

MINYAK JARAK KEPYAR SEBAGAI ALTERNATIF MEDIUM GELASI DALAM PEMBUATAN KERNEL UO_2 DENGAN METODE GELASI INTERNAL

**(Castor oil as an alternative gelating medium in the preparation of kernel
 UO_2 using internal gelation method)**

Endang Susiantini

Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan, BATAN Yogyakarta

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh medium gelasi dalam pembuatan *kernel* UO_2 dengan metode gelasi internal. Kernel UO_2 dibuat dengan menambah larutan uranyl nitrat dengan urea, HMTA (heksametilen tetra amin) pada suhu $\pm 5^\circ C$, kemudian digelasi pada berbagai media gelasi, gel yang diperoleh dikeringkan, dikalsinasi pada suhu $800^\circ C$, direduksi pada suhu $750^\circ C$. Tujuan penelitian ini untuk membuat kernel bentuk bola dengan berbagai medium gelasi, untuk itu masing-masing tahapan diamati secara fisik : warna , bentuk (kebulatan) dan kualitas kernel UO_2 . Densitas *kernel* UO_2 dipengaruhi oleh bentuk bola, porositas dan luas permukaan. Bentuk bola dipengaruhi oleh ukuran butir (diameter penetes), tegangan muka, perbedaan densitas antara medium gelasi dengan sol umpan dan viskositas medium. Pada penelitian ini, divarisi medium gelasi 2-etilheksanol (? 0,83 g/ml), CCl_4 (? 1,59 g/ml) dan minyak jarak kepyar (? 0,96 g/ml), diameter lubang penetes serta konsentrasi surfaktan (triton X-45) dalam medium 2-etilheksanol. Semakin kecil perbedaan densitas medium dengan sol umpan dapat menghasilkan *kernel* berbentuk bulat yang lebih besar. Kenaikan konsentrasi triton X-45 menyebabkan gel yang diperoleh berbentuk bulat bola namun konsentrasi triton X-45 yang terlalu tinggi menyebabkan gel yang dihasilkan berubah dari bulat bola menjadi memanjang. Konsentrasi triton X-45 yang optimum adalah 0,15 % volume medium 2-etilheksanol. Diperoleh hasil densitas optimum *kernel* UO_2 dalam medium 2-etilheksanol, CCl_4 dan minyak jarak kepyar masing-masing adalah 7,87676 g/ml, 7,56278 g/ml dan 5,90478 g/ml.

Kata kunci: kernel UO_2 , minyak jarak kepyar

ABSTRACT

Research on the influence of gelation medium in preparing UO_2 kernel using internal gelation method have been done. Kernel UO_2 was made by adding urea and HMTA (hexa methylene tetra amine) to uranyl nitrate solution at temperature $5^\circ C$. They formed gel at various gelation media and was calcined at $800^\circ C$, reduced at temperature $750^\circ C$. This research is targeting to make spherical form of kernel in various media by observing physically in color, spherical form and quality of UO_2 kernel. Density of kernel UO_2 was influenced the shape, porosity and surface area. Spherical form was influenced by size of spherical (orifice diameter of the drop), surface tension, difference of density between medium gelation with the sol feed and viscosity of medium. At this research, medium gelation 2-ethylhexanol (0.83 g / ml), CCL_4 (1.59 g / ml) and castor oil (0.96 g / ml), hole diameter of dropper and also concentration surfactant (triton X-45) in medium 2-ethylhexanol were variation. The smaller of different medium density from the feed sol

can produce the large spherical size kernek. The increase in concentration of triton X-45 caused the mixture to gel to be spherical but very high concentration could cause change the gel from spherical to be long. Optimum concentration of Triton X-45 was 0.15% by volume in 2-ethylhexanol. The obtained density of spherical form UO_2 kernel in each medium of 2-ethylhexanol, CCl_4 and castor oil were 7.88 g / ml, 7.56 g / ml and 5.90g / ml, respectively.

Keywords: kernel of UO_2 , castor oil

Makalah diterima tanggal 2 Februari 2006

1. PENDAHULUAN

Salah satu reaktor nuklir yang menggunakan uranium dioksida (UO_2) sebagai bahan bakar adalah reaktor temperatur tinggi (*HTR : High Temperature Reactor*). Reaktor ini merupakan salah satu tipe reaktor yang dirancang untuk Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Bahan bakar HTR berupa butiran-butiran kecil yang disebut partikel berlapis (*coated particle*). Inti dari partikel berlapis ini berupa butiran-butiran kecil seperti bola (*microsphere*) yang terbuat dari UO_2 , UO_2 yang digunakan sebagai inti partikel berlapis berbentuk butiran kecil dengan ukuran diameter, porositas dan kerapatan tertentu yang disebut kernel. Salah satu tahap yang memegang peranan penting pada pembuatan kernel UO_2 adalah proses gelasi. Proses gelasi adalah proses pembentukan butiran-butiran gel dari larutan garam uranil konsentrasi tinggi atau sol UO_3 hidrat. Medium organik pada proses gelasi internal berfungsi sebagai pemanas tetesan umpan sehingga terjadi reaksi kimia dalam tetesan umpan. Medium organik harus mampu mempertahankan bentuk tetesan umpan selama proses gelasi, oleh karena itu dipilih medium organik yang mempunyai densitas dan viskositas tertentu pada suhu gelasi. Menurut Halim *dkk* (1987) bentuk bola dari gel sangat dipengaruhi oleh tegangan muka di dalam sistem, perbedaan densitas antara medium gelasi dengan sol umpan dan viskositas medium gelasi. Hubungan antara perbedaan densitas antara sol dan medium dengan medium dengan derajat kebulatan (*sphericity*) gel dapat dirumuskan (Hernandez, 2000; Haas dan Clinton, 1966; Hass *dkk*, 1979) :

$$\text{Sphericity} = g (\Delta\rho / \sigma) R^3.$$

Sphericity = derajat kebulatan; g = konstanta percepatan gravitasi; $\Delta\rho$ = perbedaan densitas sol umpan dengan medium; σ = tegangan muka; R = jari-jari lubang penetes. Hubungan antara tegangan muka, perbedaan densitas dengan volume tetesan dirumuskan^(3,4,5) sebagai berikut :

$$V_s = \frac{F \times \rho \times g \times D_o}{g \times \Delta r} \quad (1)$$

V_s = volume tetesan sol; D_o = diameter lubang penetes

Persamaan diatas dapat digunakan untuk mengetahui pengaruh perbedaan densitas antara sol umpan dengan medium gelasi terhadap derajat kebulatan gel dan volume tetesan sol. Densitas medium yang besar dapat menahan gaya jatuh sol umpan sehingga reaksi gelasi yang terjadi semakin lama dan sempurna. Zat organik yang digunakan sebagai medium gelasi harus memenuhi beberapa persyaratan, yaitu : tidak mudah larut dalam air tetapi mampu melarutkan sedikit air, proses pencucian mudah dilakukan, stabil selama proses daur ulang, tidak mudah terbakar, tidak beracun, mempunyai densitas dan viskositas tertentu (Hass *dkk*, 1979; Prihastono, 2004; Matthews dan Swanson, 1979).

Beberapa peneliti pernah mencoba menggunakan 2-etilheksanol sebagai medium gelasi internal.pada suhu 50 °C dapat menghasilkan kernel berukuran kecil dan tidak pecah (Matthews dan Swanson, 1979; Yamagishi dan Takahashi, 1985; Turner, 1986). Sifat fisik 2-etilheksanol diantaranya adalah : memiliki densitas 0,83 g/ml (25 °C), berat molekul 130,23 g/mol, tegangan muka 28,2 dyne/cm (25 °C) dan

viskositasnya 2,186 cP (60 °C) Kelebihan 2-etilheksanol dibandingkan dengan medium gelas internal lain adalah sifat penyerapan air (*dehydration*). Salah satu kelemahan 2-etilheksanol adalah densitas dan viskositasnya yang terlalu rendah sehingga pada saat proses gelas reaksi yang terjadi terlalu cepat dan hanya dapat menghasilkan kernel dengan ukuran = 500 µm. Hal ini dapat diatasi dengan penambahan surfaktan dengan konsentrasi tertentu. Dalam penelitian ini di gunakan surfaktan Triton X-45 (*Octylphenol ethoxylate*). Surfaktan adalah suatu bahan, pada konsentrasi rendah didalam suatu sistem akan mempunyai sifat adsorpsi pada permukaan sistem dan akan mempengaruhi tegangan muka. Surfaktan terdiri dari dua struktur molekul yaitu hidrofilik (*hidrophilic*) yang bersifat polar (menarik kuat solven) dan hidrofobik (*hidrophobic*) yang bersifat nonpolar (menarik lemah solven). Struktur molekul surfaktan juga disebut sebagai struktur *amphiphiles* (struktur amfibi) yang terdiri dari kepala (hidrofilik) dan ekor (hidrofobik). Penambahan surfaktan dapat meningkatkan viskositas larutan. Pada konsentrasi surfaktan nonionik yang terlalu tinggi, viskositas akan menurun. Viskositas yang telah melebihi viskositas maksimum akan menghasilkan gel yang berbentuk laminer, silinder. Dua gel yang saling bertumbukan memiliki kecenderungan untuk bergabung dan menempel satu sama lain. Penambahan surfaktan dapat menyebabkan gel akan saling memisah dan ukuran gel yang lebih kecil. Berdasarkan perhitungan termodinamika, dengan basis perubahan energi bebas menunjukkan bahwa penurunan tegangan muka dapat menstabilkan gel.

Triton X-45 (*Octylphenol ethoxylate*) termasuk dalam surfaktan nonionik. Sejak pertengahan tahun 1940, triton X-45 telah banyak digunakan dalam industri khususnya dalam proses emulsifikasi. Keunggulan dari triton X-45 adalah kemampuan untuk berkonsentrasi pada permukaan dan membentuk micel dalam larutan, sesuai untuk pelarut polar maupun nonpolar.

Triton X-45 terdiri dari dua bagian molekuler yaitu rantai polyethoxylate yang bersifat polar dan alkyl-phenol yang bersifat hidrofobik.

Sifat-sifat fisik dari triton X-45 antara lain : berupa larutan berwarna kuning transparan; pH = 6; viskositas pada suhu 25 °C = 290 cP; densitas pada suhu 25 °C = 1.031 g/ml; titik didih = 218 °C; tegangan muka (25 °C) = 31 dyne/cm

Karbon tetraklorida (CCl₄) adalah salah satu pelarut organik yang mempunyai tegangan muka yang baik (46,5 mN/m pada suhu 20 °C), kelarutan NH₃ dalam CCl₄ 0,3 mol/l dan densitasnya 1,59 g/ml. Penelitian proses gelas eksternal dengan menggunakan medium CCl₄ dapat menghasilkan kernel ThO₂ dengan diameter 1005 µm, densitas 10,06 g/ml dan bentuk bulat bola (Turner, 1986; Furuya *dkk*, 2003). Medium CCl₄ mempunyai beberapa kelebihan yaitu tegangan muka yang baik dan perbedaan densitas dengan sol umpan relatif kecil (0,22 g/ml untuk 1 mol/l sol).

Oak Ridge National Laboratory (ORNL) telah melakukan penelitian tentang proses gelas menggunakan medium minyak parafin dan minyak silikon, dapat menghasilkan kernel UO₂ dengan ukuran 500 µm dan tidak pecah. Minyak jarak kepyar (*castor oil*) memiliki viskositas dan densitas yang relatif tinggi, sehingga memungkinkan digunakan sebagai medium gelas internal. Beberapa sifat minyak jarak kepyar yang mendukung untuk digunakan sebagai alternatif baru medium gelas internal adalah : kestabilan viskositas dan densitas yang baik, tegangan muka yang relatif baik, titik didihnya tinggi, mudah diproduksi, harganya relatif murah dan aman terhadap lingkungan. Minyak jarak kepyar dihasilkan dari tanaman jarak (*Ricinus communis*). Minyak jarak larut dalam etil-alkohol 95 % pada suhu kamar dan pelarut organik polar (n-hexana) serta sedikit larut dalam golongan hidrokarbon alifatik. Sifat fisik minyak jarak diantaranya adalah : warna kuning bening ; viskositas (25 °C) : 580 cP; densitas (20 °C): 0,957 – 0,963 g/ml; tegangan muka (20 °C) : 39,9 dyne/cm.

2. METODE PENELITIAN

A. Alat: Alat gelas; Kolom gelas tinggi 1,5m diameter 2 cm; Piknometer; muffle furnace; Siring(alat penetes) dll.

B. Bahan: a. Serbuk U₃O₈ hasil proses di P3TM BATAN; HNO₃; H₂SO₄;

TiCl₃ 10%; FeCl₃; Barium difenilsulfonat; Asam sulfamat; Indikator Phenol Phtalein; Larutan Titrisol NaOH 0,1 N; Larutan Titrisol K₂Cr₂O₇ 0,1 N; Air bebas mineral; Urea; Heksametenil tetra amin (C₆H₁₂N₄); 2-Etilheksanol; minyak jarak dari Brataco; Es batu; NH₃ pekat; CCl₄; semua bahan dari merk.

C. Cara kerja:

a. Diambil larutan ADUN (acid deficient uranyl nitrate) sebanyak 10 ml dan dimasukkan dalam gelas beker. Tambahkan urea dan HMTA sesuai perhitungan pada suhu 5°C diaduk sampai homogen.

b. Larutan umpan diteteskan menggunakan alat penetes (syringe) dengan diameter ± 0,4 mm ke dalam kolom gelas yang berisi medium gelas (2-etil heksanol, CCl₄ dan minyak jarak), dipanaskan pada suhu 50–70°C.

c. Butiran gel yang diperoleh dikeluarkan dari kolom gelas dan dipisahkan dari medium gelas. Butiran gel UO₃ kemudian dicuci dalam larutan NH₃ 2,5 % sebanyak 3 kali masing-masing selama ± 10 menit.

d. Proses pengeringan dilakukan dalam tiga tahap yaitu : (a) tahap pertama butiran gel UO₃ dikeringkan pada suhu kamar

selama ± 24 jam yang dilakukan pada ruangan terbuka, (b) tahap kedua butiran gel UO₃ dikeringkan dalam oven pada suhu 140 °C secara perlahan-lahan.

e. Proses kalsinasi juga dilakukan dengan pemanasan yang bertahap sampai suhu 800°C. Hal ini bertujuan untuk menghindari keretakan butiran gel akibat penguapan zat-zat volatil dalam butiran gel yang terlalu cepat. Butiran-butiran gel diletakkan dalam cawan porselin kemudian dimasukkan ke dalam *muffle furnace*.

f. Proses reduksi dilakukan dengan cara memanaskan butiran kernel U₃O₈ pada suhu 750 °C dalam lingkungan gas H₂. Pemanasan dilakukan bertahap.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengamatan kondisi fisik pada proses gelas dengan variasi medium gelas

Jenis medium gelas sangat berpengaruh terhadap kualitas bentuk bola gel dan kernel yang dihasilkan. Bentuk bulat bola gel sangat dipengaruhi oleh tegangan muka, viskositas medium dan perbedaan densitas antara medium dengan sol umpan. Hasil pengamatan kondisi fisik butiran gel dapat dilihat pada Tabel 1; Gambar 1.

Tabel 1. Data pengamatan kondisi fisik gel dari variasi jenis medium gelas

N o	Jenis medium gelas	Proses gelas	Pengeringan (140 °C)	Kalsinasi (800 °C)	Reduksi (750 °C)
1	2-etilheksanol	KO, kr, Bg, U	O, kr, U	HK, U	A, U
2	2-etilheksanol dengan 0,15 % triton X-45	KO, kr, RB, U	O, kr, U	HK, U	A, U
3	Carbon tetra chlorida (CCl ₄)	KO, kr, B, U	O, kr, U	HK, U	A, U
4	Minyak jarak kepyar	KO, kr, B, U	O, kr, Ps	HK, P	A, P

Keterangan :

a. Warna: KO= Kuning orange; O= Orange; Kr= keruh; K= Hitam kehijauan; A = Abu-abu

b. Bentuk: Bg = Bulat gepeng; Bp= Bulat pipih; RB = Relatif bulat bola; B = Bulat bola; SB = Silinder bulat memanjang

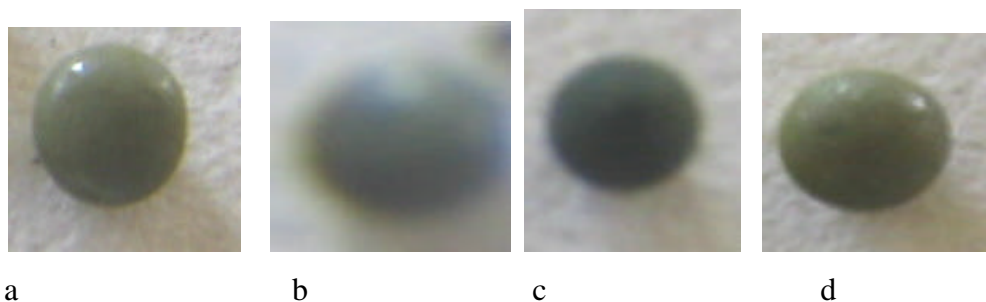
c. Keutuhan: U = Utuh (hampir 100 % butiran gel utuh) ; P = Pecah (butiran gel yang utuh <50 %) ; Ps = Pecah sebagian (50-90 % butiran gel utuh); H = Hancur



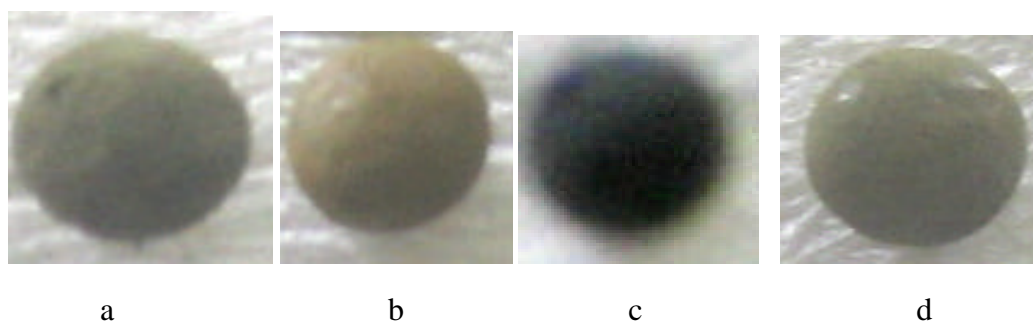
Gambar 1. Gel variasi medium (a) medium 2-etilheksanol, (b) medium CCl_4 , (c) medium minyak jarak kepyar

Tabel 2. Data densitas kernel U_3O_8 dan UO_2 dari variasi jenis medium

o	Jenis medium gelas	Densitas kernel U_3O_8 hasil kalsinasi (800°C)	Densitas kernel UO_2 hasil reduksi (750°C)
	2-etilheksanol	3,35289	3,71749
	2-etilheksanol dengan 0,15 % triton X-45	7,11019	7,87676
	Carbon tetra chlorida (CCl_4)	6,00816	7,56278
	Minyak jarak kepyar	5,76091	5,90478



Gambar 2. Kernel U_3O_8 (a) triton X-45 0,15 % (b) tanpa triton X-45 (c) medium minyak jarak (d) medium CCl_4



Gambar 3. Kernel UO_2 (a) tanpa triton X-45 (b) triton X-45 0,15 % (c) medium minyak jarak (d) medium CCl_4

Berdasarkan data pengamatan kondisi fisik butiran-butiran gel tabel 1; gambar 1: medium CCl_4 dan minyak jarak mampu menghasilkan butiran gel yang bulat (b) dibandingkan dengan medium 2-etilheksanol. Karena CCl_4 mempunyai tegangan permukaan yang paling tinggi kemudian disusul minyak jarak dan 2-etilheksanol. Medium gelas internal yang menghasilkan kualitas kernel U_3O_8 terbaik adalah medium CCl_4 .

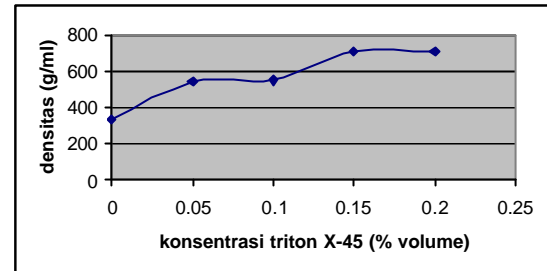
2. Hasil densitas kernel UO_2 setelah kalsinasi dan reduksi pada berbagai jenis medium

a. Medium 2-etilheksanol

Dari data di atas gelas internal dengan medium 2-etilheksanol diperoleh gel berbentuk bulat gepeng, kernel U_3O_8 hasil kalsinasi tidak pecah dengan densitas 3,35289 g/ml dan kernel UO_2 hasil reduksi tidak pecah dengan densitas 3,71749 g/ml. Gel yang dihasilkan keras dan tidak mudah pecah, disebabkan sifat 2-etilheksanol yang mempunyai kemampuan menyerap air dari dalam butiran gel. Bentuk gel yang bulat gepeng diperkirakan karena densitas, viskositas dan tegangan muka 2-etilheksanol terlalu kecil, sehingga ekstraksi air dalam sol umpan terlalu cepat serta reaksi gelasinya belum sempurna. Gelas internal dengan medium 2-etilheksanol memerlukan penambahan surfaktan untuk memperbaiki bentuk gel. Pada konsentrasi triton X-45 0,25 % gel yang dihasilkan berbentuk gepeng memanjang (silinder). Hal ini diperkirakan viskositas telah melampaui viskositas maksimum, sehingga dengan penambahan surfaktan dapat menurunkan viskositas medium. Pada viskositas yang telah melampaui viskositas maksimum akan menghasilkan gel yang berbentuk silinder.

Pada grafik di atas terlihat pengaruh triton X-45 dapat menaikkan densitas kernel U_3O_8 . Hal ini diperkirakan dengan penambahan triton X-45 dapat memperbaiki bentuk bulat bola gel dan memperkecil ukuran gel. Gel yang berbentuk bulat gepeng densitasnya kecil disebabkan gel yang dihasilkan kurang padat dan belum sempurna reaksi gelasinya. Konsentrasi triton X-45 0,15 % dapat menghasilkan

densitas kernel maksimum, diperkirakan karena gel yang diperoleh berbentuk bulat bola dan lebih kecil ukurannya sehingga lebih padat serta lebih sempurna reaksi gelasinya. Pada konsentrasi surfaktan triton X-45 rendah, surfaktan dan sol membentuk micel dengan ikatan silang sehingga diperoleh ukuran gel yang lebih besar.



Gambar 4. Grafik hubungan antara konsentrasi triton X-45 terhadap densitas kernel U_3O_8

Konsentrasi triton X-45 yang lebih besar mengakibatkan ikatan silangnya berkurang dan diperoleh ukuran gel yang lebih kecil serta padat^(8,9). Hasil terbaik diperoleh pada konsentrasi surfaktan triton X-45 0,15 % volume medium (hampir 90 % butiran kernel UO_2 masih utuh setelah proses reduksi pada suhu 750 °C, dengan densitas 7,87676 g/ml).

b. Medium CCl_4

Gelas internal menggunakan medium CCl_4 dapat dihasilkan gel berbentuk bulat bola, kernel U_3O_8 tidak pecah dengan densitas 6,00816 g/ml dan kernel UO_2 tidak pecah dengan densitas 7,56278 g/ml. Bentuk gel yang bulat bola disebabkan tegangan muka, viskositas yang relatif tinggi dan densitas yang hampir mendekati densitas sol umpan. Tegangan muka yang cukup tinggi diperlukan untuk pembentukan awal bola gel. Viskositas dan densitas medium yang tinggi dapat menyebabkan gel jatuh perlahan dalam kolom, sehingga reaksi gelasinya lebih lama dan sempurna. Gel setelah pengeringan (140 °C) dan kalsinasi (800 °C) mengalami penyusutan volume lebih besar daripada gel dengan medium 2-etilheksanol. Kelemahan medium CCl_4 adalah titik didihnya yang relatif rendah (76,79 °C), sehingga suhu proses gelasinya tidak bisa terlalu tinggi (± 55

⁰C) dan penyusutan volume gel setelah pemanasan lebih besar dibandingkan dengan medium 2-etilheksanol .

c. Minyak jarak kepyar.

Medium minyak jarak kepyar merupakan alternatif medium baru dalam gelasi internal. Gelasi internal dengan menggunakan minyak jarak dapat menghasilkan gel berbentuk bulat bola yang bagus, seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Hal ini disebabkan densitas, viskositas dan tegangan muka minyak jarak kepyar yang relatif lebih stabil pada suhu tinggi. Reaksi gelasi dapat berjalan lebih sempurna karena reaksinya berlangsung lebih lama di dalam kolom gelasi. Pada proses pengeringan (140 ⁰C), sebagian butiran gel pecah (10-50 %), kernel U₃O₈ hasil kalsinasi yang utuh kurang dari 50 % dengan densitas 5,76091 g/ml dan kernel UO₂ hasil reduksi sebagian pecah dengan densitas 5,90478 g/ml. Pecahnya kernel ini disebabkan belum optimalnya proses pencucian gel. Viskositas minyak jarak kepyar yang tinggi menyebabkan proses pencucian untuk menghilangkan komponen organiknya menjadi sulit. Pada penelitian ini pencucian gel menggunakan larutan CCl₄ 2,5 % dan NH₄OH 2,5 %. Hasil penelitian awal penggunaan medium minyak jarak kepyar sangat memungkinkan untuk dikembangkan lebih lanjut. Keuntungannya antara lain adalah: sifatnya yang stabil terhadap suhu tinggi (densitas dan viskositas) sehingga memungkinkan digunakan pada suhu gelasi yang tinggi, mudah diproduksi dengan biaya produksi murah (ekonomis) dan relatif lebih aman terhadap lingkungan. Kelemahannya adalah diperlukan proses pencucian yang lama.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, densitas medium sangat berpengaruh pada kualitas kernel yang dihasilkan. Semakin besar densitas kernel yang dihasilkan semakin baik. Hal ini disebabkan densitas yang tinggi dapat menahan gaya jatuh gel, sehingga gerak jatuh gel lebih pelan dan reaksi gelasi lebih sempurna. Hasil terbaik diperoleh pada proses gelasi internal dengan medium CCl₄ (hampir 90 % butiran kernel UO₂ masih

utuh setelah proses reduksi pada suhu 750 ⁰C, dengan densitas 7,56278 g/ml).

UCAPAN TERIMAKASIH

Dengan telah terselesainya penelitian ini kami ucapkan kepada Deni Swantomo mahasiswa STTN Batan Yogyakarta yang dengan rajin, tekun dan cermat dalam membantu mengerjakan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Halim, A.S., Afifi, Y.K. dan El-Adham., 1987, *Fabrication of UO₂ Microspheres by the a Process*, Powder Metallurgy International, Vol. 19, No. 5.
- Hernandez, A., 2000, *Surface Tension of Aqueous Solutions of Alkanolamines with Nonionic Surfactants*, Fourteenth Symposium on Thermophysica Properties, Colorado.
- Haas, P. A., dan Clinton, S. D., 1966, *Preparation of Thoria and Mixed-Oxide Microspheres*. Tennessee, Oak Ridge National Laboratory.
- Haas, P. A. , Begovich, J. M., Ryon, D dan Vavruska, J. S., 1979, *Consolidated Fuel Recycle Program- Refabrication Chemical Flowsheet Conditions for Preparing Urania Spheres by Gelation*, Tennessee : ORNL.
- Prihastono, H., 2004, *Pembuatan Kernel U₃O₈ dengan Proses Gelasi Internal- Dehidrasi dalam Medium 2-Etilheksanol*, Skripsi. UNY Yogyakarta.
- Matthews, R.B., dan Swanson M.L., 1979, *Fabrication of Large (Th,U)O₂ Microsphere*, Ceramic Bulletin. Vol. 58, No. 2.
- Yamagishi, S., dan Takahashi, Y., 1985, *Sol-Gel Method Using Carbon Tetrachloride as Drop-Formation Medium for Producing Large ThO₂-Base Microspheres*, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol.22, No.12.
- Turner, C. W., 1986, *Colloid Chemistry and Its Applications to Production of Recycled Fuels by Sol-Gel Process*, Ontario, Atomic Energy Canada, Limited.

Berkala MIPA, 16 (2) Mei 2007

Furuya, T., Koga, T., dan Tanaka, F., 2003,
*Effects of Added Surfactants on
Thermoreversible Gelation of*

Associating Polymer Solutions, Kyoto
University, Japan.