

# Urania

## Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir

Beranda jurnal: <http://jurnal.batan.go.id/index.php/urania/>



### STUDI KELAYAKAN *YELLOWCAKE* HASIL SAMPING PETROKIMIA GRESIK SEBAGAI BAHAN BAKU PROSES PEMURNIAN DAN KONVERSI DI FASILITAS *PILOT CONVERSION PLANT*

Ade Saputra<sup>1</sup>, Erilia Yusnitha<sup>1</sup>, Imam Abdurrosyid<sup>1</sup>, Ratih Langenati<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir - BATAN

Kawasan PUSPIPTEK Serpong Gd. 65, Tangerang Selatan, Banten 15314

e-mail: [ade-saputra@batan.go.id](mailto:ade-saputra@batan.go.id)

(Naskah diterima: 19–04–2021, Naskah direvisi: 31–05–2021, Naskah disetujui: 28–06–2021)

#### ABSTRAK

**STUDI KELAYAKAN *YELLOWCAKE* HASIL SAMPING PETROKIMIA GRESIK SEBAGAI BAHAN BAKU PROSES PEMURNIAN DAN KONVERSI DI FASILITAS *PILOT CONVERSION PLANT*.** Fasilitas *Pilot Conversion Plant* (PCP) telah berhasil digunakan untuk pemurnian dan konversi *yellowcake* komersial dari Cogema – Perancis. Sehingga, untuk mendukung kemandirian bangsa, dilakukan pengkajian proses pemurnian dan konversi menggunakan sumber *yellowcake* dalam negeri. Salah satu sumber *yellowcake* dalam negeri adalah *yellowcake* hasil samping proses yang dilakukan di Petrokimia Gresik. Dengan demikian dapat diketahui karakteristik dan sifat khusus *yellowcake* Petrokimia Gresik dan peluang penggunaan PCP sebagai fasilitas pemurnian dan konversi *yellowcake* tersebut. Kegiatan pengkajian dilakukan dengan membandingkan karakteristik sifat kimia dan fisika *yellowcake* Petrokimia dengan *yellowcake* Cogema yang telah berhasil diproses di PCP. Informasi primer mengenai karakteristik kedua *yellowcake* didapatkan dari hasil analisis yang telah dilakukan, sedangkan informasi sekunder didapatkan dari literatur terkait. Informasi tersebut digunakan juga untuk menentukan parameter proses yang diperlukan di PCP untuk pemurnian dan konversi *yellowcake* dari Petrokimia Gresik. Hasil pengkajian ini menunjukkan bahwa *yellowcake* Petrokimia Gresik layak digunakan sebagai umpan proses pemurnian dan konversi di PCP. *Yellowcake* Petrokimia Gresik lebih mudah ditangani namun memerlukan asam nitrat lebih banyak dibandingkan pelarutan *yellowcake* Cogema. Nilai parameter proses pemurnian dan konversi *yellowcake* Petrokimia Gresik yang telah didapatkan meliputi proses pelarutan *yellowcake*, pemurnian uranyl nitrat, pemekatan uranyl nitrat, pengendapan uranyl nitrat menjadi ammonium diuranat (ADU), pengeringan serbuk ADU, kalsinasi ADU menjadi serbuk  $U_3O_8$  dan reduksi serbuk  $U_3O_8$  menjadi serbuk  $UO_2$  untuk *yellowcake* Petrokimia Gresik tidak berbeda dengan *yellowcake* Cogema.

**Kata kunci:** PCP, Pemurnian *yellowcake*, Konversi *yellowcake*, *Yellowcake* Petrokimia.

## **ABSTRACT**

**STUDY OF GRESIK PETROKIMIA'S BY-PRODUCT YELLOWCAKE AS RAW MATERIAL FOR PURIFICATION AND CONVERSION PROCESS IN THE PILOT CONVERSION PLANT FACILITY.** *The Pilot Conversion Plant (PCP) facility has been successfully used for the purification and conversion of commercial yellowcake from Cogema – France. Thus, to support self-reliance of the nation, an assessment of the purification and conversion process of domestic yellowcake was carried out. One of domestic sources of yellowcake is the by-product of a process carried out at Petrokimia, Gresik. This study was carried out by comparing the characteristics of the chemical and physical properties of Petrokimia's yellowcake to those of Cogema's yellowcake which has been used at the PCP. Primary information was obtained from analysis results while secondary information was obtained from related literatures. The information obtained is also used to determine the process parameters needed by the PCP for the purification and conversion process. The results of this study show that Petrokimia's yellowcake is suitable to be used as the feed of purification and conversion process at the PCP facility. In addition, Petrokimia's yellowcake is easier to handle although requires more nitric acid than Cogema yellowcake dissolution. The parameters values of Petrokimia's yellowcake purification and conversion process that have been obtained include dissolution of yellowcake, purification of uranyl nitrate, uranyl nitrate concentrating, precipitation of uranyl nitrate into ammonium diuranate (ADU), drying of ADU powder, calcination of ADU into  $U_3O_8$  powder and reduction of  $U_3O_8$  powder into  $UO_2$  powder, which are no different from the parameters values for Cogema's yellowcake processing.*

**Keywords:** *PCP, Yellowcake purification, Yellowcake conversion, Petrokimia's yellowcake.*

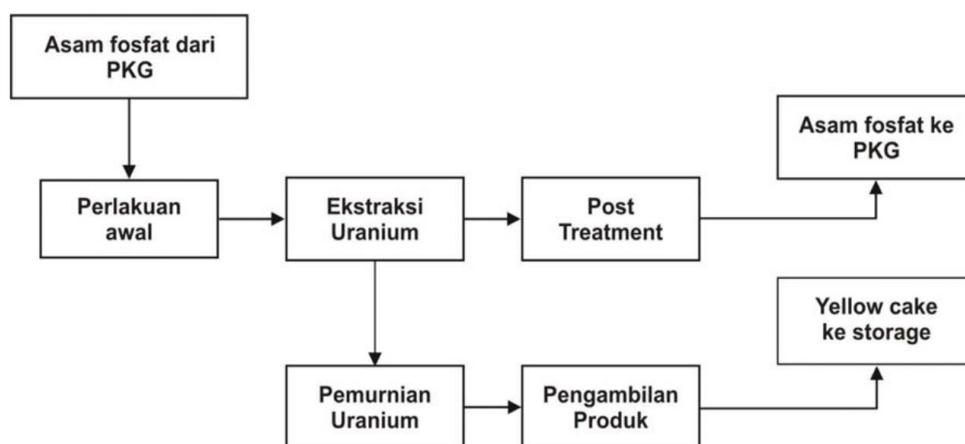
## PENDAHULUAN

Fasilitas *Pilot Conversion Plant* (PCP) yang dimiliki oleh Instalasi Elemen Bakar Eksperimental (IEBE) telah berhasil melakukan proses pemurnian dan konversi *yellowcake* pada tahun 2018 [1]. Proses tersebut melalui beberapa tahapan proses kimia yaitu proses pelarutan *yellowcake*, proses pemurnian uranil nitrat, proses pemekatan uranil nitrat, proses pengendapan uranil nitrat menjadi ammonium diuranat (ADU), proses kalsinasi dan proses reduksi. Pada proses pemurnian dan konversi yang telah dilakukan tersebut, bahan baku yang digunakan adalah *yellowcake* komersial Cogema (sebelumnya bernama Areva) yang merupakan hasil tambang yang dilakukan perusahaan asal Perancis di beberapa negara seperti Kanada dan Kazakhstan [2],[3].

Berdasarkan rencana strategis (Renstra) Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) tahun 2020-2024 pada Peraturan BATAN No. 6 Tahun 2020 dan Renstra Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN) tahun 2020-2024 diamanatkan pelaksanaan kegiatan penelitian, pengembangan, pengkajian dan penerapan (litbangjirap) teknologi bahan bakar nuklir yang mampu meningkatkan kemandirian dengan memanfaatkan kandungan lokal secara maksimal [4], [5]. Sehingga, untuk mendukung

kemandirian bangsa khususnya terkait pemanfaatan sumber daya alam dalam negeri, dilakukan pengkajian proses pemurnian dan konversi di PCP menggunakan sumber *yellowcake* dalam negeri. Salah satu sumber *yellowcake* dalam negeri tersebut adalah *yellowcake* hasil samping proses yang dilakukan di Petrokimia Gresik.

*Yellowcake* dari Petrokimia Gresik ini merupakan hasil samping dari pengolahan batuan fosfat dalam proses pembuatan pupuk fosfat [6]. Sebagian besar uranium yang terkandung dalam batuan fosfat menjadi kontaminan pada produk pupuk fosfat yang dihasilkan. Sehingga Petrokimia Gresik melakukan proses pemurnian untuk menghilangkan kontaminan uranium dari pupuk fosfat dengan metode ekstraksi di fasilitas pemurnian asam fosfat – Petrokimia Gresik (PAF – PKG) [7]. Proses pemurnian tersebut menghasilkan hasil samping / limbah yang mengandung uranium dengan kadar 110-180 ppm untuk kemudian disimpan dalam bentuk *yellowcake* dengan konsentrasi  $U_3O_8$  sekitar 85% [8]. Hasil studi sebelumnya menunjukkan setiap tahunnya bisa dihasilkan sebanyak 5,5 ton *yellowcake* [6],[9]. Proses pemurnian terhadap pupuk fosfat dari kontaminan uranium ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir fasilitas PAF-PKG [8].

Fasilitas PAF-PKG hanya dioperasikan pada periode april hingga juli 1989 [10] setidaknya menghasilkan 54 drum atau setara  $\pm 4,6$  ton *yellowcake* yang saat ini disimpan di PTLR [11]. Penggunaan *yellowcake* dari Petrokimia Gresik ini sebagai bahan baku proses pemurnian dan konversi untuk menghasilkan serbuk  $UO_2$  di PCP, selain

mengatasi masalah ketersediaan bahan baku untuk bahan bakar reaktor nuklir juga dapat mengatasi masalah pencemaran lingkungan oleh limbah uranium. Selain itu, kemandirian bangsa dalam pemenuhan kebutuhan bahan baku untuk produksi bahan bakar nuklir kedepannya dapat terjamin.

Beberapa penelitian skala lab telah dilakukan untuk mengetahui karakteristik, sifat pelet untuk bahan bakar nuklir dan mekanisme proses pemurnian *yellowcake* Petrokimia Gresik [6],[9],[11],[12], namun belum pernah ada yang menggunakan *yellowcake* Petrokimia Gresik sebagai umpan proses pemurnian dan konversi skala pilot yang mampu menghasilkan 100 kg UO<sub>2</sub> perhari seperti di PCP. Oleh karena itu dilakukan kajian literatur, untuk mengetahui peluang penggunaan *yellowcake* Petrokimia Gresik sebagai pengganti bahan baku *yellowcake* Cogema asal Perancis yang digunakan di PCP saat ini.

Dengan demikian, PCP sebagai fasilitas awal dalam proses pemurnian dan konversi *yellowcake* menjadi serbuk UO<sub>2</sub> berderajat nuklir untuk bahan baku bahan bakar reaktor nuklir dapat digunakan. Hal tersebut mendukung kemandirian bangsa dalam aspek sumber daya alam, sumber daya manusia dan fasilitas untuk produksi bahan bakar nuklir.

## TEORI

Proses pemurnian dan konversi terhadap *yellowcake* meliputi proses pelarutan *yellowcake*, pemurnian larutan uranil nitrat (UN), pemekatan UN, pengendapan ammonium diuranat (ADU), kalsinasi ADU menjadi U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> dan reduksi U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> menjadi UO<sub>2</sub>.



Selanjutnya, dilakukan proses reduksi. Hal tersebut dimaksudkan untuk mengurangi kandungan oksigen dalam serbuk oksida



## METODOLOGI

Pengkajian kelayakan ini menggunakan metode prospektif dengan kerangka kerja "SALSA" (*Search, Appraisal, Synthesis and Analysis*). Kajian ini merupakan *literature review* untuk penilaian awal potensi berdasarkan nilai kualitatif dan nilai kuantitatif (*scoping review*) [17],[18] pada *yellowcake* hasil samping Petrokimia Gresik sebagai umpan proses di PCP.

Kerangka kerja SALSA yang digunakan membagi tahapan kegiatan pengkajian meliputi kegiatan pencarian literatur terkait *yellowcake* Petrokimia Gresik. Disebabkan

Proses pelarutan dilakukan ditahapan awal proses bertujuan untuk melarutkan *yellowcake* dengan asam nitrat (HNO<sub>3</sub>) menjadi larutan uranil nitrat (UN) sehingga memudahkan proses pemisahan uranium dari pengotor melalui proses pemurnian. Proses pemurnian larutan uranil nitrat menggunakan metode proses ekstraksi-stripping dengan sistem pengaduk-pengenap (*mixer-settler*) dengan menggunakan *solvent* TBP/Kerosin dengan perbandingan volume 30/70 [13] sehingga diperoleh UO<sub>2</sub>(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> murni. Kandungan pengotor setelah melalui proses pemurnian ini harus dibawah batasan keberterimaan ASTM (*American Standard Testing and Material*) C 753-99 spesifikasi standar derajat nuklir untuk serbuk uranium dioksida (UO<sub>2</sub>) [14].

Selanjutnya dilakukan proses pengendapan uranil nitrat dengan amonium hidroksida (NH<sub>4</sub>OH) dalam tangki pengendapan menurut Persamaan (1) [15].

Proses pengendapan merupakan tahapan proses yang sangat menentukan dalam pembentukan karakter atau sifat-sifat fisik serbuk UO<sub>2</sub>. Endapan ADU tersebut dikeringkan sebelum dilakukan proses kalsinasi agar zat cair dalam suspensi ADU terpisahkan.

Serbuk ADU didekomposisi thermal (kalsinasi) pada suhu yang tinggi agar semua air dan amonia keluar dan terbentuk oksida-oksida uranium [16]. Sesuai Persamaan (2),

uranium dengan menggunakan gas hidrogen sebagai reduktor. Sesuai dengan Persamaan (3) [16] :

terbatasnya informasi mengenai *yellowcake* Petrokimia Gresik, maka semua sumber informasi dari literatur yang dipublikasikan baik dalam dan luar negeri digunakan sebagai sumber informasi dengan rentang tahun 2008 2020. Informasi yang didapatkan dari literatur tersebut dirangkum sehingga didapatkan karakteristik sifat fisika dan kimia *yellowcake* Petrokimia Gresik.

Karakteristik sifat fisika dan kimia *yellowcake* Petrokimia Gresik tersebut dibandingkan dengan karakteristik *yellowcake* Cogema yang telah digunakan di PCP. Informasi mengenai karakteristik *yellowcake*

Cogema diperoleh dari data hasil proses PCP dan dokumen teknis Proses Konversi *Yellow Cake* menjadi  $UO_2$  – Pilot Conversion Plant (PCP) serta makalah yang telah dipublikasikan.

Hasil perbandingan didapatkan dengan memadukan karakteristik *yellowcake* Petrokimia Gresik dengan *yellowcake* Cogema, sehingga didapatkan nilai kualitatif dan kuantitatif karakteristik yang berbeda antara kedua *yellowcake* pada sifat fisika dan kimia. Karakteristik yang berbeda tersebut dijadikan karakteristik kunci untuk dianalisis pengaruh perbedaan tersebut terhadap parameter proses pemurnian dan konversi yang dilakukan di PCP. Karakteristik kunci meliputi sifat kimia yaitu senyawa kimia, kadar uranium, impuritas dan isotop serta sifat fisika yaitu densitas dan morfologi yang meliputi struktur *lattice*, ukuran, bentuk dan warna.

Karakteristik kunci tersebut diidentifikasi pengaruhnya pada parameter proses pemurnian dan konversi yang dilakukan di PCP dan ditentukan probabilitas prosepektif penggunaan *yellowcake* Petrokimia Gresik sebagai umpan proses di PCP. Data parameter proses pemurnian dan konversi yang digunakan merupakan data dari dokumen teknis yang telah merekam parameter proses yang ditetapkan ketika menggunakan umpan *yellowcake* Cogema.

Hasil analisis tersebut dijadikan dasar penentuan apakah *yellowcake* Petrokimia Gresik berpeluang dijadikan umpan proses pemurnian dan konversi di PCP.

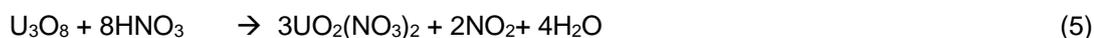
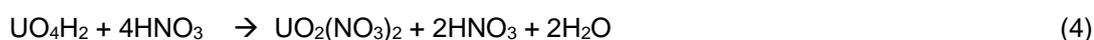
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Beberapa penelitian dan analisis telah dilakukan sebelumnya untuk mengidentifikasi karakteristik dan sifat kimia maupun fisika *yellowcake* Petrokimia Gresik serta *yellowcake* Cogema. Dengan membandingkan sifat - sifat tersebut, karakteristik *yellowcake* Petrokimia yang merupakan salah satu sumber uranium dalam negeri dipetakan untuk menentukan kelayakannya sebagai bahan baku proses pemurnian dan konversi di PCP. Data *yellowcake* komersil Cogema yang telah berhasil diproses di PCP dijadikan sebagai pembandingan dan ukuran kelayakan dan

kemampuan penggunaan fasilitas PCP untuk melakukan proses pemurnian dan konversi terhadap *yellowcake* Petrokimia Gresik.

Bahan baku *yellowcake* yang berbentuk serbuk memiliki karakteristik dan sifat yang mempengaruhi kemampuan fasilitas dan parameter proses di PCP. Sifat *yellowcake* tersebut dapat dikelompokkan menjadi 2 yaitu sifat kimia dan fisika [6]. Sifat kimia dan fisika akan berpengaruh terhadap parameter proses secara langsung dan serbuk  $UO_2$  yang dihasilkan. Sifat kimia meliputi bentuk senyawa kimia, kadar uranium dan impuritas (pengotor), isotop uranium maupun thorium terikut [19]. Senyawa kimia *yellowcake* akan berkaitan erat dengan reaksi yang terbentuk saat proses pelarutan *yellowcake* dengan asam nitrat. Begitu juga dengan kadar uranium pada *yellowcake*, nilai tersebut digunakan sebagai penentu jumlah *yellowcake* yang akan diumpungkan dalam proses pelarutan untuk mencapai konsentrasi uranium optimal hasil proses pelarutan. Selain itu, jenis dan konsentrasi senyawa pengikat sebagai impuritas perlu diketahui untuk menentukan kemampuan dan parameter proses pemurnian menggunakan *mixer settler* dengan metode ekstraksi. Sedangkan sifat fisika *yellowcake* terkait dengan morfologi (struktur *lattice*, warna dan bentuk) dan densitas [19]. Dimana, morfologi (khususnya bentuk dan ukuran) akan berkaitan erat dengan kecepatan reaksi pada proses pelarutan *yellowcake* dan densitas menunjukkan kemampuan alir serbuk saat proses pelarutan.

Senyawa kimia *yellowcake* Cogema dan *yellowcake* Petrokimia Gresik memiliki formula yang sedikit berbeda. *Yellowcake* Cogema berupa *Dioxouranium (VI) Hydroxide* dengan rumus empiris  $(UO_2)(OH)_2$  dan rumus kimia  $UO_4H_2$  sedangkan *yellowcake* Petrokimia berbentuk *Triuranium Octoxide* dengan rumus empiris dan kimia  $U_3O_8$  [19]. Namun, baik *yellowcake* Petrokimia dan Cogema akan terlarut dalam asam nitrat membentuk uranyl nitrat  $(UO_2)(NO_3)_2$  sesuai Persamaan (4) untuk *yellowcake* Cogema dan Persamaan (5) untuk *yellowcake* Petrokimia Gresik [11],



Sehingga hasil pelarutan kedua *yellowcake* akan menghasilkan senyawa yang sama yaitu uranyl nitrat ( $UO_2(NO_3)_2$ ). Pada Persamaan (4) akan menghasilkan asam nitrat yang mempertahankan suasana asam sistem, sedangkan Persamaan (5) menghasilkan gas  $NO_2$  yang dihisap dalam scrubber yang dimiliki sistem PCP. Perbedaan hasil samping ini tidak terlalu berpengaruh pada kedua macam proses pelarutan, karena gas  $NO_2$  yang dihasilkan dari Persamaan (5) akan dijerap oleh scrubber yang berisi air dan mengikuti Persamaan (6), sehingga tetap menghasilkan asam nitrat untuk dikembalikan pada sistem proses pelarutan. Meskipun beberapa literatur menunjukkan bahwa *yellowcake* dari batuan fosfat (seperti *yellowcake* Petrokimia Gresik) lebih umum dilarutkan menggunakan asam sulfat dibandingkan menggunakan asam nitrat [20]-[22] sebelum dimurnikan, namun pelarutan *yellowcake* menggunakan asam nitrat sesuai kondisi proses di PCP memungkinkan dilakukan [6], [11], [12].

Kadar uranium pada *yellowcake* Cogema adalah 77,73 % [23], sedangkan pada *yellowcake* Petrokimia Gresik memiliki kadar uranium sebesar 50% [12]. Kadar ekonomis uranium untuk diproses antara 70 - 90 % [24],[25], nilai tersebut berkaitan erat dengan jumlah asam nitrat yang dibutuhkan untuk melarutkan uranium dalam *yellowcake* tersebut. Sehingga dari informasi tersebut, untuk melarutkan uranium dalam *yellowcake* Petrokimia dibutuhkan asam nitrat lebih banyak sekitar 65% dari kebutuhan asam nitrat untuk melarutkan *yellowcake* Cogema. Dengan kata lain, konsentrasi uranium pada uranyl nitrat hasil pelarutan *yellowcake* Petrokimia akan lebih kecil jika menggunakan jumlah asam nitrat yang sama dengan yang dibutuhkan untuk pelarutan *yellowcake* Cogema. Hal ini akan berpengaruh pada syarat umpan proses pemurnian *yellowcake* menggunakan *mixer settler* di PCP yang mensyaratkan kadar uranium antara 80-120 gU/liter [26]. Selain itu, umpan uranyl nitrat pada proses pemurnian memerlukan pengkondisian keasaman dengan kondisi asam bebas 3 M. Hal tersebut dilakukan dengan penambahan asam nitrat berlebih hingga dicapai kondisi ideal umpan *mixer settler* [13]. Akibat pengkondisian ini, konsentrasi uranium pada umpan uranyl nitrat proses pemurnian yang menggunakan *yellowcake* Petrokimia Gresik akan semakin rendah. Oleh sebab itu, jika menggunakan *yellowcake* Petrokimia Gresik diperlukan *pre-*

*treatment* untuk mengkondisikan kadar uranium agar layak proses di PCP. Ditinjau dari jenis dan konsentrasi senyawa ikutan (impuritas / pengotor) dalam masing-masing *yellowcake*, diketahui jenis dan konsentrasi seperti yang ditunjukkan Tabel 1.

Tabel 1. Jenis dan konsentrasi pengotor pada *yellowcake* Cogema dan Petrokimia Gresik [27].

Jenis unsur pengotor	Konsentrasi Pengotor (mg/liter)	
	<i>Yellowcake</i> Cogema	<i>Yellowcake</i> PKG
Ag	0,14	0,047
Al	2,75	3,97
B	0,3	0,3
C	100	100
Ca	58,73	75,34
Cd	0,05	0,07
Cl	15	15
Co	0,80	0,81
Cr	3,15	3,81
Cu	1,36	1,19
Dy	0,15	0,15
F	10	10
Fe	48,68	18,53
Gd	0,5	0,5
Mg	25,57	25,12
Mn	3,63	3,82
Mo	10,92	23,67
H	80	80
Ni	2,58	1,86
Pb	0,75	0,72
Si	24,95	31,90
Sn	10,03	6,32
V	101,95	97,30
Zn	3,62	18,91

Jenis pengotor untuk kedua *yellowcake* cenderung sama dengan konsentrasi masing-masing pengotor tidak terlalu jauh berbeda. Hanya beberapa unsur yang ada sedikit perbedaan cukup jauh seperti unsur kalsium (Ca) pada *yellowcake* Petrokimia lebih besar 28%, unsur besi (Fe) pada *yellowcake* Cogema lebih besar 2,5 kali, unsur molibdenum (Mo) pada *yellowcake* Petrokimia Gresik 2 kali lebih besar dan unsur zink (Zn) pada *yellowcake* Petrokimia Gresik

6 kali lebih besar. Jika dilihat secara keseluruhan, pengotor pada *yellowcake* Petrokimia lebih besar dari *yellowcake* Cogema, namun tidak terlalu signifikan. Sehingga kedua *yellowcake* masih dapat dikatakan memiliki jenis dan konsentrasi *yellowcake* yang mirip dan dapat dilakukan proses pemurnian menggunakan *mixer settler* di PCP dengan parameter yang sama.

Terkait perbedaan komposisi isotop pada *yellowcake* Cogema dan Petrokimia. Komposisi isotop pada *yellowcake* Petrokimia menunjukkan  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U} = 0,0064$ ,  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U} = 0,000055823$  dan  $^{228}\text{Th}/^{232}\text{Th} = 0,5872$  [10], [19]. Sedangkan perbandingan

isotop untuk *yellowcake* Cogema hanya ada untuk isotop U-235 yaitu  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U} = 0,00715$  [19]. *Yellowcake* Cogema yang merupakan produk komersial telah melewati tahapan pemisahan isotop lainnya. Komposisi isotop ini terkait dengan *signature* (sidik jari) masing-masing *yellowcake* tidak terlalu berpengaruh signifikan terhadap proses yang dilakukan di PCP sehingga perbedaan isotop tersebut dapat diabaikan.

Sifat selanjutnya yang membedakan kedua *yellowcake* adalah sifat fisika, meliputi morfologi dan densitas. Morfologi kedua *yellowcake* ditunjukkan Gambar 2.



a. *Yellowcake* Cogema



b. *Yellowcake* Petrokimia Gresik

Gambar 2. Penampakan bentuk fisik *yellowcake* Cogema dan Petrokimia Gresik [27].

Kedua *yellowcake* memiliki butir cenderung bulat yang solid dengan ukuran butir yang sama. Perbedaan yang nampak dari keduanya adalah warna masing-masing. *Yellowcake* Cogema berwarna kuning kehijauan sedangkan *yellowcake* Petrokimia Gresik berwarna kehitaman. Hal ini disebabkan senyawa kompleks yang menyertai kedua *yellowcake* berbeda. Dari parameter tersebut, yang sangat berpengaruh terhadap proses di PCP adalah ukuran *yellowcake*. *Yellowcake* yang dimasukkan dalam proses pelarutan di PCP harus memiliki ukuran maksimal 0,5 mm untuk mengoptimalkan kecepatan reaksi pelarutan *yellowcake* [28], oleh karena itu kedua *yellowcake* sebelum dilarutkan menggunakan asam nitrat perlu melalui proses *crushing* dan *shieving* untuk memenuhi syarat pada proses pelarutan *yellowcake* [26]. Sifat fisika lainnya yang diperhatikan adalah densitas masing-masing

*yellowcake*. *Yellowcake* Petrokimia Gresik memiliki densitas sebesar 8,479 gr/cc, lebih besar dari densitas *yellowcake* Cogema yaitu 6,611 gr/cc [19]. Densitas *yellowcake* terkait dengan kemampuan alir pada saat *yellowcake* diproses pada unit *crushing* dan pelarutan. Semakin besar densitas *yellowcake*, maka akan semakin mudah untuk di-*handling* terkait kemampuan alir bahan tersebut.

Dengan demikian terlihat *yellowcake* Petrokimia Gresik lebih mudah di-*handling* dibandingkan *yellowcake* Cogema terkait kemampuan alir. Tabel 2. menunjukkan perbandingan sifat kimia dan fisika *yellowcake* Cogema dan Petrokimia Gresik. Diketahui bahwa hanya beberapa proses yang terpengaruh langsung dari bahan baku *yellowcake* yang digunakan sebagai bahan baku. Proses tersebut meliputi proses *crushing* dan *sieving*, proses pelarutan dan proses pemurnian.

Tabel 2. Rangkuman sifat kimia dan fisika *yellowcake* Cogema dan Petrokimia Gresik.

Perbandingan	Yellowcake Cogema	Yellowcake Petrokimia
<b>Sifat Kimia</b>		
1. Senyawa kimia [19]	UO <sub>4</sub> H <sub>2</sub>	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
2. Kadar U [12],[23]	77,73%	50%
3. impuritas	Tabel 1	Tabel 1
4. isotop		
- 235U/238U [19]	0,00715	0,0064
- 234U/238U [10]	-	0,000055823
- 228Th/232Th [10]	-	0,5872
<b>Sifat Fisika</b>		
1. morfologi [27]	Gambar 2.a	Gambar 2.b
- struktur lattice	orthorombik	Hexagonal
- ukuran	besar / padat	besar / padat
- bentuk	bulat	bulat
- warna	Kuning kehijauan	kehitaman
2. densitas [19]	6,611 gr/cc	8,479 gr/cc

Pada proses *crushing* dan *sieving*, *yellowcake* Petrokimia Gresik memiliki kelebihan ketika ditangani karena densitasnya yang lebih besar dibandingkan *yellowcake* Cogema. Hal tersebut memudahkan aliran *yellowcake* ketika diumpankan ke dalam *crusher* dan ditampung dalam *can*. Selanjutnya, pada proses pelarutan *yellowcake*, sifat mudah alir *yellowcake* Petrokimia Gresik memudahkan *handling* dalam proses pengumpanan pada reaktor pelarutan. Hal tersebut selain mempercepat waktu proses, juga akan meminimalkan kehilangan uranium pada proses akibat menempel pada dinding *hopper* pengumpan. Namun, karena kadar uranium pada *yellowcake* Petrokimia Gresik dibawah kadar ekonomis proses [23], [24], maka diperlukan perlakuan khusus untuk meningkatkan kadar uranium pada serbuk *yellowcake* Petrokimia Gresik agar mencapai kadar 70% uranium atau dengan memekatkan uranil nitrat hasil pelarutan dengan evaporasi. Pilihan kedua seperti lebih mungkin dilakukan karena PCP sedang meembangkan evaporator efluen pemekat uranil nitrat untuk umpan proses [29]. Dengan pemekatan larutan uranil nitrat hasil pelarutan menggunakan *yellowcake* Petrokimia Gresik, maka konsentrasi uranium pada uranil nitrat umpan proses pemurnian akan memenuhi persyaratan proses. Namun, tentu akan diperlukan biaya tambahan terkait *pre-treatment* dengan proses pemekatan yang dilakukan.

Pada proses pemurnian menggunakan *mixer settler*, parameter proses pada *yellowcake* Cogema dapat digunakan untuk

*yellowcake* Petrokimia Gresik. Hal tersebut karena kadar impuritas *yellowcake* Petrokimia Gresik yang tidak terlalu berbeda jauh dengan *yellowcake* Cogema. Sedangkan pada proses selanjutnya yaitu proses pemekatan uranil nitrat *nuclear grade* hingga proses reduksi, perbedaan karakteristik *yellowcake Cogema* dan Petrokimia Gresik tidak berpengaruh karena umpan sudah dalam bentuk uranil nitrat *nuclear grade* (baik dari Cogema maupun Petrokimia Gresik).

Sehingga, secara umum sifat kimia dan fisika *yellowcake* Petrokimia yang tidak terlalu berbeda jauh dari sifat *yellowcake* Cogema dapat menunjukkan bahwa *yellowcake* Petrokimia Gresik layak diproses di PCP dan peluang penggunaan fasilitas PCP untuk proses *yellowcake* tersebut sangat besar.

## SIMPULAN

Pengkajian pada *yellowcake* Petrokimia Gresik menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan pada karakteristik kunci dengan *yellowcake* Cogema yang telah berhasil diproses di PCP selain perbedaan kadar uranium dan densitas serbuk. Sehingga *yellowcake* Petrokimia Gresik layak diproses meskipun diperlukan *pre-treatment* tambahan dan fasilitas PCP berpeluang besar untuk melakukan proses pemurnian dan konversi *yellowcake* dalam negeri terkhusus *yellowcake* Petrokimia Gresik.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Plt. Kepala Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir dan staf BFBBN terkhusus tim

PCP dan Kendali Kualitas atas dukungan data-data hingga selesainya makalah ini. Kegiatan ini merupakan bagian dari kegiatan prototipe bahan bakar nuklir reaktor daya tahun 2021.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Muchsin, dkk, "Pembuatan serbuk  $UO_2$  dari *yellowcake* Cogema di Pilot Conversion Plant (PCP)", *Hasil-hasil penelitian EBN Tahun 2018*, ISSN 0854-5561, hal. 27-36, 2019.
- [2] K. Wheatley, et. al., "Overview of the Maybelle River Uranium Mineralization, Alberta, Canada", *International Symposium Uranium Production & Raw Materials for the Nuclear Fuel Cycle – Supply and Demand, Economic, the Environment and Energy Security*, International Atomic Energy Agency Extended Synopses IAEA-CN-128, pp. 46-47, 2005.
- [3] P. Crochon, et. al., "Remediation of ecarpiere uranium tailing pond by Cogema (France)", Planning for environmental restoration of radioactively contaminated sites in central and eastern Europe, *International Atomic Energy Agency Technical Document IAEA-TECDOC-865*, vol. 3, pp. 139-152, 1994.
- [4] BATAN, "Peraturan Badan Tenaga Nuklir Nasional Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 2020 tentang Rencana Strategis Badan Tenaga Nuklir Nasional tahun 2020 – 2024", Jakarta, 2020.
- [5] PTBBN-BATAN, "Rencana Strategis PTBBN 2020 – 2024", Tangerang Selatan, 2020.
- [6] G. K. Suryaman, dkk., "Komparasi sifat kimia dan fisik serbuk  $UO_2$  hasil konversi *yellowcake* limbah pupuk fosfat dan *yellowcake* komersial melalui jalur ADU", *Jurnal Teknologi Bahan Nuklir*, vol 9, no. 2, Juni, hal. 77-83, 2013.
- [7] E. Nuraeni, "Pengolahan limbah organik dari fasilitas pemurnian asam fosfat PT. Petrokimia Gresik dengan metode oksidasi biokimia", *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengolahan Limbah VII*, hal. 147-151, 2009.
- [8] M. Daryoko, "Strategi dekomisioning fasilitas pemurnian asam fosfat Petrokimia Gresik", *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengolahan Limbah VI*, ISSN 1410-6086, hal. 173-179, 2008.
- [9] A. Muchsin, dkk., "The Characteristics of uranium oxide sintered pellets from phosphate fertilizer waste as a potential resource of uranium", *Proceedings of the International Symposium on Uranium Raw Material for the Nuclear Fuel Cycle: Exploration, Mining, Production, Supply and Demand, Economics and Environmental Issues (URAM 2014)*, pp. 510-517, 2014.
- [10] E. Noerpitasari, dkk, "Penentuan umur *yellow cake* secara radiokronometri", *Urania Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir*, vol. 26, no. 2, hal. 121-130, 2020.
- [11] Ngatijo, dkk., "Proses pemurnian *yellowcake* dari limbah pabrik pupuk", *Majalah Ilmiah PIN*, No. 09-10, Tahun V, April - Oktober, hal. 1-9, 2012.
- [12] Masripah, "Karakterisasi serbuk  $UO_2$  dari *yellow cake* limbah pupuk fosfat", Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia, Depok, 2009.
- [13] A. Muchsin, dkk, "Proses ekstraksi-stripping  $UO_2(NO_3)_2$  berimpuritas hasil pelarutan dari *yellowcake*", *Urania Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir* vol. 23, no. 1, 20, hal. 23-32, 2017.
- [14] ASTM *Standard specification for Nuclear-Grade Sinterable Uranium Dioxide Powder*, ASTM C 753-99, 2009.
- [15] P. Oktavianto, dkk, "Proses pengendapan uranil nitrat melalui jalur amonium diuranat (ADU) pada fasilitas Pilot Conversion Plant (PCP)", *Majalah Ilmiah PIN*, No. 22, tahun XII, hal. 11-22, 2019.
- [16] H. Suwarno, "Teknik kalsinasi - kursus operasi teknik dan proses pengolahan bahan nuklir", Pusat Penelitian Bahan Murni dan Instrumentasi, Badan Tenaga Atom Nasional, 1984.
- [17] M. J. Grant, and A. Booth, "A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies", *Health Information & Libraries Journal*, vol. 26, no. 2, pp. 91-108, 2009.
- [18] L. C. Weeks, and T. A. Strudsholm, "Scoping review of research on complementary and alternative medicine (CAM) and the mass media: looking back, moving forward", *BMC*

- Complementary and Alternative Medicine*, vol. 19, no. 8, p. 43, 2008.
- [19] B. Briyatmoko, "Identification of high confidence nuclear forensics signatures for mining, milling and conversion processes", *IAEA Tecdoc Series, IAEA-TECDOC-1820*, Vienna, August, 2017, pp. 57- 63.
- [20] H. Guettaf, *et. al.*, "Concentration-purification of uranium from an acid leaching solution", *Physics Procedia*, vol. 2, no. 3, pp. 765-771, 2009.
- [21] E. H. Y. AbowSlama, *et. al.*, "Precipitation and purification of uranium from rock phosphate", *Jurnal Radioanal Nucl Chem*, vol. 299, pp. 815 - 818, 2014.
- [22] A. A. Adam, *et. al.*, "Uranium recovery from uro are phosphate ore, Nuba Mountains, Sudan", *Arabian Journal of Chemistry*, vol 7, no. 5, pp. 758-769, 2014.
- [23] Torowati, *et. al.*, "Analisis kadar uranium dalam yellowcake dengan titrasi secara potensiometri", *Majalah Ilmiah PIN* ISSN 1979-2409, no. 03, tahun II, hal. 1-6, 2009.
- [24] C. C. Bernido, *et. al.*, "Laboratory study on the dissolution and solvent extraction of yellowcake to produce nuclear grade ammonium diuranate", *Philippine Atomic Energy Commission*, Oktober, 1984.
- [25] E. H. Y. AbowSlama, *et. al.*, "Comparative study on precipitation methods of yellow-cake from acid leachate of rock phosphate and its purification", Sudan Academy of Science (SAS) Atomic Energy Research Coordinator Council, 2006.
- [26] A. Sumaryanto, dkk., "Dokumen teknis proses konversi *yellow cake* menjadi  $UO_2$  – Pilot Conversion Plant (PCP)", Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BATAN, Serpong, 2020.
- [27] B. Briyatmoko, dkk., "Pengembangan metoda forensik nuklir", *Hasil-hasil Penelitian EBN Tahun 2015*, ISSN 0854-5561, hal. 133- 143, 2015.
- [28] A. Muchsin, dkk., "Pengaruh konsentrasi asam nitrat, temperatur proses, laju pengadukan terhadap kadar uranium hasil proses pelarutan padatan *yellow cake* pada seksi 300 di IEBE", *Urania Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir*, vol. 20, no. 2, hal. 92-99, 2014.
- [29] A. Saputra, dkk., "Pendayagunaan unit pelarutan *yellow cake* Pilot Conversion Plant (PCP) sebagai evaporator cairan limbah uranium", *Majalah Ilmiah PIN* No. 23, tahun XII, Oktober, 2019.