

STUDI TENTANG PERSIAPAN PERALATAN FABRIKASI GEL ADU

Sukarsono, Meniek R, Supardjono M, Sri Rinanti S, Darmanto, Rochyanto,
Bambang Pratikno, Dedy H, Aryani Dewi dan Kristanti
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir - BATAN

ABSTRAK

Penelitian bahan bakar reaktor suhu tinggi mendukung Rencana strategis BATAN di bidang energi pada sistem pemasok energi nuklir kogenerasi HTGR. Reaktor HTGR yang merupakan reaktor Generasi ke IV dan bahan bakarnya anti leleh dan bisa kogenerasi panas, mempunyai keunggulan tertentu dibanding dengan reaktor PWR dan HWR yang selama ini banyak dipakai sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Reaktor ini cocok dibangun di Indonesia yang terdiri dari banyak pulau. Fasilitas reaktor jenis ini yang direncanakan dibangun sebagai langkah awal adalah Reaktor Daya Eksperimental (RDE) yang akan dibangun di Serpong, Tangerang. PTBBN salah satu tugasnya adalah melaksanakan litbang bahan bakar reaktor daya, diharapkan dapat berkontribusi pada penyediaan bahan bakar yang sustainable/berkelanjutan untuk pengoperasian RDE yang berkelanjutan. Untuk maksud tersebut, penguasaan teknologi fabrikasi bahan bakar RDE menjadi sangat penting. Penguasaan teknologi fabrikasi bahan bakar nuklir meliputi penguasaan/ pemahaman material proses, proses fabrikasi dan peralatan fabrikasi bahan bakar RDE. Untuk mencapai hal tersebut, fasilitas litbang teknologi bahan bakar RDE yang lengkap perlu disiapkan. Realisasi fasilitas litbang teknologi bahan bakar RDE bertahap dimulai tahun 2015 sampai dengan 2019. Di tahun 2015, kegiatan meliputi penyiapan gedung/ruangan untuk *sol gel precipitation column*, pengadaan peralatan *sol-gel precipitation column*, Instalasi dan uji fungsi peralatan *sol-gel precipitation column*, dan penyusunan dokumen QA/QC proses *sol-gel precipitation UO₂/ADU*. Penyiapan ruangan untuk laboratorium sol gel telah selesai dengan menyediakan ruang yang dilengkapi dengan fumehood (lemari asam) yang dipasang filter hepa dan blower yang menyedot udara dalam fumehood. Pengadaan peralatan sol-gel sampai *aging, washing dan drying* telah dilakukan pengadaan dan diinstalasi dalam fumehood. Untuk penelitian juga telah dilakukan penelitian pembuatan larutan ADUN, pembuatan larutan sol dengan berbagai variasi variabel, proses gelasi, *aging, washing dan drying*.

Kata Kunci: Reaktor HTGR, Bahan Bakar Nuklir, Reaktor Daya Eksperimental, Sol-gel, ADUN, Aging, Washing, Drying

PENDAHULUAN

Dengan mengacu pada Visi dan Misi BATAN, maka segenap kegiatan litbang teknologi bahan bakar nuklir di PTBBN pada RPJMN 2015–2019 difokuskan untuk memperkuat dan meningkatkan kemampuan dan daya saing ilmiah teknis domestik di bidang teknologi bahan bakar nuklir reaktor daya maupun reaktor riset.

Reaktor suhu tinggi merupakan reaktor nuklir yang mempunyai keunggulan dibandingkan dengan reaktor reaktor yang sekarang dipergunakan dalam Pusat Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) yaitu pressurized water reaktor(PWR) atau boiling water reaktor (BWR). Reaktor suhu tinggi (RST) yang beroperasi pada suhu sekitar 1000°C, apabila mati mendadak yang disebabkan oleh factor lain seperti gempa dan tsunami yang menyebabkan adanya kegagalan pendingin, suhu akan naik sampai 1600°C tanpa melelehkan bahan bakar. Suhu reaktor kemudian akan turun tanpa campur tangan

manusia. Reaktor ini bisa dibuat dalam bentuk reaktor modul, sehingga cocok dibangun di Indonesia yang terdiri dari pulau-pulau karena jumlah modul reaktor yang dibangun dapat menyesuaikan kebutuhan listrik ditempat reaktor dibangun^[1,2].

Kebijakan litbang BATAN di bidang energi mengikuti dan mempertimbangkan *trend* kegiatan pengembangan teknologi reaktor daya dunia, yang mengarah kepada litbang sistem pemasok energi nuklir serba guna dengan siklus kogenerasi. Sistem pemasok energi dengan siklus kogenerasi lebih efisien dan ramah lingkungan, aman, ekonomis, dan berkelanjutan. Energi yang dipasok tersebut berbagai kebutuhan, baik untuk pembangkitan listrik maupun energi panas proses industri (meliputi produksi hidrogen, pencairan dan gasifikasi batubara, EOR dan desalinasi). Reaktor tersebut disebut Reaktor Daya Generasi IV^[3]. Di antara reaktor Generasi IV, reaktor berpendingin gas temperatur tinggi (HTGR) adalah reaktor yang kinerja dan ketersediaan teknologinya memungkinkan untuk diimplementasikan di Indonesia dalam waktu sepuluh tahun ke depan^[4]. Dalam rangka mendukung kebijakan BATAN, PTBBN merencanakan kegiatan litbang teknologi bahan bakar untuk memasok Reaktor Daya Eksperimental (RDE).

Dalam pengoperasiannya, RDE haruslah *sustainable*/berkelanjutan. Oleh karena itu, tujuan strategis kegiatan bangtek bahan bakar RDE adalah penyediaan bahan bakar RDE yang *sustainable*/berkelanjutan untuk pengoperasian RDE yang berkelanjutan. Salah satu strategi penyediaan bahan bakar nuklir yang berkelanjutan adalah domestifikasi industri bahan bakar nuklir. Untuk maksud tersebut, penguasaan teknologi bahan bakar RDE menjadi sangat penting. Penguasaan teknologi fabrikasi bahan bakar mensyaratkan antara lain penguasaan/pemahaman material proses, proses fabrikasi bahan bakar, dan peralatan fabrikasi bahan bakar. Penguasaan material, proses dan peralatan fabrikasi hanya bisa diperoleh melalui eksperimen. Oleh karena itu fasilitas fabrikasi bahan bakar RDE harus dimiliki. Realisasi fasilitas litbang teknologi bahan bakar RDE dilakukan secara bertahap yang dimulai tahun 2015 sampai dengan 2019. Di tahun 2015, kegiatan meliputi penyiapan gedung/ruangan untuk *sol-gel precipitation column*, pengadaan peralatan *sol-gel precipitation column*, Instalasi dan uji fungsi dan penyusunan dokumen QA/QC proses *sol-gel precipitation UO₂/ADU*.

PTBBN dengan salah satu tugasnya adalah melaksanakan litbang bahan bakar reaktor daya, diharapkan dapat berkontribusi pada penyediaan bahan bakar untuk pengoperasian RDE yang berkelanjutan. Salah satu strategi penyediaan bahan bakar yang berkelanjutan adalah dengan domestifikasi industri bahan bakar nuklir. Untuk maksud tersebut, penguasaan teknologi bahan bakar RDE menjadi sangat penting. Penguasaan teknologi fabrikasi bahan bakar mensyaratkan antara lain penguasaan/pemahaman material proses, proses fabrikasi bahan bakar, dan peralatan

fabrikasi bahan bakar. Penguasaan material, proses dan peralatan fabrikasi hanya bisa diperoleh melalui eksperimen. Oleh karena itu fasilitas fabrikasi bahan bakar RDE harus dimiliki.

Secara keseluruhan dalam pembuatan bahan bakar RST bentuk bola melibatkan banyak proses mulai dari pemurnian uranium dengan cara ekstraksi sampai sintering kernel UO_2 , pelapisan kernel UO_2 tersinter dan kompaksi partikel berlapis menjadi bahan bakar nuklir. Pemurnian uranium dilakukan dengan ekstraksi uranil nitrat hasil pelarutan konsentrat uranium menggunakan proses ekstraksi. Hasil larutan uranium murni kemudian digunakan untuk membuat larutan sol (*broth solution*). Untuk pembuatan sol uranil nitrat harus berkualifikasi ADUN (*Acid Deficient Uranil Nitrate*). Salah satu cara untuk membuat larutan ADUN yaitu pelarutan UO_3 atau U_3O_8 dengan asam nitrat. Kemudian larutan ADUN yang terjadi dinetralkan dengan penambahan NH_4OH sampai mencapai pH sedikit sebelum terjadi pengendapan 2.2-2.4. Larutan ADUN tersebut ditambahkan aditif larutan PVA dan THFA dan diaduk sampai homogen menjadi larutan sol. Larutan sol (*broth solution*) kemudian dilakukan proses gelas menjadi gel ADU dengan penetes pada medium gelas ammonium hidroksida.

Proses gelas dilakukan dalam kolom gelas yang diisi dengan media larutan ammonium hidroksida. Di dalam kolom bagian atas dimasukkan gas amoniak untuk pengerasan awal dari tetes larutan sol (*broth solution*) yang diteteskan pada bagian atas kolom. Penetes larutan sol melalui *nozzle* yang digetarkan pada frekuensi dan amplitudo tertentu. Pada waktu tetesan larutan sol melalui gas amoniak terjadi pengerasan permukaan tetes sehingga pada waktu jatuh dalam media gelas tetes tidak rusak. Pengerasan tetes berlanjut selama tetes turun melalui media gelas.

Proses yang terjadi dalam kolom gelas dipengaruhi oleh banyak faktor, baik dari sifat-sifat larutan sol maupun oleh peralatan gelas dan pendukungnya. Faktor berpengaruh yang berasal dari larutan sol diantaranya densitas, viskositas, perbandingan bahan aditif dengan uranium dalam larutan sol dan konsentrasi uranium dalam sol. Sedang faktor berpengaruh yang berasal dari kolomnya adalah tinggi kolom, diameter kolom, tinggi kolom berisi gas amoniak, ketinggian *nozzle* penetes, diameter *nozzle* penetes, frekuensi dan amplitudo penggetar *nozzle*.

Dilihat dari segi keselamatan pekerja/operator alat, alat gelas ini juga dituntut agar operator aman dan tidak ada hal-hal yang menyebabkan gangguan kesehatan selama mengoperasikan alat. Hal ini mengingat bahan-bahan yang dipakai cukup berbahaya. Larutan umpan sendiri adalah uranium yang berpotensi bahaya radiasi internal (kalau masuk tubuh) maupun radiasi eksternal (radiasi sinar α dan β). Disamping itu potensi bahaya gas NH_3 yang terhirup kalau terjadi kebocoran gas dari peralatan gelas. Untuk

bahaya radiasi dilakukan dengan menerapkan cara-cara penanganan bahan radioaktif dan untuk bahaya terhirup gas ammomiak, peralatan yang dijaga dan dirancang sehingga gas tidak keluar dari kolom tetapi juga cukup efektif dalam melakukan presolidifikasi tetes larutan sol.

Untuk menghilangkan air dan ammonium nitrat yang terdapat di dalam gel dilakukan dengan cara pencucian dengan larutan isopropil alkohol ^[5,6,7]. Gel ADU kemudian akan dilakukan proses pengeringan, kalsinasi, reduksi dan sintering menjadi partikel UO_2 tersinter diameter 0,5 mm. Partikel UO_2 tersinter tersebut digunakan sebagai bahan untuk proses pelapisan menjadi partikel terlapis^[5,7].

Dalam penelitian ini diharapkan peralatan proses yang digunakan dapat digunakan secara aman dan dapat digunakan untuk mewakili proses produksi bahan bakar nuklir. Demikian juga peralatan skala pilot yang akan diinstal dapat menggambarkan proses yang sesungguhnya dalam proses gelas gel ADU untuk bahan bakar RST.

METODOLOGI

Tujuan dari kegiatan Litbang ini adalah domestifikasi bahan bakar untuk penyediaan bahan bakar reaktor daya eksperimental yang berkelanjutan. Pada tahun 2015 kegiatan yang difokuskan pada Teknologi Fabrikasi Gel ADU. Metodologi yang dilakukan adalah penguasaan peralatan, proses dan material fabrikasi Gel ADU. Kegiatan yang dilakukan adalah melalui : penyiapan gedung/ruangan salah satunya dengan menyediakan sistem ventilasi aktif untuk *sol gel precipitation column*. Instalasi fabrikasi skala laboratorium alat pembuatan larutan ADUN, uji fungsi peralatan *sol-gel precipitation column*, pembuatan larutan sol untuk umpan, pembuatan gel ADU melalui proses gelas, aging, washing dan drying menjadi gel ADU kering.

HASIL DAN PEMBAHASAN

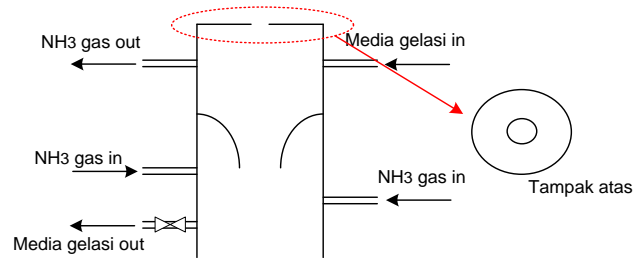
Pada tahun 2015 telah dilakukan beberapa kegiatan dalam rangka modifikasi peralatan gelas skala laboratorium dan persiapan tempat serta instalasi peralatan sol-gel skala pilot plant.

Kolom gelas buatan sendiri yang sudah terpasang, dimodifikasi agar fungsi kolom pre presipitasi gel dapat terjadi dan dapat dioperasikan dengan mudah dan aman. Tempat aging buatan sendiri dimodifikasi dan dilengkapi dengan pengering vakum. Persiapan ruang laboratorium solgel untuk peralatan pilot plant solgel dan instalasi peralatan gelas pilot plant.

Kegiatan-kegiatan tersebut adalah sbb:

I. Modifikasi kolom gelas pada bagian ujung atas kolom

Tujuan modifikasi ini agar konsentrasi gas NH_3 dalam kolom berisi NH_3 lebih besar, sehingga proses pre presipitasi berjalan baik dan gel pada waktu mencapai permukaan media gelas yang berjarak ± 10 cm dari ujung jarum penetes tidak berubah bentuk.



Gambar 1. Rencana aliran NH_3 dalam kolom



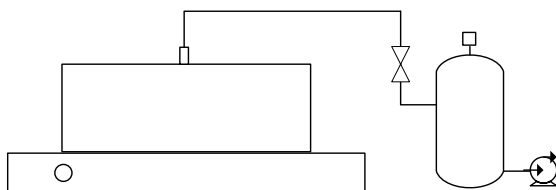
Gambar 2. Perbaikan aliran NH_3 dalam kolom

Modifikasi aliran gas NH_3 sbb:

1. Aliran gas NH_3 masuk ada di bagian bawah penyekat dan mengisi ruang bagian bawah tersebut dan keluar melalui lubang dibagian tenah penyekat.
2. Gas NH_3 keluar ke pompa vakum melalui lubang di bagian atas.
3. Aliran gas NH_3 keluar dialirkan dengan pemvakuman menggunakan pompa vakum dan dikeluarkan ke cerobong asap. Pompa vakum menggantikan water jet yang digunakan sebelumnya.

Jarak jarum penetesan dan permukaan media gelas menjadi 10 cm. Setelah dijalankan untuk proses gelas aliran optimal gas NH₃ adalah 1,5-2,5 cc/menit. Dengan aliran tersebut konsentrasi gas NH₃ dalam kolom cukup untuk memadatkan permukaan tetes sol sehingga tidak berubah bentuk pada waktu jatuh dalam media dan tidak terjadi penggumpalan pada jarum penetes.

2. Modifikasi tempat aging dan pengeringan awal (dengan vakum)



Keterangan Gambar

- 1. Pemutar
- 2. Tempat gel
- 3. Vakum



Gambar 3. Skema pengeringan gel dengan vakum

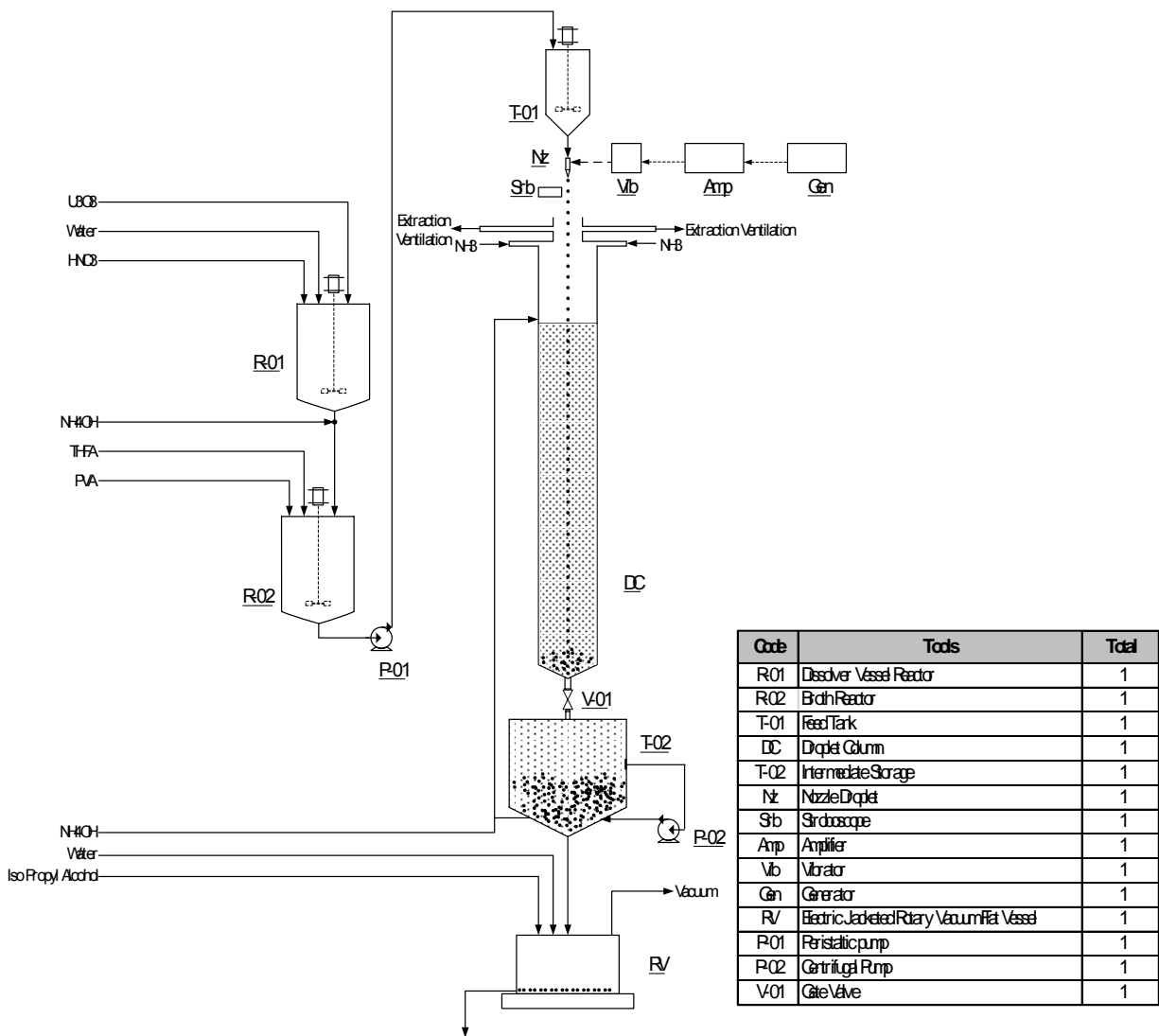
Modifikasi tempat aging dilakukan dengan pembuat saluran vakum pada tempat aging sehingga setelah dilakukan ajing dan pencucian gel dapat dilakukan pengeringan awal dengan vakum. Tujuan dari pemvakuman adalah untuk menjaga penguapan tidak terlanpau cepat yaitu dengan pemvakuman dan pemanasan pada suhu yang rendah. Dengan penguapan yang pelan-pelan akan mencegah terjadinya retakan gel karena perubahan bentuk/penyusutan volume yang banyak pada gel ADU.

3. Pengadaan Peralatan Proses Sol-Gel

a. Disain untuk Peralatan Sol-gel

Untuk pengadaan peralatan utama telah disusun TOR *Sol-Gel Precipitation Equipment System and The Process for R&D of HTGR Fuel Fabrication Technology* yang digunakan oleh Unit Layanan Pengadaan (ULP) untuk mengadakan pelelangan (*bidding*) kepada rekanan-rekanan internasional. Dokumen TOR ini secara garis

besar memuat: *Purpose & Objective, Target, Duration of Execution, Laboratory Location, Technical Specification, Supporting Data, General Requirement, Scope of Activity, Acceptance Criteria for Sol-Gel Precipitation Equipment System, Technology Transfer Program, Experts, Appendix (General Description of HTGR Fuel Fabrication Process; Scope of Work (Procured Equipment: Figure 4); Specification Requirement of Procured Equipment and Gel ADU Product).*



Gambar 4. *Flow Diagram Of Lab Scale Sol-Gel Precipitation Column Equipment System For R & D Of HTGR Fuel Fabrication Technology*

Kegiatan pengadaan tersebut dengan dilakukan pengiriman TOR tersebut ke beberapa negara seperti Afrika Selatan, Tiongkok dan Jerman untuk mendapatkan informasi harga penawaran. Informasi harga ini akan dijadikan dasar untuk mengadakan pelelangan (*bidding*) yang dilakukan oleh ULP. Dengan cara ini

diharapkan PTBBN akan mendapatkan peralatan dengan harga yang riil dan spesifikasi yang memenuhi persyaratan.

b. Disain untuk Pengadaan Peralatan Penunjang

Disain untuk pengadaan peralatan penunjang meliputi disain pengungkung operasi *sol-gel precipitation column system* (Gambar 4) dan VAC aktifnya (Gambar 5) telah dilakukan. Pengungkung dan VAC aktifnya diperlukan untuk penghematan penggunaan energi (listrik) dan media (gas dan air pendingin). Selain itu telah disusun KAK/persyaratan spesifikasi alat-alat karakterisasi sol-gel (pHmeter, turbidimeter, viscometer dan liquid densimeter).



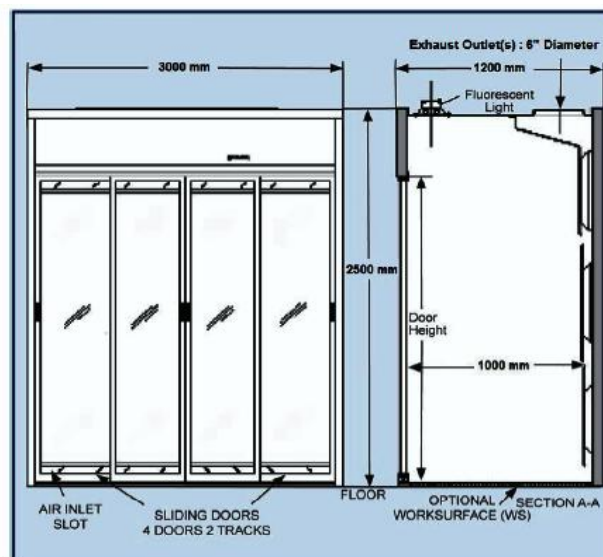
Gambar referensi space/ruangan (Liu, B.,)



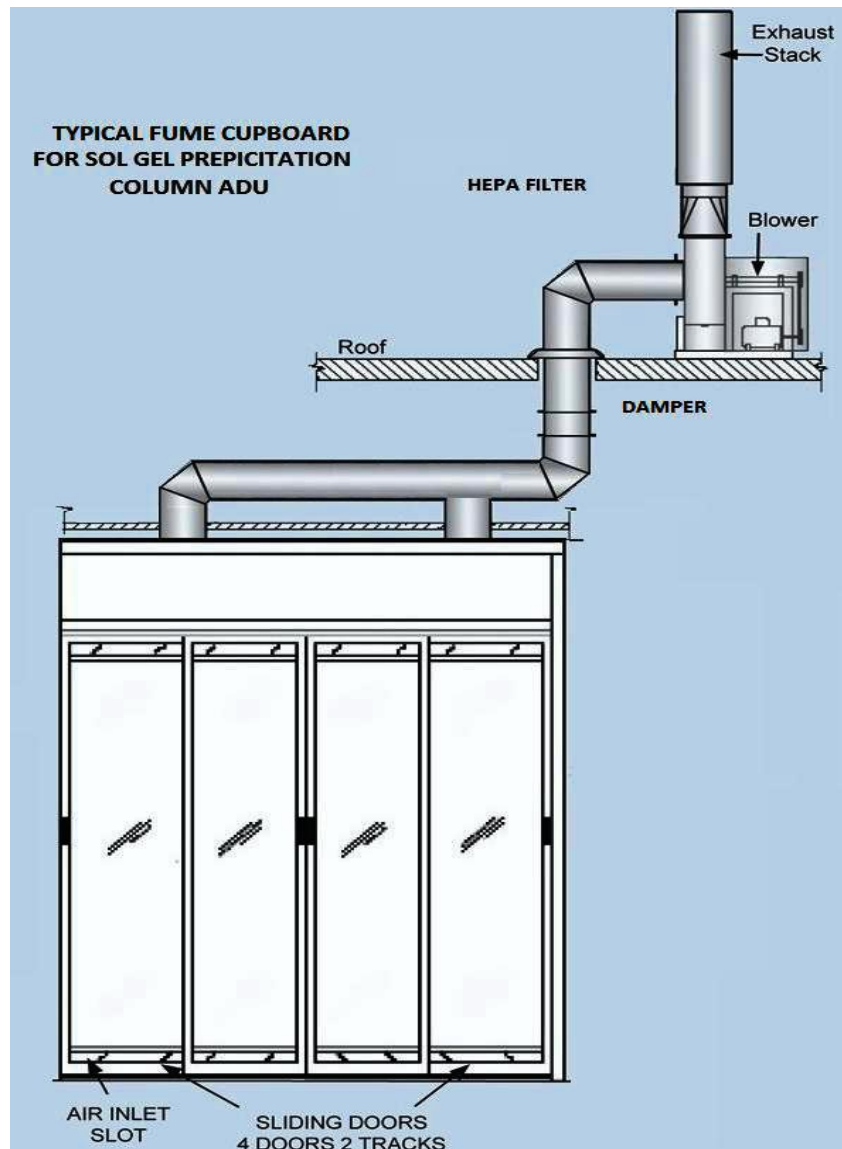
Gambar 5. Disain pengungkung operasi *sol-gel precipitation column system*

Keterangan Gambar 5:

Uraian spesifikasi space/ruangan ditunjukkan dalam Gambar 6, Gambar 7 dan Gambar 8, di bawah ini.

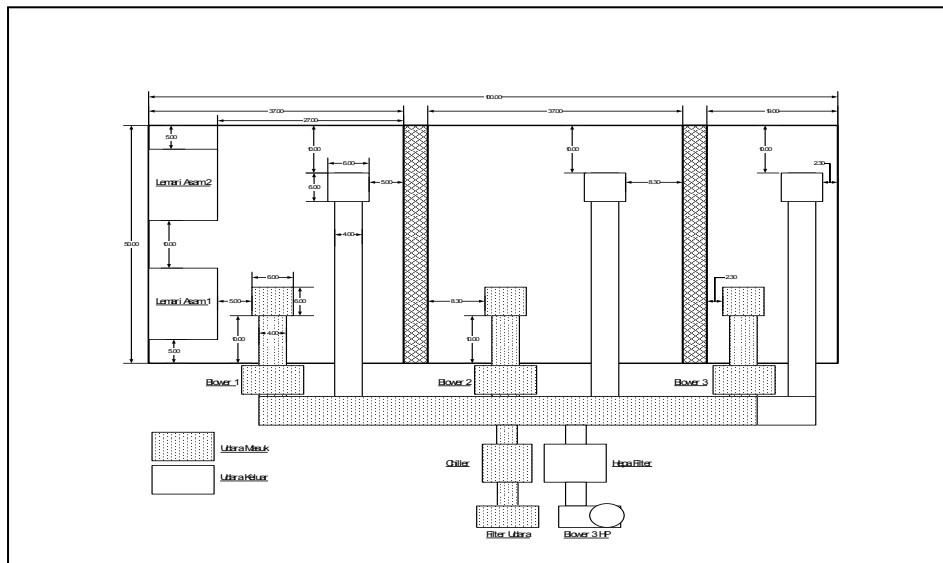


Gambar 6. Ukuran Fumehood



Gambar 7. Kapasitas dan Spesifikasi Alat yang Diperlukan

Ruang laboratorium direncanakan dilengkapi dengan VAC (ventilation Air Circulation) untuk menjaga udara dalam laboratorium tetap fres dan sehat. Untuk itu dilengkapi dengan saluran udara masuk yang tersaring dan dingin setelah melalui chiller. Gambar rencana VAC tersebut dapat dilihat dalam Gambar dibawah ini.



Gambar 8. rencana saluran untuk CAV Ruang Laboratorium

c. Pengadaan Peralatan Penunjang

Telah dilakukan pengadaan Peralatan Penunjang yang terdiri dari renovasi ruang ukuran 10 x 8,5 m menjadi ruang laboratorium solgel, keadaan ruang tersebut di tunjukkan dalam Gambar 9. Kegiatan dalam laboratorium sol-gel ini diantaranya adalah untuk pembuatan larutan ADUN, pembuatan larutan sol (broth solution) untuk umpan gelas, Proses gelasi untuk pembuatan gel ADU, aging hasil proses gelasi, pencucian gel dan pengeringan gel. Hasil renovasi adalah ruang tertutup dengan satu pintu keluar yang tersedia saluran air untuk pencuci dan listrik 1 dan 3 fase. Dalam ruang juga disediakan 1 meja untuk preparasi. Hasil ruang yang sudah terrenovasi dapat dilihat dalam Gambar 10.



Gambar 9. Renovasi ruang Sol-Gel

Untuk pembuatan VAC pada ruang laboratorium sol gel, karena adanya sesuatu hal pelaksanaannya ditunda.



Gambar 10. Ruang laboratorium Sol-Gel

Telah dilakukan pengadaan dan pemasangan fumehood dari stainless steel (Gambar 11) yang digunakan untuk instalasi peralatan sol-gel yang meliputi reaktor pelarutan uranium menjadi ADUN, reaktor pembuatan sol solution (broth solution), kolom gelas, aging, washing dan drying gel. Kapasitas pelarutan uranium adalah 1,5 kg uranium per batch.



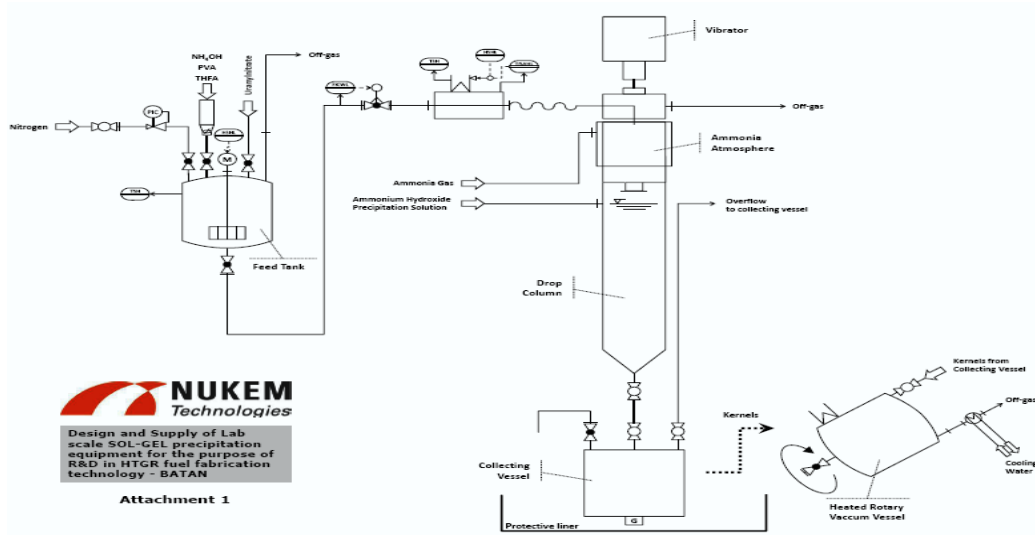
Gambar 11. fumehood untuk alat sol-gel

Pengadaan Peralatan Utama Peralatan Sol-Gel

Telah diadakan kolom solgel dari Nukem Jerman yang terdiri dari :

- a. Reaktor pelarutan uranium (1,5 kg/batch)
- b. Reaktor pembuatan larutan sol (broth solution)
- c. Kolom Gelas
- d. Tempat aging, washing dan drying

Peralatan sol-gel yang diinstal dapat dilihat dalam Gambar 12 dan Gambar 13.



Gambar 12. Diagram Alir Kolom Sol-Gel Nukem yang diinstal di Gd 07 PTBBN Yogyakarta



Gambar 13. Peralatan solgel Jerman Sol-Gel Nukem yang diinstal di Gd 07 PTBBN Yogyakarta

Reaktor pelarutan dari kaca dengan kapasitas 1,5 kg U/batch dilengkapi dengan pengaduk listrik, pemanas listrik yang terkontrol suhunya, corong pemasukan cairan dengan *valve* di bagian bawah, kondensator untuk pendinginan gas keluar dari reaktor, lubang pemasukan serbuk U_3O_8 . Hasil pelarutan setelah disaring menghasilkan larutan induk uranil nitrat.

Reaktor pembuatan sol dari kaca dengan kapasitas 1,5 kg U/batch dilengkapi dengan pengaduk listrik, pemanas listrik yang terkontrol suhunya, corong pemasukan cairan dengan *valve* di bagian bawah, saluran untuk pemasukan udara tekan dan saluran ke *nozzle* penetes. Sol yang sudah jadi ditekan oleh udara tekan dan mengalir ke *nozzle* penetes.

Nozzle penetes digunakan untuk meneteskan sol uranium ke dalam kolom berisi amonium hidroksida. *Nozzle* dilengkapi dengan vibrator yang dapat diatur frekuensi dan amplitudonya. Tetesan dari *nozzle* dapat dilihat dengan strotoskop yang diatur pada frekuensi vibrator.

Kolom gelas adalah kolom setinggi sekitar 75 cm yang diisi dengan larutan ammonium hidroksida. Tetesan sol yang jatuh akan membentuk gel bulat dari gel ADU dan mengeras pada saat sampai dasar kolom. Kolom gelas dilengkapi dengan penampung gel dan dilengkapi dengan saringan gel, sehingga gel hasil gelas dapat mudah dikeluarkan dari kolom gelas.

4. Penguasaan Proses

Penguasaan proses meliputi: penelitian tentang pembuatan larutan *Acid Deficient Uranyl Nitrate* (ADUN) kadar U tinggi dengan rasio $\text{NO}_3/\text{U}=1,6$; pengaruh jenis PVA dalam pembuatan gel ADU; proses gelas menggunakan larutan ADUN; pengaruh variasi aging, washing dan drying terhadap gel ADU; pengaruh variasi perlakuan panas (pengeringan, kalsinasi, reduksi dan sintering) terhadap gel ADU.

Telah dilakukan berbagai variasi dari variabel untuk menghasilkan gel yang baik

- Konsentrasi U
- PH larutan
- Jumlah PVA
- Jumlah THFA

Dari variabel tersebut dapat diperoleh kecenderungan perubahan sol sbb:

- Kadar PVA dalam sol tinggi, viskositas sol diperoleh tinggi
- THFA tinggi sulit terbentuk butiran yang bulat tetapi lebih mudah menyesuaikan terhadap pengurangan volume (tidak mudah pecah)
- Perbandingan THFA/PVA tinggi (sekitar 10-12) range viskositas untuk terjadinya gel yang baik sekitar 50 cP
- Perbandingan THFA/PVA rendah range viskositas terjadinya gel baik diatas 150 cP

- PVA dengan BM lebih kecil akan menjadi sol dengan viskositas rendah, sehingga untuk mencapai viskositas sol yang menghasilkan gel baik diperlukan PVA yang lebih banyak.
- Hasil produk gel ADU tergantung dari komposisi sol (konsentrasi U, jumlah PVA, jumlah THFA, viscositas, kehogenan sol)
- Hasil produk gel ADU tergantung dari peralatan gelas dan cara pengoperasian kolom gelas.
- Hasil produk gel gelas dipengaruhi oleh cara proses aging, pencucian dan pengeringan.
- Proses pengeringan dan kalsinasi menentukan terjadinya keretakan gel hasil pengeringan dan kalsinasi, kecepatan kenaikan suhu kecil terutama pada suhu penguapan cairan dalam kernel.



Gambar 14. Foto kegiatan penelitian pembuatan larutan ADUN

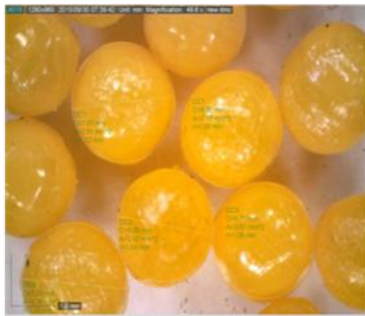
GEL HASIL PROSES GELASI



Gel basah hasil proses gelasi



Gel Kering hasil pengeringan

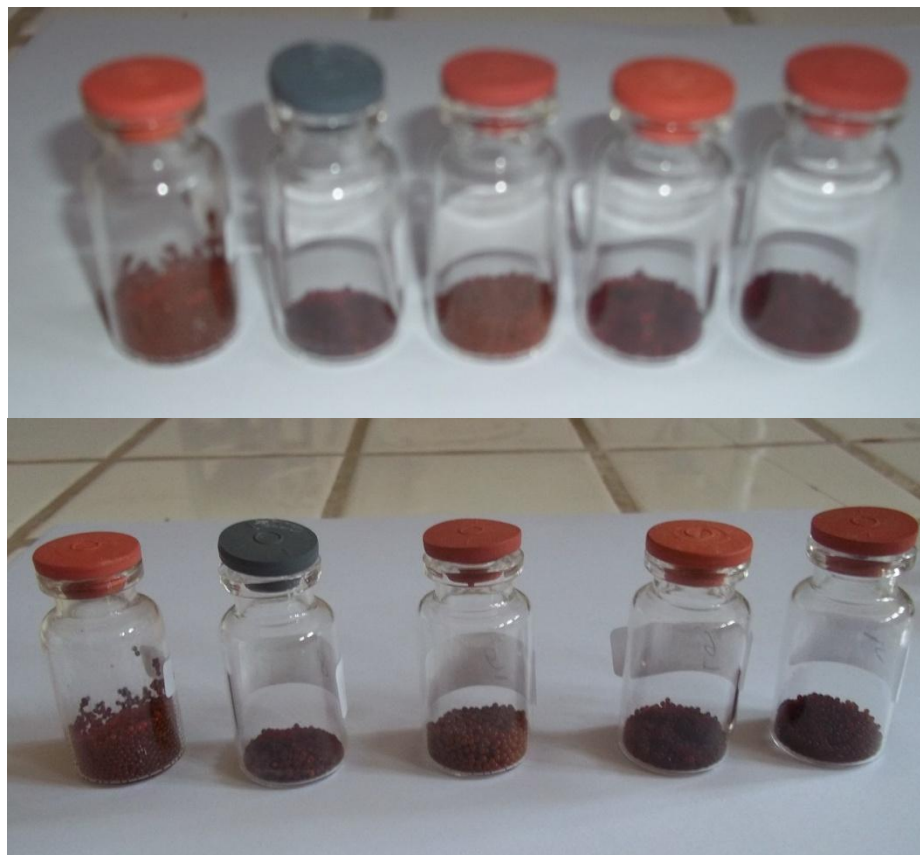


Gel basah hasil pencucian



Gel basah hasil pencucian

Gambar 15. Hasil gel



Gambar 16. Gambar produk sementara.

KESIMPULAN

Hasil kegiatan yang diperoleh sesuai dengan sasaran yang direncanakan, yakni penguasaan peralatan proses fabrikasi Gel ADU. Hasil tersebut antara lain: penguasaan peralatan fabrikasi gel ADU dan instrumentasi; penguasaan proses; penguasaan material fabrikasi bahan bakar RDE; format dokumen teknis fabrikasi bahan bakar HTGR dan kendali kualitasnya (fabrikasi gel ADU).

DAFTAR PUSTAKA

1. M.A. Futterer, L. Fu, C. Sink, S. Groot, M. Pouchon, Y.W. Kim, F. Carre, Y. Tachabana, "Status of Very High Temperatur Reactor System", *Progress in Nuclear Energy*, 77(2014)266-281.
2. M.K. Rowinski, T. John, White, J. Zhao, "Small and Medium sized Reactors (SMR): A review of technology, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*", no. 44(2015)643-656
3. Stephen M. Goldberg and Robert Rosner, "Nuclear Reactors: Generation to Generation", American Academy of Arts and Sciences, 2011, ISBN 0-87724-090-6.
4. Mohammad Dhandhang Purwadi, "Disain Konseptual Sistem Reaktor Daya Maju Kogenerasi Berbasis RGTT", *Prosiding Seminar Nasional ke-16 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir*, Hal. 14- 22, ISSN : 0854 – 2910.
5. Z. Xiangwen, L. Zhenming. Z. Jie, L. Bing, Z. Yanwen, T. Chunhe, T. Yaping, "Preparation of Spherical Fuel Elements for HTR-PM in INET", Institute of Nuclear and New Energy Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China, *Nuclear Engineering and Design*, 263(2013)456-461.
6. Z. Xiangwen, M. Jingtao, H. Shaochang, Z. Xingyu, W. Yang, D. Changsheng, L. Tongxiang, G. Wenli, T. Yaping, T. Chunhe, "Preparation of Ammonium Diuranate Particles by External Gelation Process of Uranium in INET", Institute of Nuclear and New Energy Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China, *Nuclear Engineering and Design*, 250(2012)192-196.
7. Sukarsono, "Review Teknologi Pelapisan Partikel Terlapis untuk Bahan Bakar Reaktor Suhu Tinggi, *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah IPTEK Nuklir*", PTAPB-BATAN, Yogyakarta, 2010.
8. Langen, H., Naefe, P., and Ringel, H., "Method and Apparatus for Producing Spherical Particles of Uniform Size of Nuclear Fuels or Breeder Materials", United States Patent 964284(1980).

9. Lin, Jun, "Sol-Gel Processes for ThO₂ Kernel Fabrication", Thorium & Uranium Fuel Research Laboratory Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences, 2014.
10. Liu, Bing, "HTGR Fuel Fabrication and Quality Control", IAEA courses on High Temperature Gas Cooled Reactor Technologies, Institute of Nuclear and New Energy Technology, Tsinghua University, Beijing, China, 2012.
11. Japan VAM & POVAL, Co., Ltd., POVAL, 2010. <http://www.jpvp.co.jp/english/product/pva/index.html>. Diakses pada tanggal 29 Maret 2013.