulted in the appointment of less convincing parameters, in addition to the age of evaporation that has been more than 25 years need attention so that the measurement parameters are still in accordance with established standards. This is done by comparing the records of reference parameters to the standard evaporation tool. During the year 2016 evaporator can process liquid radioactive waste as much as  $66 \text{ m}^3$  and the appointment is still in accordance with the standard tool.

Keywords : evaporation, waste managemen, liquid radioactive

### PENDAHULUAN

Pemanfaatan teknologi nuklir pada saat ini semakin berkembang dan maju. Teknologi nuklir banyak digunakan di bidang industri, kedokteran, dan kegiatan penelitian dan pengembangan. Di bidang industri, sumber-sumber radiasi misalnya Co-60, Cs -137, Ir-192 banyak digunakan untuk keperluan sterilisasi alat kesehatan dan pengawetan bahan makanan, *level gauge*, *thickness gauge*, uji tak merusak/ radioografi dan lain-lainnya. Dalam bidang kedokteran, pemanfaatan zat radioaktif digunakan pada kegiatan radioterapi untuk membunuh sel-sel kanker atau tumor

Disamping memberikan manfaat yang sangat besar, pemanfaatan teknologi nuklir juga berpotensi menimbulkan limbah radioaktif yang berbahaya bagi masyarakat dan lingkungan. Limbah radioaktif didefinisikan sebagai zat radioaktif dan bahan serta peralatan yang telah terkena zat radioaktif atau menjadi radioaktif

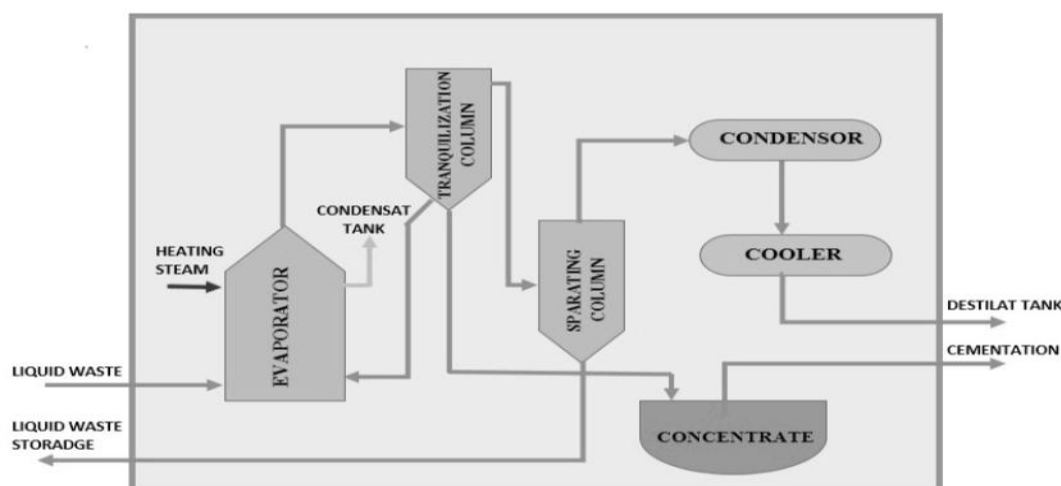
karena pengoperasian instalasi nuklir yang tidak dapat digunakan lagi.[1]

Landasan hukum tentang pengelolaan limbah radioaktif di Indonesia selain UU No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran juga Peraturan Pemerintah No. 27 Tahun 2002 tentang pengelolaan limbah radioaktif yang telah diamandemen menjadi Peraturan Pemerintah No. 61 Tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif [2]. Limbah radioaktif secara umum di bedakan menjadi beberapa macam, yaitu padat, cair, semi cair dan gas serta diklasifikasikan dalam jenis limbah radioaktif tingkat rendah, tingkat sedang, dan tingkat tinggi [3]. Limbah radioaktif ini harus dikelola sehingga tidak membahayakan atau menimbulkan dampak negatif bagi manusia dan lingkungan. Pengolahan limbah padat dan cair dilakukan melalui proses reduksi volume, kemudian dilanjutkan dengan pengungkungan unsur radioaktifnya menggunakan bahan matriks.

Selama proses evaporasi parameter ukur dicatat dalam *log sheet* proses tiap jam, hasil dari pencatatan ini akan jadi acuan untuk menilai apakah parameter ukur, indikator- indikator operasi masih berfungsi normal atau ada kelainan yang harus segera ditindaklanjuti. Limbah radioaktif cair selain diolah dengan cara evaporasi, bisa juga diolah menggunakan Penukar Ion (*Ion Exchange*), karakteristik limbah radioaktif cair yang bisa diolah dengan penukar ion, agar hasilnya maksimal hampir sama dengan limbah cair yang diolah dengan evaporasi,

ditambah dengan tidak mengandung logam-logam berat.

Kegiatan ini dilakukan untuk mengetahui operasi evaporasi selama proses dengan melihat besaran nilai parameter ukur yang ditunjukkan pada panel evaporasi dibandingkan dengan batas kerja operasi unit evaporasi. Salah satu contoh limbah cair tingkat rendah dan sedang yang harus diolah di PTLR adalah limbah cair yang ditimbulkan dari pengoperasian reaktor serbaguna GA. Siwabessy (RSG - GAS), limbah tersebut diolah dengan cara Evaporasi.



Gambar 1. Alur Proses Evaporasi

Evaporasi adalah salah satu cara untuk mengolah limbah radioaktif cair dengan cara penguapan. Limbah direduksi dalam evaporator, uap yang terbentuk dipisahkan dan diembunkan, maka diperoleh konsentrat yang mengandung semua unsur radioaktif dalam limbah cair, sedang embunan yang dihasilkan merupakan cairan yang diharapkan bebas dari semua unsur radioaktif dan bisa dibuang ke lingkungan setelah semua persyaratan dipenuhi. Alur proses evaporasi diberikan pada Gambar 1.

Limbah radioaktif cair di pompa ke evaporator, kemudian uap (*steam*) pemanas diumpankan ke bagian "*shell side*" alat penukar panas dimana *steam* mengembun, panas pengembunan dipakai untuk penguapan cairan yang tersirkulasi dalam bagian "*tube side*" alat penukar panas. Limbah radioaktif yang teruapkan dalam bagian "*tube side*" dari alat penukar panas, uapnya dengan campuran limbah tersirkulasi masuk ke dalam Kolom Penenangan arah tengensial sehingga limbah cair yang pekat (konsentrat) akan terpisah dari uapnya, kemudian limbah cair yang pekat akan masuk ke tangki konsentrat, sedang uapnya menuju samping bawah dan masuk ke Kolom Pemisah dengan arah tangensial. Dalam kolom pemisah, uap

dicuci dengan air bebas mineral, uap yang lolos dari tangki pemisah diharapkan sudah tidak mengandung radionuklida dan didinginkan menjadi cairan destilat, sedang air cucian akan mengalir secara gravitasi ke tangki cairan aktif

Karakteristik limbah cair radioaktif yang dapat diolah dengan evaporator PTLR adalah kadar ekstrak kering 5 g/l, aktivitas spesifik  $2 \times 10^{-2} \text{ Ci.m}^{-3}$ , pH 7 atau netral dan tidak mengandung bahan organik. Konsentrat sebagai hasil dari proses evaporasi akan dikungkung dalam matriks semen atau shell beton 950 l, sedang destilat setelah memenuhi persyaratan bisa di buang ke lingkungan. Destilat yang dapat dilepas ke lingkungan mempunyai kadar garam kering  $< 2,50 \times 10^{-4} \text{ gram.liter}^{-1}$ [3].

Kondisi unit evaporasi saat ini adalah proses dilaksanakan secara manual, pengaturan debit limbah dan *steam* pemanas diatur sedemikian rupa dengan memperhatikan level LR22010 dan LC 22010 pada kisaran 50 sampai 60 % agar tidak terjadi *carry over*. Prinsip sederhananya adalah mengatur agar limbah yang masuk sama dengan limbah yang teruapkan, sehingga proses akan berlangsung stabil.

## METODOLOGI

### BAHAN

Limbah radioaktif cair dari PRSG mengandung Co-60 dengan aktivitas  $1,05 \cdot 10^{-4}$  Ci/m<sup>3</sup> dan Cs-137 dengan aktivitas  $3,96 \cdot 10^{-5}$  Ci/m<sup>3</sup>, pH : 5,7, ekstrak kering 5,8 gr/m<sup>3</sup> dan beberapa logam terlarut seperti Fe, Cu, Cr dan lain lain. Bahan untuk *pre treatment* sebelum proses adalah asam nitrat (HNO<sub>3</sub>) dan soda (NaOH)

Sebelum di evaporasi limbah cair ditampung dalam tangki penampungan limbah cair yaitu tangki R 2201A/B/C dan D, masing – masing kapasitasnya 50 m<sup>3</sup>. Kemudian diambil cuplikannya untuk dianalisis apakah limbah cair radioaktif sudah memenuhi persyaratan atau belum. Jika belum memenuhi syarat limbah cair dinetralisasi menggunakan asam/ soda, sedangkan jika telah memenuhi persyaratan limbah radioaktif cair siap dievaporasi.



Gambar 2. Panel Kontrol Evaporasi I 22001

Proses evaporasi dikendalikan dari panel Evaporasi I 22001 dapat dilihat pada Gambar 2,. Pada panel kontrol evaporasi diatas terdapat alur proses, tangki-tangki, pompa-pompa, tombol pompa dan *valve*, level indikator tangki, *counter* limbah cair masuk (FQ 22001), parameter suhu, tekanan, laju alir limbah dan *steam*, densitas, konduktivitas dan beberapa parameter yang lain.

Limbah cair dipompa menggunakan Pompa P 22004 atau pompa P 22005 ke alat penukar panas Evaporator E 22001 dengan cara pengaliran melalui pipa yang dilewatkan dalam tangki penampung untuk mengambil panas dari konsentrat R 22004. Pengaturan *steam* dan laju alir air limbah dikendalikan dari panel I 22001, termasuk pemantauan parameter ukur unit evaporasi dilihat dan di catat melalui penunjukan di panel evaporasi I 22001. Limbah cair masuk pada bagian "*tube side*" pada suhu 28°C, sedang *steam* yang bertekanan 4,5 - 5 bar masuk pada bagian "*shell side*". Dengan demikian limbah cair akan menjadi panas, mendidih dan mengalir ke kolom penenang R 22010 arah tangensial, sehingga uap limbah cair yang terkonsentrasi akan terpisah, konsentrat (pekatan) masuk ke tangki penampung konsentrat R 22004, sedangkan uapnya sebelum mengalir ke tangki pemisah D 22001 akan melewati "*buffle*" pada bagian puncak kolom yang memungkinkan

terjadi penahanan sebagian cairan yang terbawa oleh uap tersebut. Uap air selanjutnya akan mengalir ke bagian bawah kolom pemisah D 22001, didalam kolom pemisah uap air akan dicuci menggunakan air bebas mineral. Kontak muka antar fase terjadi pada 5 stage "*buble cap*" yang terakhir, sedang air bebas mineral masuk melalui kolom bagian atas tangki pemisah D 22001 akhirnya uap melewati sebuah "*mist eliminator*" pada bagian puncak kolom, disitu terjadi penahanan kandungan cairan yang masih terbawa dalam "*buble cap*" yang terakhir, sedang air bekas cucian mengalir secara gravitasi ke tangki penampung *effluent active* R 22002.

Uap yang lolos melalui "*mist eliminator*" akan masuk ke kondensor E 22002 pada bagian "*shell side*" sehingga uap akan mengembun karena pendingin yang mengalir melalui "*tube side*". Gas yang tidak terkondensi yang keluar dari *condenser* E 22002 akan menuju sirkuit offgas. Destilat yang terbentuk dari uap yang didinginkan pada *condenser* E 22002 bergerak menuju bagian "*tube side*" dari *cooler* E 22003, kemudian destilat yang terjadi bergerak menuju ke tangki destilat R 22006A atau R 22006B. Destilat yang dapat dilepas ke lingkungan mempunyai kadar garam kering < 2,50 gram.liter<sup>-1</sup>. [4]

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Selama tahun 2016 evaporator bisa dioperasikan mulai akhir bulan Agustus 2016 karena pada awal tahun Boiler mengalami kerusakan. Sampai akhir Desember 2016 evaporator dioperasikan selama 20 kali operasi dengan volume 66 m<sup>3</sup>. Selain diproses secara evaporasi limbah cair dari RSG-GAS juga diolah secara penukar ion, pengoperasian secara penukar ion baru dalam tahap uji coba dan

pengembangan. Proses evaporasi disamping untuk mengolah limbah radioaktif cair juga untuk pengujian /pengecekan parameter ukur evaporasi, karena dengan dioperasikannya unit evaporasi akan diketahui unjuk kerja dari *level indicator*, temperatur, densitas, debit limbah dan juga debit *steam* serta parameter ukur yang lain. Pada operasi evaporasi limbah cair PRSG tersebut didapat data – data parameter ukur evaporasi seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data operasi unit evaporasi selama tahun 2016

No.	Parameter Ukur	Standar	Penunjukkan	Keterangan
1	Flowrate Recorder FR 22001 m <sup>3</sup> /h	0,8-1,5	0.8 - 1.05	Normal
2	Flowrate Recorder FR 62501 t/h	1,18	0.45 – 1.6	Normal
3	Temperature Recorder TR 62501 °C	105	102	Normal
4	Pressure Indicator PI 62501 bar	5	4,7 - 4,8	Normal
5	Flowrate Indicator FI 62201 L/h	100-250	191 - 200	Normal
6	Flowrate Indicator FI 62104 %	100	94 - 95	Normal
7	Temperature Indicator TI 22014 °C	30	27 - 29	Normal
8	Pressure Indicator PI 62104 kg/m <sup>3</sup>	6	4 - 6	Normal
9	Level Recorder LR 22010 %	60	48 – 55	Normal
10	Densitas Recorder DR 22001 kg/m <sup>3</sup>	960-1117	230 - 1020	Normal
11	Pressure Recorder PR 22012 mbar	60	50 - 60	Normal
12	Temperature Recorder TR 22001 °C	104	100 - 104	Normal

Dari Tabel 1 di atas bisa dilihat bahwa parameter ukur pada saat proses evaporasi masih dalam *range* yang diijinkan, hanya pada FR 62501 penunjukkan masih fluktuasi karena penunjukkan jarum tersebut sangat dipengaruhi transmitter FCZ 62501 karena *steam* pemanas transmitter tersebut keburu dingin terkondensasi dan menyumbat tekanan *steam* sehingga transmitter tidak bisa bekerja dengan baik. Hal ini membuat penunjukkan tidak valid, oleh karena itu operator harus sering mengontrol transmitter tersebut dan membuang cairan

kondensat *steam* dengan cara mengendorkan baut pada FCZ 62501 sehingga air kondensasi akan mengalir keluar sampai terlihat yang keluar adalah *steam* dan selanjutnya baut diikencangkan kembali[5][6].

PTLR memiliki 2 buah Boiler E6261A dan E6261B sebagai pembangkit uap (*steam*) untuk pemanas evaporator, tahun 2016 Boiler E6261A rusak dan yang bisa dioperasikan Boiler E6261B, proses evaporasi hanya dioperasikan harian karena tidak ada pengganti jika salah satu Boiler rusak di saat proses berlangsung. Pada

triwulan III dan IV tahun 2016, proses evaporasi bisa dilaksanakan 20 kali. Tabel proses

ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tanggal proses Evaporasi

No	Tanggal Proses	Volume limbah cair terolah (m <sup>3</sup> )
1	13 April 2016	0,5
2	9 Mei 2016	5
3	10 Mei 2016	4
4	11 Mei 2016	1,5
5	30 Mei 2016	5
6	30 Agustus 2016	2
7	31 Agustus 2016	4,5
8	1 September 2016	4
9	5 September 2016	3
10	6 September 2016	5
11	7 September 2016	4
12	8 September 2016	0,5
13	11 Oktober 2016	5
14	18 Oktober 2016	5
15	20 Oktober 2106	3,5
16	14 Nopember 2016	3
17	15 Nopember 2016	5
18	21 Nopember 2016	2
19	22 Nopember 2016	0,5
20	23 Nopember 2016	4
	Jumlah	66

Pada tanggal 8 September 2016 Evaporator dimatikan pukul 09.30 karena LI R22002 (penampung cairan effluent aktif) penuh, operasi dihentikan sampai effluent aktif di rilis ke PBT (Pantauan Buangan Terpadu). Kualitas destilat dan aktif effluent tidak terdeteksi sehingga bisa di lepas ke lingkungan.

Secara keseluruhan proses evaporasi selama tahun 2016 bisa mengolah limbah cair sebanyak 66 m<sup>3</sup> (lihat Tabel 2) dan bisa dioperasikan secara nyaman tanpa ada gangguan proses yang berarti dan alarm kegagalan proses jarang terdengar. Proses selanjutnya akan dilaksanakan pada triwulan 1 tahun 2017.

## KESIMPULAN

Selama tahun 2016, evaporator bisa dioperasikan untuk mengolah limbah radioaktif cair sebanyak 66 m<sup>3</sup>. Proses evaporasi dilaksanakan dengan nyaman tanpa fluktuasi yang berlebihan dengan mengatur besaran aliran umpan limbah cair dan besarnya penguapan mendekati seimbang. Parameter ukur proses evaporasi masih dalam range yang diijinkan berdasarkan catatan dalam log sheet proses evaporasi. Kestabilan pengoperasian/ pengiriman sistem penunjang dari BPFL (Bidang Pengembangan Fasilitas Limbah) juga sangat membantu dalam kegiatan proses evaporasi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada teman-teman di Sub Bidang Pengelolaan Limbah Radioaktif atas kerja samanya dalam proses pengolahan limbah radioaktif cair secara evaporasi, demikian juga teman-teman dari BPFL atas pengoperasian seluruh sistem pendukung proses evaporasi, semoga kerja sama yang telah terjalin baik selama ini bisa dipertahankan dan ditingkatkan di masa yang akan datang.

## DAFTAR PUSTAKA

1. UU No. 10 Tahun 1997 Tentang Ketenaganukliran
2. PP. No 61 Tahun 2013 Tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif
3. Bahdir Johan DKK, Pengolahan Limbah Cair Melalui Proses Evaporasi P2PLR-BATAN
4. Imam Sasmito," Choaching Pengoperasian dan Perawatan Evaporasi
5. IPLR," PTLR, 9 April 2007 s/d 6 Juni 2007
6. Techatome," Liquid Waste Treatment by Evaporation", Operating manual; WSPG 220 UKT 9001 Paris, 19.06.1985.