



**PERATURAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**NOMOR 9 TAHUN 2006**  
**TENTANG**  
**PELAKSANAAN PROTOKOL TAMBAHAN PADA SISTEM**  
**PERTANGGUNGJAWABAN DAN PENGENDALIAN BAHAN NUKLIR**  
**DENGAN RAHMAT TUHAN YANG MAHA ESA**  
**KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR,**

- Menimbang : a. bahwa Indonesia telah menandatangani Perjanjian dengan Badan Tenaga Atom Internasional untuk Penerapan Seifgards dalam Hubungannya dengan Perjanjian Mengenai Pencegahan Penyebaran Senjata-senjata Nuklir (*Agreement between the Republic of Indonesia and the International Atomic Energy Agency for the Application of Safeguards in Connection with the Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons*), dan untuk memperkuat efektivitas dan meningkatkan efisiensi pelaksanaan seifgards, Indonesia telah menandatangani Protokol Tambahan Pada Perjanjian dengan Badan Tenaga Atom Internasional (*Additional Protocol to the Agreement between the Republic of Indonesia and the International Atomic Energy Agency for the Application of Safeguards*);
- b. bahwa untuk melaksanakan pengawasan, terhadap lalu lintas barang nuklir dan nonnuklir yang masuk dan ke luar Indonesia perlu dilakukan berdasarkan ketentuan sebagaimana terdapat dalam Protokol Tambahan;
- c. bahwa berdasarkan pertimbangan sebagaimana dimaksud pada huruf a, dan huruf b, dipandang perlu menetapkan Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir tentang Pelaksanaan

Protokol Tambahan Pada Sistem Pertanggungjawaban dan Pengendalian Bahan Nuklir ;

- Mengingat :
1. Undang-undang Nomor 8 Tahun 1978 tentang Pengesahan Perjanjian Mengenai Pencegahan Penyebaran Senjata-Senjata Nuklir (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 1978 Nomor 53, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 3129);
  2. Undang-undang Nomor 10 Tahun 1995 tentang Kepabeanan (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 1995 Nomor 75, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 3612);
  3. Undang-undang Nomor 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 1997 Nomor 23, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 3676);
  4. Keputusan Presiden Nomor 103 Tahun 2001 tentang Kedudukan, Tugas, Fungsi, Kewenangan, Susunan Organisasi, dan Tata Kerja Lembaga Non Departemen sebagaimana telah beberapa kali diubah, terakhir dengan Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 64 Tahun 2005;
  5. Keputusan Kepala BAPETEN Nomor 01-rev.2/K-OTK/V-04 tentang Organisasi dan Tata Kerja Badan Pengawas Tenaga Nuklir;
  6. Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 2 Tahun 2005 tentang Sistem Pertanggungjawaban dan Pengendalian Bahan Nuklir ;

MEMUTUSKAN :

- Menetapkan : PERATURAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR TENTANG PELAKSANAAN PROTOKOL TAMBAHAN PADA SISTEM PERTANGGUNGJAWABAN DAN PENGENDALIAN BAHAN NUKLIR.

BAB I  
KETENTUAN UMUM

Pasal 1

Dalam Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir ini yang dimaksud dengan:

1. Bahan nuklir adalah bahan yang dapat menghasilkan reaksi pembelahan berantai atau bahan yang dapat diubah menjadi bahan yang dapat menghasilkan reaksi pembelahan berantai.
2. Kegiatan Penelitian dan Pengembangan yang berhubungan dengan daur bahan bakar nuklir, selanjutnya disingkat Litbang daur bahan nuklir adalah semua kegiatan yang secara khusus berhubungan dengan setiap aspek pengembangan sistem atau proses kegiatan yang meliputi:
  - a. konversi bahan nuklir;
  - b. pengayaan bahan nuklir;
  - c. fabrikasi bahan bakar nuklir;
  - d. reaktor nuklir;
  - e. perangkat kritis; dan/atau
  - f. pengolahan ulang bahan bakar nuklir.
3. Pengolahan limbah radioaktif tingkat sedang atau tinggi adalah pengolahan limbah yang mengandung plutonium (Pu), uranium (U) pengayaan tinggi atau uranium-233, kecuali pembungkusan-ulang atau pengkondisian yang tidak melibatkan pemisahan elemen, untuk penyimpanan atau pembuangan tetapi tidak termasuk kegiatan yang berhubungan dengan penelitian ilmiah dasar atau teoritis, penelitian, dan pengembangan aplikasi penggunaan radioisotop di bidang industri, kesehatan, hidrologi, pertanian, efek lingkungan, dan kesehatan, serta peningkatan perawatan.
4. Fasilitas adalah instalasi nuklir atau setiap lokasi yang biasa menggunakan bahan nuklir dalam jumlah yang lebih besar dari 1 (satu) kg efektif.

5. Bahan sumber, adalah:
  - a. uranium yang mengandung campuran isotop yang terjadi di alam;
  - b. uranium depleksi yang mengandung isotop 235;
  - c. thorium;
  - d. uranium atau thorium seperti tersebut pada huruf a, huruf b, dan huruf c dalam bentuk logam, paduan logam, senyawa kimia, atau konsentrat;
  - e. bahan-bahan lain yang mengandung satu atau lebih dari bahan sebagaimana dimaksud dalam huruf a, huruf b, huruf c, dan huruf d dalam konsentrasi yang ditetapkan oleh Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir; dan/atau
  - f. bahan selain yang dimaksud pada huruf a, huruf b, huruf c, huruf d, dan huruf e yang ditetapkan oleh Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir.
6. Instalasi Nuklir adalah :
  - a. reaktor nuklir;
  - b. fasilitas yang digunakan untuk pemurnian, konversi, pengayaan bahan nuklir, fabrikasi bahan bakar nuklir, dan/atau pengolahan ulang bahan nuklir bekas; dan/atau
  - c. fasilitas yang digunakan untuk menyimpan bahan bakar nuklir dan bahan nuklir bekas.
7. Kilogram Efektif adalah satuan khusus yang digunakan dalam pengendalian bahan nuklir.
8. Lokasi di Luar Fasilitas (*Location Outside Facilities*), selanjutnya disingkat LOF adalah setiap instalasi atau lokasi bukan fasilitas dimana bahan nuklir biasa digunakan, yang jumlahnya sama dengan atau lebih kecil dari 1 (satu) kg efektif.
9. Tapak (*Site*) adalah daerah yang dinyatakan dalam informasi desain untuk fasilitas, termasuk:
  - a. fasilitas yang telah ditutup;
  - b. Lokasi di Luar Fasilitas (*Location Outside Facilities*); dan

- c. instalasi yang berdekatan dengan fasilitas yang meliputi *hot cell*, atau instalasi pengolahan limbah dan gedung-gedung yang berkaitan dengan kegiatan pada lampiran I.
10. Fasilitas atau LOF terdekomisioning adalah instalasi atau lokasi yang bahan sisa dan peralatan utamanya telah dipindahkan atau tidak dioperasikan, sehingga tidak dapat digunakan untuk menyimpan, menangani, mengolah, atau menggunakan bahan nuklir.
11. Fasilitas atau LOF yang telah ditutup adalah instalasi atau lokasi yang telah diberhentikan operasinya dan bahan nuklir telah dipindahkan tetapi belum terdekomisioning.
12. Uranium Pengayaan Tinggi (*High Enriched Uranium*) yang selanjutnya disingkat HEU adalah uranium yang mengandung 20% (dua puluh persen) atau lebih isotop U-235.
13. Pengambilan Cuplikan (*sampling*) lingkungan lokasi khusus adalah pengumpulan cuplikan lingkungan meliputi udara, air, tumbuh-tumbuhan, tanah, usapan, yang berada di dan sekitar fasilitas yang ditentukan oleh Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir untuk menyimpulkan bahwa tidak ada bahan atau kegiatan nuklir yang tak terdeklarasi di lokasi tersebut.
14. Pengambilan Cuplikan (*sampling*) Lingkungan Luas adalah pengumpulan cuplikan lingkungan meliputi udara, air, tumbuh-tumbuhan, tanah, usapan, di seluruh lokasi yang ditentukan oleh Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir, untuk menyimpulkan bahwa tidak ada bahan atau kegiatan nuklir yang tidak terdeklarasi di lokasi tersebut.
15. Pengusaha Instalasi atau Fasilitas Nuklir adalah orang perseorangan atau badan hukum yang bertanggung jawab dalam pengoperasian instalasi nuklir atau Fasilitas Nuklir.
16. Pengusaha Instalasi Nonnuklir adalah orang perseorangan atau badan hukum yang bertanggung jawab dalam pengoperasian instalasi nonnuklir yang terkait baik langsung maupun tidak

langsung dengan daur bahan bakar nuklir.

17. International Atomic Energy Agency yang selanjutnya disingkat IAEA adalah Badan Tenaga Atom Internasional.
18. Badan Pengawas Tenaga Nuklir yang selanjutnya disingkat BAPETEN adalah Lembaga Pemerintah Non Departemen yang mempunyai tugas melaksanakan urusan pemerintahan di bidang pengawasan tenaga nuklir sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

## Pasal 2

- (1) Peraturan Kepala BAPETEN ini bertujuan untuk mencegah terjadinya perubahan pemanfaatan bahan nuklir.
- (2) Peraturan Kepala BAPETEN ini mengatur persyaratan dan tanggung jawab Pengusaha Instalasi atau Fasilitas Nuklir dan/atau Pengusaha Instalasi Nonnuklir dalam melaksanakan Protokol Tambahan.

## Pasal 3

- (1) Pengusaha Instalasi atau Fasilitas Nuklir dan/atau Pengusaha Instalasi Nonnuklir bertanggung jawab mematuhi persyaratan protokol tambahan seifgards di fasilitas dan lokasi di luar fasilitas.
- (2) Untuk mematuhi persyaratan protokol tambahan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) Pengusaha Instalasi atau Fasilitas Nuklir dan Pengusaha Instalasi Nonnuklir dapat menunjuk penanggung jawab pelaksana.
- (3) Penunjukan penanggung jawab pelaksana sebagaimana dimaksud pada ayat (2) harus diberitahukan kepada Kepala BAPETEN.

#### Pasal 4

- (1) Kepala BAPETEN dapat menyetujui Inspektur IAEA untuk melaksanakan verifikasi informasi yang telah dideklarasikan, pada saat pelaksanaan inspeksi di fasilitas.
- (2) Kepala BAPETEN menunjuk Inspektur Keselamatan Nuklir untuk mendampingi Inspektur IAEA, selama melaksanakan kegiatan inspeksi atau verifikasi informasi di fasilitas.
- (3) Akses informasi dan lokasi Litbang daur bahan bakar nuklir wajib diberikan kepada Inspektur Keselamatan Nuklir BAPETEN dan Inspektur IAEA, selama kegiatan inspeksi atau verifikasi informasi di fasilitas.

## BAB II PELAPORAN DAN WAKTU PELAPORAN

### Bagian Kesatu Pelaporan

#### Pasal 5

- (1) Pengusaha Instalasi atau Fasilitas Nuklir dan Pengusaha Instalasi Nonnuklir wajib menyampaikan deklarasi atas fasilitas, instalasi nuklir, dan/atau kegiatannya kepada Kepala BAPETEN.
- (2) Deklarasi sebagaimana dimaksud pada ayat (1) harus berisi tentang:
  - a. uraian umum dan keterangan tentang lokasi Litbang daur bahan bakar nuklir yang tidak menggunakan bahan nuklir, yang:
    1. dibiayai oleh pemerintah;
    2. secara khusus dikuasai, dikendalikan, atau dilaksanakan oleh pemerintah, atau atas nama pemerintah.
  - b. penjelasan kegiatan operasional yang berhubungan dengan Sistem Pertanggungjawaban dan Pengendalian Bahan Nuklir, selanjutnya disingkat SPPBN, di fasilitas dan LOF

- yang biasa menggunakan bahan nuklir;
- c. uraian umum tentang setiap gedung di masing-masing tapak fasilitas nuklir, termasuk penggunaan, isi, dan denah tapak;
  - d. uraian tentang skala operasi untuk setiap lokasi dalam kegiatan sebagaimana tercantum dalam Lampiran I yang merupakan bagian tidak terpisahkan dalam Peraturan Kepala BAPETEN ini ;
  - e. penjelasan :
    1. lokasi;
    2. status operasi; dan
    3. perkiraan kapasitas produksi pertahun :
      - a) kegiatan penambangan dan pengkonsentrasian uranium dan pengkonsentrasian thorium; dan
      - b) jumlah produksi seluruh dan masing-masing lokasi penambangan dan instalasi pengkonsentrasian sebagaimana dimaksud pada huruf a).
  - f. penjelasan tentang bahan sumber yang belum mencapai komposisi dan kemurnian yang sesuai untuk fabrikasi bahan bakar atau pengayaan isotop, dengan ketentuan sebagai berikut :
    1. jumlah, komposisi kimia, penggunaan bahan sumber untuk kegiatan nuklir atau nonnuklir, untuk setiap lokasi dengan jumlah bahan nuklir melebihi 1 (satu) ton uranium atau thorium;
    2. jumlah, komposisi kimia, dan negara tujuan untuk setiap ekspor bahan sumber, khususnya untuk maksud penggunaan nonnuklir dalam jumlah melebihi :
      - a) 10 (sepuluh) ton uranium atau dalam hal ekspor uranium secara berturut-turut ke negara yang sama, masing-masing kurang dari 10 (sepuluh) ton, tetapi melebihi jumlah seluruhnya 10 (sepuluh) ton untuk setahun;

- b) 20 (dua puluh) ton thorium, atau dalam hal ekspor thorium secara berturut-turut ke negara yang sama, masing-masing kurang dari 20 (dua puluh) ton thorium, tetapi melebihi jumlah seluruhnya 20 (dua puluh) ton untuk setahun; dan
  3. jumlah, komposisi kimia, lokasi sekarang, dan penggunaan setiap impor bahan sumber, khususnya untuk maksud penggunaan nonnuklir dalam jumlah yang melebihi :
    - a) 10 (sepuluh) ton uranium, atau impor uranium secara berturut, masing-masing kurang dari 10 (sepuluh) ton, tetapi secara keseluruhan melebihi 10 (sepuluh) ton untuk setahun; dan
    - b) 20 (dua puluh) ton thorium, atau impor thorium secara berturut-turut masing- masing kurang dari 20 (dua puluh) ton, tetapi secara keseluruhan melebihi 20 (dua puluh) ton untuk setahun;
- g. penjelasan :
  1. jumlah, penggunaan, dan lokasi bahan nuklir yang dibebaskan dari Seifgards atau SPPBN sebagaimana dimaksud dalam Pasal 42 Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 2 Tahun 2005 tentang Sistem Pertanggungjawaban dan Pengendalian Bahan Nuklir;
  2. jumlah dan penggunaan di setiap lokasi, bahan nuklir yang dibebaskan dari SPPBN sebagaimana dimaksud dalam Pasal 43 huruf b Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 2 Tahun 2005, tetapi belum dalam bentuk akhir penggunaan nonnuklir, yang jumlahnya melebihi ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 42 Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 2 Tahun 2005; dan
  3. ketentuan sebagaimana dimaksud dalam angka 2 tidak memerlukan pembukuan bahan nuklir yang rinci;

- h. penjelasan lokasi atau pengolahan lebih lanjut limbah tingkat sedang atau tinggi yang mengandung Pu, HEU, atau U-233 yang tidak dikenakan Seifgards atau SPPBN sebagaimana dimaksud dalam Pasal 44 Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 2 Tahun 2005.
  - i. penjelasan peralatan khusus dan bahan nonnuklir sebagaimana tercantum dalam Lampiran II yang merupakan bagian tidak terpisahkan dalam Peraturan ini, yaitu untuk :
    - 1. ekspor, meliputi :
      - a) identitas;
      - b) jumlah;
      - c) lokasi penggunaan di negara tujuan; dan
      - d) tanggal atau tanggal yang diperkirakan pelaksanaan ekspor.
    - 2. impor, berisi konfirmasi tentang barang atau peralatan yang diimpor, meliputi :
      - a) identitas;
      - b) jumlah;
      - c) lokasi penggunaan di Indonesia;
      - d) tanggal impor; dan
      - e) negara asal.
  - j. rencana umum pengembangan daur bahan bakar nuklir untuk periode 10 (sepuluh) tahun berturut-turut, termasuk Litbang yang terkait dengan daur bahan bakar nuklir yang telah terencana, apabila telah disetujui oleh Pimpinan Instalasi atau Fasilitas Nuklir dan Pimpinan Instalansi Nonnuklir.
- (3) Ketentuan sebagaimana dimaksud pada ayat (2) huruf f tidak berlaku bagi bahan sumber yang dimaksudkan untuk penggunaan nonnuklir ketika bahan sumber itu sudah dalam bentuk penggunaan akhir.

- (4) Selain ketentuan sebagaimana dimaksud pada ayat (2), Pengusaha Instalasi atau Fasilitas Nuklir dan Pengusaha Instalasi Nonnuklir wajib menyampaikan deklarasi dan informasi tentang :
- a. uraian umum dan keterangan tentang lokasi kegiatan Litbang daur bahan bakar nuklir, yang tidak menggunakan bahan nuklir, yang:
    1. khusus berhubungan dengan pengayaan, pengolahan- ulang bahan bakar nuklir, atau pengolahan limbah radioaktif tingkat sedang dan tinggi ; dan
    2. tidak dibiayai, dikuasai, dikendalikan, atau dilakukan oleh pemerintah;
  - b. uraian umum kegiatan dan identitas orang atau badan hukum yang melakukan kegiatan pada lokasi di luar tapak yang berkaitan secara fungsional dengan kegiatan di dalam tapak.
- (5) Kepala BAPETEN dapat meminta penjelasan lebih lanjut atas deklarasi dan informasi sebagaimana dimaksud pada ayat (2) dan ayat (4) selama berkaitan dengan tujuan SPPBN.
- (6) Penyusunan dan format deklarasi sebagaimana dimaksud pada ayat (1) akan diatur dalam Peraturan Kepala BAPETEN tersendiri.

## Bagian Kedua Waktu Pelaporan

### Pasal 6

- (1) Deklarasi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 5 ayat (2) huruf a sampai dengan huruf e, huruf f angka 1, angka 2, dan angka 3, huruf g, huruf h, huruf j, dan Pasal 5 ayat (4) huruf a wajib disampaikan kepada Kepala BAPETEN.
- (2) Untuk setiap tahun berikutnya, deklarasi dengan atau tanpa perubahan wajib disampaikan kepada Kepala BAPETEN, paling

lama tanggal 15 April.

- (3) Informasi triwulan mengenai kegiatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 5 ayat (2) huruf i angka 1 dan angka 2 wajib disampaikan kepada Kepala BAPETEN, paling lama 30 (tigapuluh) hari setelah akhir triwulan.
- (4) Pengusaha Instalasi atau Fasilitas Nuklir dan Pengusaha Instalasi Nonnuklir wajib menyampaikan informasi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 5 ayat (2) huruf h dalam waktu 180 (seratus delapan puluh) hari sebelum proses berikutnya dilaksanakan selain menyampaikan deklarasi sebagaimana dimaksud pada ayat (1).
- (5) Ketentuan mengenai tata cara penyampaian deklarasi diatur dalam Peraturan Kepala BAPETEN tersendiri.

### BAB III AKSES

#### Pasal 7

- (1) Pengusaha Instalasi atau Fasilitas Nuklir dan Pengusaha Instalasi Nonnuklir wajib memberikan akses kepada Inspektur IAEA yang didampingi oleh Inspektur Keselamatan Nuklir BAPETEN pada setiap :
  - a. tempat di tapak fasilitas dan lokasi untuk kegiatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 5 ayat (2) huruf e sampai dengan huruf h;
  - b. lokasi untuk kegiatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 5 ayat (2) huruf a sampai dengan huruf d, dan huruf i angka 2 atau untuk kegiatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 5 ayat (4); dan
  - c. lokasi di dalam fasilitas atau LOF terdekomisioning.
- (2) Akses sebagaimana dimaksud pada ayat (1) diperlukan untuk dapat:
  - a. meyakinkan bahwa tidak ada kegiatan nuklir yang tidak

terdeklarasi;

- b. melakukan pengambilan cuplikan (*sampling*) lingkungan lokasi khusus, untuk memecahkan permasalahan yang berhubungan dengan kebenaran dan kelengkapan deklarasi; dan
- c. untuk memastikan status fasilitas dan LOF terdekomisioning untuk kegiatan pertanggungjawaban dan pengendalian bahan nuklir.

#### Pasal 8

- (1) Dalam hal lokasi akses sebagaimana dimaksud dalam Pasal 7 ayat (1) huruf b dan huruf c, Kepala BAPETEN menyampaikan pemberitahuan akses IAEA kepada Pengusaha Instalasi atau Fasilitas Nuklir dan Pengusaha Instalasi Nonnuklir paling singkat 24 (dua puluh empat) jam sebelum melakukan akses.
- (2) Kepala BAPETEN menyampaikan pemberitahuan akses IAEA kepada Pengusaha Instalasi Nuklir dan Pengusaha Instalasi Nonnuklir untuk pelaksanaan verifikasi informasi desain, inspeksi rutin, atau inspeksi *ad hoc* fasilitas ke setiap tempat di dalam tapak sebagaimana dimaksud dalam Pasal 7 ayat (1) huruf a, dilakukan paling singkat 2 (dua) jam, tetapi dalam keadaan luar biasa dapat kurang dari 2 (dua) jam.
- (3) Akses sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dan ayat (2) harus diberitahukan terlebih dahulu secara tertulis dan dengan menyebutkan alasan dan jenis kegiatan yang akan dilaksanakan selama akses.
- (4) Akses sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dan ayat (2) hanya dapat dilakukan selama jam kerja, kecuali dapat ditentukan lain apabila Pengusaha Instalasi dan/atau Fasilitas Nuklir menyetujuinya.
- (5) Inspektur IAEA dan Inspektur Keselamatan Nuklir dapat melakukan inspeksi mendadak ke fasilitas tanpa pemberitahuan

terlebih dahulu.

#### Pasal 9

- (1) Kegiatan yang dilaksanakan selama akses sebagaimana dimaksud dalam Pasal 7 adalah :
  - a. pengamatan visual;
  - b. pengambilan cuplikan lingkungan;
  - c. penggunaan peralatan deteksi radiasi dan peralatan pengukuran;
  - d. penggunaan segel;
  - e. penghitungan item (*item counting*) bahan nuklir;
  - f. analisis tidak merusak; dan/atau
  - g. pencocokan catatan.
- (2) Pengusaha Instalasi atau Fasilitas Nuklir harus mengizinkan Inspektur IAEA didampingi oleh Inspektur Keselamatan Nuklir BAPETEN untuk melaksanakan pengambilan cuplikan lingkungan.

#### BAB IV KERAHASIAAN

#### Pasal 10

- (1) Pengusaha Instalasi atau Fasilitas Nuklir dan Pengusaha Instalasi Nonnuklir harus menjaga kerahasiaan semua akses dan informasi yang termuat dalam deklarasi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 5 ayat (2).
- (2) Dalam melaksanakan akses sebagaimana dimaksud dalam Pasal 7, Inspektur IAEA dan Inspektur Keselamatan Nuklir BAPETEN terikat untuk:
  - a. tidak menyebarkan informasi proliferasi sensitif, memenuhi persyaratan yang berkaitan dengan proteksi fisik atau keselamatan; atau
  - b. melindungi informasi komersial atau kepemilikan yang

sensitif.

BAB V  
PENUTUP

Pasal 11

Peraturan Kepala BAPETEN ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkan.

Ditetapkan di Jakarta

pada tanggal 1 November 2006

KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR,

ttd

SUKARMAN AMINJOYO

**LAMPIRAN I**  
**PERATURAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**NOMOR 9 TAHUN 2006**  
**TENTANG**  
**PELAKSANAAN PROTOKOL TAMBAHAN PADA SISTEM**  
**PERTANGGUNGJAWABAN DAN PENGENDALIAN BAHAN NUKLIR**

**DAFTAR KOMPONEN SEBAGAIMANA DIMAKSUD DALAM  
PASAL 5 AYAT (2) HURUF d**

1. Pabrik tabung rotor sentrifugal atau perakitan sentrifugal gas  
Tabung rotor sentrifugal adalah silinder berdinding tipis sebagaimana dimaksud dalam Bagian E angka 1 huruf a angka 2) Lampiran II.  
Sentrifugal gas adalah pemusing sebagaimana dimaksud dalam catatan pendahuluan Bagian E angka 1 Lampiran II.
2. Pabrik barrier difusi (*diffusion barrier*)  
*barrier* difusi adalah filter berpori halus sebagaimana dimaksud dalam Bagian E angka 3 huruf a Lampiran II.
3. Pabrik atau perakitan sistem berbasis laser (*laser-based system*)  
Sistem berbasis laser adalah gabungan sistem, peralatan, dan komponen sebagaimana dimaksud dalam Bagian E angka 7 Lampiran II.
4. Pabrik atau perakitan separator isotop elektromagnetik  
Separator isotop elektromagnetik adalah sistem, peralatan, dan komponen sebagaimana dimaksud dalam Bagian E angka 9 huruf a, yang mengandung sumber ion sebagaimana dimaksud dalam Bagian E angka 9 huruf a angka 1).
5. Pabrik atau perakitan peralatan ekstraksi atau kolom  
Peralatan ekstraksi atau kolom adalah sistem, peralatan, dan komponen sebagaimana dimaksud dalam Bagian E angka 6 huruf a, huruf b, huruf c, huruf e, huruf f, huruf g, dan huruf h Lampiran II.
6. Pabrik nozel pemisah aerodinamik (*aerodynamic separator nozzles*) atau tabung vorteks (*vortex tubes*)  
Nozel pemisah aerodinamik atau tabung vorteks adalah nozel pemisah dan tabung vorteks sebagaimana dimaksud dalam Bagian E angka 1 huruf a dan huruf b Lampiran II.
7. Pabrik atau perakitan sistem pembangkit plasma uranium  
Sistem pembangkit plasma uranium adalah sistem yang digunakan untuk pembangkit plasma uranium sebagaimana dimaksud dalam Bagian E angka 8 huruf c Lampiran II.

8. Pabrik tabung zirkonium

Tabung zirkonium adalah tabung sebagaimana dimaksud dalam Bagian A angka 6 Lampiran II.

9. Pabrik atau *up grading* air berat atau deuterium

Air berat atau deuterium adalah deuterium, air berat (deuterium oksida) dan senyawa deuterium lain yang perbandingan antara atom deuterium dan hidrogen melebihi 1:5000.

10. Pabrik grafit derajat nuklir

Grafit adalah grafit yang mempunyai tingkat kemurnian lebih baik daripada 5 ppm ekuivalen boron dan dengan kerapatan lebih besar daripada 1,5 g/cm<sup>3</sup>.

11. Pabrik *flask* untuk bahan bakar teriradiasi

*Flask* untuk bahan bakar teriradiasi adalah bejana untuk pengangkutan dan/atau penyimpanan bahan bakar teriradiasi yang memberikan proteksi radiasi, kimia, dan panas, serta memindahkan panas peluruhan (*decay heat*) selama penanganan, pengangkutan, dan penyimpanan.

12. Pabrik batang kendali reaktor

Batang kendali reaktor adalah peralatan sebagaimana dimaksud dalam Bagian A angka 4 Lampiran II.

13. Pabrik bejana dan tangki pengaman kekritisasi (*criticality safe tanks and vessels*)

Bejana dan tangki pengaman kekritisasi adalah peralatan sebagaimana dimaksud dalam Bagian C angka 2 dan angka 4 Lampiran II.

14. Pabrik mesin pemotong elemen bahan bakar teriradiasi

Mesin pemotong elemen bahan bakar teriradiasi adalah peralatan sebagaimana dimaksud dalam Bagian C angka 1 Lampiran II.

15. Konstruksi *Hot-cell*

*Hot-cell* adalah suatu ruang (*cell*) atau beberapa *cell* yang saling berhubungan dengan volume total minimum sebesar 6 m<sup>3</sup> dengan perisai beton yang tebalnya sama dengan atau lebih besar dari ekuivalen 0,5 m beton, dengan kerapatan 3,2 g/cm<sup>3</sup> atau lebih, dilengkapi dengan pengoperasian jarak jauh.

**LAMPIRAN II**  
**PERATURAN KEPALA BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR**  
**NOMOR 9 TAHUN 2006**  
**TENTANG**  
**PELAKSANAAN PROTOKOL TAMBAHAN PADA SISTEM**  
**PERTANGGUNGJAWABAN DAN PENGENDALIAN BAHAN NUKLIR**

**DAFTAR PERALATAN KHUSUS DAN BAHAN NONNUKLIR UNTUK  
LAPORAN EKSPOR DAN IMPOR SESUAI DENGAN  
PASAL 5 AYAT (2) HURUF i**

**A. Reaktor dan peralatannya**

**1. Reaktor nuklir**

Reaktor nuklir mampu beroperasi dengan mempertahankan reaksi fisi berantai yang terkendali secara berkelanjutan, tidak termasuk reaktor dengan energi nol, yang didefinisikan sebagai reaktor dengan maksimum laju produksi plutonium tidak melebihi 100 g pertahun.

Reaktor Nuklir pada dasarnya mencakup peralatan yang berada di dalam atau yang melekat pada bejana reaktor, peralatan kendali daya dalam teras, serta komponen yang biasanya berisi atau kontak langsung dengan atau mengendalikan pendingin primer dalam teras reaktor.

Hal ini tidak dimaksudkan untuk mengecualikan reaktor yang dapat dimodifikasi untuk menghasilkan plutonium lebih dari 100 g per tahun secara signifikan. Reaktor yang didesain untuk beroperasi secara terus menerus pada tingkat daya tertentu tanpa memperhatikan kapasitas produksi plutoniumnya, yang bukan merupakan reaktor energi nol.

**2. Bejana Tekan Reaktor (*Reactor pressure vessels*)**

Bejana metal sebagai suatu unit yang lengkap atau bagian dari *major shop-fabricated*, yang secara khusus didesain untuk mengungkung teras reaktor nuklir sebagaimana dimaksud dalam angka 1 dan dapat mempertahankan tekanan operasi pendingin utama.

Plat atas dari bejana tekan reaktor sebagaimana dimaksud dalam angka 2 ini merupakan bagian utama dari bejana tekan. Bagian dalam reaktor, antara lain kolom penyangga, plat teras dan bejana internal lainnya, tabung pipa batang kendali, perisai panas, *baffel*, plat kisi teras, dan alat difusi, biasanya dipasang oleh pemasok reaktor. Dalam beberapa hal komponen penyangga internal tertentu termasuk dalam fabrikasi bejana tekan. Peralatan-peralatan tersebut sangat berpengaruh terhadap keselamatan dan keandalan operasi reaktor.

**3. Mesin pengisian (*charging*) dan pengeluaran (*discharging*) bahan bakar reaktor**

Peralatan manipulasi yang didesain atau dipersiapkan khusus untuk memasukkan atau memindahkan bahan bakar reaktor sebagaimana dimaksud dalam angka 1.

**4. Batang kendali reaktor**

Batang kendali yang didesain atau dipersiapkan khusus untuk mengendalikan laju reaksi dalam reaktor nuklir sebagaimana dimaksud dalam angka 1.

Bahan ini mencakup, bahan pendukung, atau struktur suspensi, apabila pasokannya terpisah, tidak termasuk bahan penyerap neutron.

**5. Tabung tekan reaktor**

Tabung yang didesain atau dipersiapkan khusus untuk mengungkung elemen bahan bakar dan pendingin primer dalam reaktor sebagaimana dimaksud dalam angka 1 dengan tekanan operasi tidak lebih dari 5,1 MPa (740 psi).

**6. Tabung Zirkonium**

Tabung yang terbuat dari logam zirkonium dan campurannya, dengan berat tidak melebihi 500 kg dalam satu periode 12 (duabelas) bulan, yang didesain atau dipersiapkan khusus untuk reaktor sebagaimana dimaksud dalam angka 1, dimana perbandingan berat antara hafnium dan zirkonium tidak melebihi 1 : 500.

**7. Pompa pendingin primer**

Pompa yang didesain atau dipersiapkan khusus untuk sirkulasi pendingin primer pada reaktor nuklir sebagaimana dimaksud dalam angka 1.

Pompa yang didesain atau dipersiapkan secara khusus meliputi sistem *seal* atau beberapa *seal* untuk mencegah kebocoran pada pendingin primer, pompa dengan penggerak tabung tertutup (*canned-driven pumps*), dan pompa dengan sistem massa inersia. Definisi ini termasuk pompa yang disertifikasi dengan NC-1 atau standar lain yang setara.

## B. Bahan nonnuklir untuk reaktor

### 1. Deuterium dan air berat

Deuterium, air berat (deuterium oksida), dan senyawa deuterium lainnya dengan perbandingan atom deuterium dan hidrogennya melebihi 1:5000 dan digunakan untuk reaktor nuklir sebagaimana dimaksud dalam angka 1, dan beratnya tidak melebihi 200 kg atom deuterium untuk setiap negara penerima dalam jangka waktu 12 (duabelas) bulan.

### 2. Grafit

Grafit yang mempunyai tingkat kemurnian lebih daripada 5 ppm ekuivalen boron, dan densitasnya lebih besar dari 1,5 g/cm<sup>3</sup> dan beratnya tidak melebihi 3 × 10<sup>4</sup> kg (30 ton) untuk setiap negara penerima dalam jangka waktu 12 (duabelas) bulan.

## C. Instalasi untuk proses ulang elemen bakar terirradiasi dan peralatan yang didesain dan dipersiapkan khusus untuk itu

Proses ulang bahan bakar terirradiasi memisahkan plutonium dan uranium dari produk fisi radioaktif dan elemen transuranik lainnya. Proses teknik yang berbeda dapat mencapai pemisahan ini. Namun demikian, selama bertahun-tahun Purex telah menjadi proses yang paling umum digunakan dan diterima. Purex melibatkan pelarutan bahan bakar nuklir terirradiasi dalam asam nitrat, dilanjutkan dengan pemisahan uranium, plutonium, dan produk fisi dengan cara mengekstraksi larutan dengan menggunakan campuran *tributil* fosfat dalam suatu larutan organik.

Fasilitas Purex mempunyai fungsi proses yang sama satu dengan lainnya, termasuk pemotongan elemen bahan bakar terirradiasi, pelarutan bahan bakar, ekstraksi bahan pelarut, dan penyimpanan cairan. Di fasilitas Purex terdapat peralatan untuk denitrasi termal (*thermal denitration*) dari uranium nitrat, konversi dari plutonium nitrat menjadi oksida atau logam, dan penanganan larutan limbah produk fisi menjadi suatu bentuk yang sesuai untuk penyimpanan dalam jangka waktu lama atau pembuangan (*disposal*). Namun demikian, tipe khusus dan konfigurasi peralatan yang menjalankan fungsi ini dapat berlainan antara fasilitas-fasilitas Purex, termasuk tipe dan kuantitas bahan bakar nuklir terirradiasi yang

akan diproses dan susunan bahan yang diolah ulang, serta filosofi keselamatan serta perawatan yang tergabung menjadi desain fasilitas.

Instalasi untuk memproses ulang elemen bakar nuklir terirradiasi termasuk peralatan dan komponen yang biasanya langsung berhubungan dan secara langsung mengendalikan bahan bakar yang diirradiasi, bahan nuklir utama, dan alur pemrosesan produk fisi.

Proses ini termasuk seluruh sistem untuk konversi plutonium dan produksi logam plutonium, dapat diidentifikasi dengan pengukuran untuk menghindari kekritisitas misalnya melalui geometri, paparan radiasi misalnya dengan pemberian penahan, dan bahaya toksisitas dengan pengungkung.

Jenis-jenis peralatan yang dianggap termasuk dalam pengertian “dan peralatan yang didesain dan dipersiapkan khusus” untuk proses ulang elemen bahan bakar terirradiasi termasuk:

1. Mesin pemotong elemen bahan bakar terirradiasi

Peralatan ini memotong kelongsong (*cladding*) bahan bakar untuk mengumpulkan bahan nuklir terirradiasi menjadi larutan. Mesin pemotong logam yang didesain paling banyak digunakan, walaupun peralatan canggih lain seperti laser dapat digunakan.

Peralatan yang dioperasikan dari jarak jauh yang didesain atau disiapkan secara khusus untuk digunakan di dalam instalasi proses ulang seperti dijelaskan di atas dan dimaksudkan untuk memotong, mencacah, atau menggantung perangkat bundel (*bundles*) atau batang bahan bakar nuklir terirradiasi.

2. Alat Pelarut (*dissolvers*)

Pelarut biasanya melarutkan bahan bakar yang telah dipotong. Dalam bejana pengaman kekritisitas ini, bahan nuklir yang terirradiasi dilarutkan dalam asam nitrat dan sisanya dipindahkan dari alur proses.

Tangki pengaman kekritisitas (misalnya berdiameter kecil, melingkar atau tangki datar) didesain atau dipersiapkan khusus untuk digunakan dalam instalasi proses ulang yang dimaksudkan untuk melarutkan bahan bakar nuklir terirradiasi dan dapat menahan larutan sangat panas, sangat korosif, dan yang dapat diisi dan dirawat dari jarak jauh.

3. Ekstraktor bahan pelarut (*solvent extractors*) dan alat pengestraksi bahan pelarut

Ekstraktor pelarut menampung baik larutan bahan bakar yang terirradiasi dari pelarut maupun larutan organik yang memisahkan uranium, plutonium, dan produk fisi. Peralatan ekstraksi pelarut biasanya didesain untuk memenuhi parameter pengoperasian yang ketat, misalnya masa pengoperasian yang lama tanpa persyaratan perawatan atau kemampuan penyesuaian pada penggantian secara mudah (*easy replacement*), kesederhanaan pengoperasian dan pengendalian, dan fleksibilitas untuk variasi dalam kondisi pemrosesan.

Ekstraktor bahan pelarut yang didesain atau disiapkan secara khusus misalnya kolom terbungkus atau kolom pulsa, bak pengendap campuran (*mixer settlers*) atau pengontak sentrifugal (*centrifugal contractors*) untuk digunakan di dalam instalasi untuk proses ulang bahan bakar terirradiasi. Ekstraktor bahan pelarut harus tahan terhadap efek korosif asam nitrat. Ekstraktor bahan pelarut biasanya dibuat dengan standar yang sangat tinggi, termasuk pengelasan dan pemeriksaan secara khusus dan jaminan kualitas dan teknik kendali kualitas, baja tahan karat (*stainless steel*) berkarbon rendah, titanium, zirkonium atau bahan berkualitas tinggi lainnya.

4. Bejana penampung atau penyimpan bahan kimia

Tiga alur utama proses alir cairan yang berasal dari tahap ekstraksi zat pelarut. Tangki penampung atau penyimpan digunakan pada pemrosesan lebih lanjut dari ketiga aliran tersebut:

- a. Larutan uranium nitrat murni dipekatkan dengan evaporasi dan dilakukan proses denitrasi dimana larutan tersebut diubah menjadi uranium oksida. Oksida ini digunakan kembali dalam daur bahan bakar nuklir;
- b. Larutan produk fisi radioaktif biasanya dipekatkan dengan evaporasi dan disimpan dalam bentuk konsentrat cairan. Konsentrat ini kemudian dapat dievaporasi dan diubah kedalam bentuk yang sesuai untuk penyimpanan atau pembuangan; dan
- c. Larutan plutonium nitrat murni pekat dan disimpan untuk menunda pengalihannya menuju proses lebih lanjut. Secara khusus, tangki penampung atau penyimpan larutan plutonium didesain untuk mencegah

timbulnya masalah kekritisitas yang berasal dari perubahan konsentrasi dan bentuk aliran ini;

Bejana penampung atau penyimpan khusus didesain atau dipersiapkan untuk penggunaan di instalasi pemrosesan ulang bahan bakar teriradiasi. Bejana penampung atau penyimpan harus tahan terhadap efek korosi asam nitrat. Bejana penampung atau penyimpan biasanya dibuat dari bahan seperti baja stenlis (*stainless steel*) karbon rendah, titanium atau zirkonium, atau bahan berkualitas tinggi lainnya. Bejana penampung atau penyimpan dapat didesain untuk operasi dan perawatan jarak jauh dan dapat memiliki fitur-fitur di bawah ini untuk mengendalikan kekritisitas nuklir:

- a. dinding atau struktur internal dengan ekivalen boron paling sedikit 2%;
  - b. diameter maksimum 175 mm untuk tangki silinder; atau
  - c. lebar maksimum 75 mm untuk tangki berbentuk lingkaran atau lempengan.
5. Sistem konversi plutonium nitrat menjadi oksida

Pada hampir seluruh fasilitas pemrosesan ulang, proses akhir ini melibatkan perubahan larutan plutonium nitrat menjadi plutonium dioksida. Fungsi utama yang terdapat dalam proses ini adalah: penyimpanan dan pengaturan umpan proses, pengendapan pemisahan padat/cair, kalsinasi, penanganan produk, ventilasi, pengelolaan limbah, dan pengendalian proses.

Sistem lengkap didesain atau dipersiapkan khusus untuk konversi plutonium nitrat menjadi plutonium oksida, secara khusus diubah untuk mencegah kekritisitas dan efek radiasi dan meminimisasi bahaya toksisitas.

6. Sistem produksi plutonium oksida menjadi metal

Proses ini, yang berkaitan dengan fasilitas pemrosesan ulang, melibatkan fluorinasi plutonium dioksida, biasanya disertai dengan hidrogen fluorida yang sangat korosif, untuk menghasilkan plutonium fluorida yang kemudian dikurangi dengan menggunakan kalsium logam dengan pemurnian tinggi untuk menghasilkan plutonium metalik dan sisa kalsium fluorida. Fungsi utama yang terdapat dalam proses ini ini adalah: fluorinasi (misalnya yang menggunakan peralatan yang difabrikasi atau ditemplei metal berharga), pengurangan metal (misalnya penggunaan pelebur keramik), pemulihan sisa, penanganan produk, ventilasi, pengelolaan limbah, dan kendali proses.

Sistem lengkap didesain atau dipersiapkan khusus untuk produksi plutonium metal, khususnya yang diadaptasikan untuk mencegah kekritisian dan efek radiasi dan untuk meminimisasi bahaya toksisitas.

**D. Fasilitas untuk fabrikasi elemen bahan bakar nuklir**

Fasilitas untuk fabrikasi elemen bahan bakar nuklir meliputi peralatan:

1. yang biasanya kontak langsung dengan, atau memproses secara langsung, atau mengendalikan terhadap alur produksi bahan nuklir; atau
2. yang mengungkung bahan nuklir didalam kelongsongnya.

**E. Fasilitas untuk pemisahan isotop uranium dan peralatannya, yang khusus didesain atau dipersiapkan untuk itu, selain instrumen analitik.**

Jenis-jenis peralatan yang dianggap sama dengan pengertian “peralatan, yang khusus didesain atau dipersiapkan, selain instrumen analitik “ untuk pemisahan isotop uranium meliputi:

**1. Sentrifugal gas, perangkat, dan komponen yang khusus didesain atau dipersiapkan untuk penggunaan pada sentrifugal gas**

Sentrifugal gas umumnya terdiri dari silinder berdinding tipis berdiameter antara 75 mm dan 400 mm ditempatkan pada lingkungan hampa udara dan diputar dengan kecepatan tinggi 300 m/detik atau lebih dengan sumbu utama vertikal. Untuk mencapai kecepatan tinggi, bahan konstruksi untuk komponen berotasi harus mempunyai kekuatan tinggi terhadap perbandingan densitas dan rangkaian rotor, demikian juga komponen individualnya harus dibuat dengan toleransi terdekat untuk meminimisasi ketidakseimbangan. Jika dibandingkan dengan sentrifugal lain, sentrifugal gas untuk pengayaan uranium dibedakan dengan membuat penghalang berbentuk piringan (*disc*) dan pengaturan tabung stasioner didalam ruang rotor untuk pemasukan dan pengekstrasian gas  $UF_6$  dan mempunyai sekurang-kurangnya 3 (tiga) saluran terpisah yang 2 (dua) diantaranya dihubungkan dengan sekop yang terpasang dari poros rotor menuju batas luar ruang rotor. Didalam lingkungan hampa udara, sentrifugal gas juga berisi sejumlah peralatan kekritisian yang tidak berotasi dan meskipun bagian-bagian tersebut didesain secara khusus, tidaklah sulit baik untuk memfabrikasi bagian-bagian tersebut atau yang terfabrikasi dari bahan-bahan

unik. Bagaimanapun fasilitas sentrifugal memerlukan sejumlah besar komponen-komponen ini, sehingga secara kuantitas dapat memberikan indikasi penting penggunaan akhir.

a. Komponen berotasi

1) Perangkat rotor

Silinder berdinding tipis atau sejumlah silinder berdinding tipis yang terhubung satu sama lain, dibuat dari satu atau lebih bahan yang kuat dengan rasio densitas tinggi. Jika terhubung satu dengan lainnya, silinder digabungkan bersama dengan alat penyambung (*bellow*) yang fleksibel atau cincin (*ring*) sebagaimana dimaksud dalam angka 3) subbagian ini. Pada rotor dipasang penghalang (*baffle*) internal dan penutup pada ujungnya, sebagaimana dimaksud dalam angka 4) dan angka 5) subbagian ini, jika dalam bentuk akhir. Namun demikian, perangkat rotor utuh dapat dikirim dalam rangkaian bagian per bagian.

2) Tabung rotor

Secara khusus didesain atau dipersiapkan silinder berdinding tipis dengan ketebalan 12 mm atau kurang, berdiameter antara 75 mm dan 400 mm, dan dibuat dari satu atau lebih bahan yang kuat dengan rasio densitas tinggi.

3) *Ring* atau *bellow*

Komponen-komponen yang secara khusus didesain atau dipersiapkan untuk memberikan penunjang terhadap tabung rotor atau untuk menggabungkan bersama-sama sejumlah tabung rotor. *Bellow* merupakan silinder pendek dinding berketebalan 3 mm atau kurang, berdiameter antara 75 mm dan 400 mm, memiliki lilitan, dan dibuat dari sebuah bahan yang kuat dengan rasio densitas tinggi.

4) Penghalang (*baffle*)

Komponen berbentuk piringan berdiameter antara 75 mm dan 400 mm secara khusus didesain atau dipersiapkan untuk ditempelkan didalam tabung rotor sentrifugal untuk mengisolasi ruang pelepasan dari ruang pemisah utama dan dalam hal-hal tertentu untuk membantu sirkulasi gas

UF<sub>6</sub> didalam ruang pemisah utama tabung rotor, dan dibuat dari bahan yang kuat dengan rasio densitas yang tinggi.

5) Penutup bagian atas atau bawah (*Top caps atau Bottom caps*)

Komponen berbentuk kepingan berdiameter antara 75 mm dan 400 secara khusus didesain atau dipersiapkan untuk menutup ujung tabung rotor, yang didalamnya berisi UF<sub>6</sub>, dan dalam hal-hal tertentu dipergunakan untuk menopang, menahan, atau mengungkung bagian yang tergabung dalam elemen bantalan (*bearing*) bagian atas atau untuk membawa elemen motor berotasi dan bantalan bagian bawah, serta dibuat dari bahan yang kuat dengan rasio densitas yang tinggi.

Bahan-bahan yang digunakan untuk komponen berotasi sentrifugal adalah:

1. Baja *maraging* yang memiliki kuat daya rentang akhir  $2,05 \times 10^9$  N/m<sup>2</sup> atau lebih;
2. Campuran alumunium yang memiliki daya rentang akhir  $0,46 \times 10^9$  N/m<sup>2</sup> atau lebih; dan
3. Bahan filamen yang sesuai untuk penggunaan didalam struktur komposit dan memiliki modulus spesifik  $12,3 \times 10^6$  m atau lebih dan daya rentang akhir spesifik  $0,3 \times 10^6$  m atau lebih (modulus spesifik adalah modulus Young dalam N/m<sup>2</sup> dibagi dengan berat spesifik dalam N/m<sup>3</sup>; Daya Rentang Akhir Spesifik adalah daya rentang akhir dalam N/m<sup>2</sup> dibagi berat spesifik dalam N/m<sup>3</sup>).

b. Komponen Statis

1) Bantalan (*Bearings*) bersuspensi magnetik

Perangkat *bearing* yang secara khusus didesain atau dipersiapkan yang terdiri dari magnet anular tersuspensi didalam wadah (*housing*) yang berisi media peredam (*damping*). Wadah tersebut dibuat dari bahan yang tahan terhadap UF<sub>6</sub>. Pasangan magnet dengan kutub atau magnet kedua yang terpasang pada bagian atas sebagaimana dimaksud dalam huruf a angka 5). Magnet tersebut dapat berbentuk lingkaran dengan sambungan antara diameter luar dan dalam lebih kecil atau sama dengan 1,6:1. Bentuk magnet tersebut memiliki permeabilitas awal :

- a)  $0,15$  H/m ( $120.000$  dalam satuan CGS) atau lebih;

- b) remanen 98,5% atau lebih; atau
- c) produk energi lebih besar daripada 80 kJ/m<sup>3</sup>.

Disamping sifat bahan yang biasa, dipersyaratkan bahwa:

- a) deviasi poros magnetik dari poros geometrikal dibatasi pada toleransi sangat rendah (lebih rendah dari 0,1 mm); atau
- b) secara khusus diperlukan homogenitas bahan magnet.

2) *Bearings* atau peredam

*Bearings* yang secara khusus didesain atau dipersiapkan yang mencakup rakitan pivot atau cawan yang dilekatkan pada peredam. Biasanya pivot berupa poros baja dengan bentuk hemisfer pada satu ujungnya dengan peralatan tambahan pada penutup bagian bawah pada ujung yang lain sebagaimana dimaksud dalam huruf a angka 5. Poros tersebut juga dilekatkan dengan "*bearing*" hidrodinamik. Cawan berbentuk pelet dengan lekukan setengah bola pada satu permukaan. Komponen-komponen ini tersedia secara terpisah dengan peredam.

3) Pompa molekular

Silinder yang secara khusus didesain atau dipersiapkan yang memiliki:

- a) mesin di bagian dalam atau alur spiral *extruded*; dan
- b) bor terbuat dari mesin secara internal.

Ukurannya adalah sebagai berikut:

- a) diameter dalam 75 mm hingga 400 mm; dan
- b) tebal dinding 10 mm atau lebih, dengan panjang sama dengan atau lebih besar dari diameter.

Alur tersebut di atas berbentuk siku-siku dengan potongan melintang dengan kedalaman 2 mm atau lebih.

4) *Stator* motor

*Stator* berbentuk lingkaran yang secara khusus didesain dan dipersiapkan untuk motor AC histeresis (atau reluktansi) multifase kecepatan tinggi untuk pengoperasian sinkron dalam hampa udara dengan:

- a) frekuensi 600 – 2000 Hz; dan
- b) daya 50 – 1000 VA.

*Stator* terdiri dari lilitan multifase pada inti besi berlapis-lapis meliputi lapisan tipis dengan tebal 2,0 mm atau lebih.

5) Wadah atau penerima sentrifugal (*centrifuges housing/recipients*)

Komponen yang secara khusus didesain atau dipersiapkan untuk memuat rakitan tabung rotor dengan sentrifugal gas. Wadah tersebut terdiri atas silinder kokoh dengan ketebalan dinding kurang dari atau sama dengan 30 mm dengan ketelitian mesin untuk menempatkan *bearing* dengan satu atau lebih (*flang*) untuk bantalan. Ujung tersebut sejajar satu dengan lainnya dan tegak lurus dengan poros silinder longitudinal dalam kisaran 0,05 derajat atau kurang. Wadah sentrifugal dapat berbentuk susunan sarang lebah untuk mengakomodasi beberapa tabung rotor. Wadah tersebut dibuat dari atau dilindungi dengan bahan yang tahan terhadap korosi  $UF_6$ .

6) *Scoops*

Tabung yang didesain atau dipersiapkan secara khusus dengan ukuran diameter dalam kurang dari atau sama dengan 12 mm untuk ekstraksi gas  $UF_6$  dari dalam tabung rotor dengan gerakan tabung Pivot (yaitu dengan celah menghadap kedalam aliran gas melingkar dalam tabung rotor, misalnya dengan membengkokkan ujung tabung yang disusun secara radial) dan mampu ditempatkan pada sistem ekstraksi gas pusat. Tabung dibuat dari atau diproteksi dengan bahan yang tahan terhadap korosi  $UF_6$ .

**2. Sistem, peralatan dan komponen bantu yang didesain atau dipersiapkan untuk fasilitas pengkayaan sentrifugal gas**

Sistem, peralatan, dan komponen bantu untuk instalasi pengayaan sentrifugal gas merupakan sistem instalasi yang diperlukan untuk :

- a. mengumpan  $UF_6$  kedalam sentrifugal;
- b. menghubungkan masing-masing sentrifugal satu dengan lainnya untuk membentuk aliran (atau tingkatan) untuk memperoleh pengayaan lebih tinggi yang progresif ; dan

- c. mengekstraksi produk dan ikutan UF<sub>6</sub> dari sentrifugal, bersamaan dengan peralatan yang diperlukan untuk menggerakkan sentrifugal atau mengendalikan instalasi.

Biasanya UF<sub>6</sub> diuapkan dari padatan yang menggunakan bejana tekan (otoklaf) yang dipanaskan dan didistribusikan dalam bentuk gas ke sentrifugal melalui pipa *header* pada kaskada (*cascade*). Produk dan buangan aliran gas UF<sub>6</sub> dari sentrifugal juga dilewatkan melalui pipa *header* pada *cascade* ke perangkat (penampung) dingin beroperasi pada sekitar 203<sup>0</sup>K (-70<sup>0</sup>C)] dimana gas tersebut dikondensasikan untuk kemudian ditransfer kedalam kontener yang sesuai untuk dipindahkan atau disimpan. Mengingat suatu instalasi pengayaan terdiri atas ribuan sentrifugal yang disusun dalam bentuk *cascade* dengan pipa *cascade* berkilo-kilo meter, tergabung dengan ribuan las dengan sejumlah pengulangan tata letak yang penting. Peralatan, komponen, dan sistem pemipaan difabrikasi untuk kevakuman yang sangat tinggi dan kebersihan standar.

- b. Sistem umpan/produk dan sistem penarikan buangan

Sistem proses yang dirancang atau dipersiapkan secara khusus mencakup:

- 1) umpan bejana tekan (*stations*) digunakan untuk melewati UF<sub>6</sub> menuju *cascade* sentrifugal pada tekanan maksimum 100kPa dan pada kecepatan 1 kg/jam atau lebih;
- 2) perangkat dingin (desublimer) digunakan untuk memindahkan UF<sub>6</sub> dari *cascade* pada tekanan maksimum 3 kPa. Desublimer tersebut mampu mendinginkan hingga 203<sup>0</sup>K (-70<sup>0</sup> C) dan memanaskan sampai 343<sup>0</sup>K (70<sup>0</sup> C); dan
- 3) stasiun produk dan buangan digunakan untuk menangkap UF<sub>6</sub> menuju kontener.

Instalasi, peralatan, dan pipa ini seluruhnya terbuat dari atau dilapisi dengan bahan yang tahan terhadap UF<sub>6</sub> dan difabrikasi untuk kevakuman yang sangat tinggi dan kebersihan standar.

- c. Sistem Pemipaan *Header* Mesin

Sistem pemipaan dan sistem *header* dirancang khusus untuk menangani UF<sub>6</sub> dalam sentrifugal kaskada. Jaringan pipa biasanya terdiri atas sistem 3 (tiga) *header* dengan masing-masing sentrifugal dihubungkan ke masing-masing

*header*. Sehingga ada sejumlah pengulangan penting dalam bentuknya. Ini semua terbuat dari bahan yang tahan terhadap  $UF_6$  dan difabrikasi untuk kevakuman yang sangat tinggi dan kebersihan standar.

d. Spektrometer Massa  $UF_6$ /Sumber Ion

Spektrometer massa *quadrupole* atau magnet yang dirancang khusus mampu melakukan penanganan sampel umpan produk maupun buangan dari aliran gas  $UF_6$ , dan semuanya mempunyai karakteristik sebagai berikut:

- 1) unit resolusi untuk satuan massa atom lebih besar dari 320;
- 2) sumber-sumber ion dikonstruksi dari atau dilapisi dengan nikrom, atau monel atau nikel;
- 3) sumber penembak elektron untuk ionisasi; dan
- 4) mempunyai sistem kolektor yang sesuai dengan analisis isotop.

e. Penukar Frekuensi

Penukar frekuensi yang dikenal sebagai konverter atau inventor, khususnya dirancang atau disiapkan untuk menyuplai stator motor sebagaimana dimaksud dalam bagian E angka 1 huruf b angka 4) atau bagian-bagian, komponen, dan subrakitan dari penukar frekuensi yang semuanya mempunyai karakteristik sebagai berikut:

- 1) frekuensi multifase antara 600 Hz sampai dengan 2000 Hz;
- 2) kestabilan tinggi dengan pengendalian frekuensi lebih dari 0,1%;
- 3) distorsi harmoni yang rendah (kurang dari 2%); dan
- 4) mempunyai efisiensi lebih dari 80%.

Peralatan sebagaimana dimaksud dalam bagian ini yang mengalami kontak langsung dengan proses gas  $UF_6$  atau yang mengendalikan sentrifugal dan lintasan gas dari sentrifugal ke sentrifugal lain dan dari kaskada ke kaskada lain.

Bahan yang tahan terhadap korosi  $UF_6$  antara lain adalah stainless steel, aluminium, campuran aluminium, nikel atau campuran yang mengandung 60% atau lebih nikel.

### 3. Perangkat dan komponen yang didesain atau dipersiapkan secara khusus untuk penggunaan pengayaan difusi gas

Dalam metode difusi gas dengan pemisahan isotop uranium, perakitan teknologi utama adalah suatu *barrier* difusi gas yang berpori khusus, penukar panas untuk mendinginkan gas (yang dipanaskan oleh proses kompresi), segel katup, katup pengendali, dan pipa. Kebanyakan teknologi difusi gas yang menggunakan uranium heksafluorida ( $UF_6$ ), semua peralatan, pipa-pipa, dan permukaan instrumen yang kontak dengan gas, terbuat dari bahan yang stabil bila kontak  $UF_6$ . Suatu instalasi difusi gas membutuhkan sejumlah besar dari rakitan bagian-bagian ini, sehingga jumlah tersebut dapat memberikan suatu indikasi yang penting dari penggunaan terakhir.

#### a. *Barrier* Difusi Gas (*gaseous diffusion barriers*)

- 1) Filter berpori halus yang dirancang atau disiapkan khusus dengan ukuran pori 100-1000 Angstrom, ketebalan 5 mm atau kurang, dan untuk bentuk pipa atau tabung berdiameter 25 mm atau kurang terbuat dari bahan metal, polimer atau keramik yang tahan terhadap korosi  $UF_6$ ; dan
- 2) Campuran atau serbuk yang disiapkan khusus untuk pabrik filter. Beberapa campuran atau serbuk mengandung nikel atau campuran logam yang mengandung 60% atau lebih nikel, aluminium oksida atau polimer hidrokarbon fluorinat yang tahan terhadap  $UF_6$  yang mempunyai kemurnian 99,9% atau lebih, ukuran partikel kurang dari 10 mikron dan derajat homogenitas ukuran partikel yang tinggi, yang disiapkan khusus untuk pabrik *barrier* atau penghalang difusi gas.

#### b. Rumah Difuser (*Diffuser housing*)

Bejana silinder yang diberi segel yang disiapkan atau dirancang khusus mempunyai diameter lebih besar dari 300 mm dan panjangnya lebih besar dari 900 mm atau bejana persegi panjang dengan ukuran yang sebanding yang mempunyai sebuah sambungan masuk dan 2 (dua) sambungan keluar yang semuanya berdiameter lebih besar daripada 50 mm, untuk memuat *barrier* difusi gas, yang terbuat dari atau dilapisi bahan tahan  $UF_6$  dan dirancang untuk instalasi horizontal atau vertikal.

c. Kompresor dan blower gas

Kompresor atau blower gas khusus aksial, sentrifugal atau *positive displacement* dengan kapasitas volume isapan UF<sub>6</sub> 1 m<sup>3</sup>/menit atau lebih, dengan tekanan buangan kompresor sampai dengan beberapa ratus kPa, didesain untuk operasi jangka panjang dalam lingkungan UF<sub>6</sub> dengan atau tanpa motor listrik dengan daya yang sesuai, seperti perakitan terpisah kompresor dan blower gas. Kompresor dan blower gas ini mempunyai rasio tekanan antara 2:1 dan 6:1 dan dibuat dengan bahan yang tahan terhadap UF<sub>6</sub>.

d. *Rotary shaft seals*

Segel vakum yang didesain atau dipersiapkan khusus, dengan umpan segel dan sambungan pembuangan segel, untuk menyegel penggerak yang menghubungkan rotor kompresor atau blower gas dengan motor penggerak untuk menjamin segel menutupi kebocoran udara ke dalam ruang dalam dari kompresor atau blower gas yang diisi dengan UF<sub>6</sub>. Segel seperti itu secara normal didesain untuk gas penyangga (*buffer*) dengan laju kebocoran kurang dari 1000 cm<sup>3</sup>/menit.

e. Penukar Panas untuk Pendingin UF<sub>6</sub>

Penukar panas yang didesain atau dipersiapkan khusus dari bahan yang tahan terhadap UF<sub>6</sub> (kecuali stainless steel) atau dengan tembaga atau kombinasi dari kedua logam tersebut, dan dimaksudkan untuk mengubah laju kebocoran tekanan kurang dari 10 Pa per jam pada perbedaan tekanan 100 kPa.

**4. Sistem, peralatan, dan komponen bantu yang didesain dan disiapkan khusus untuk digunakan dalam pengkayaan difusi gas**

Sistem, peralatan, dan komponen bantu untuk instalasi pengayaan difusi gas adalah sistem instalasi yang diperlukan untuk umpan UF<sub>6</sub> ke perakitan difusi gas, yang menghubungkan masing-masing perakitan individu untuk membentuk *stage* pengayaan yang makin lama makin tinggi dan untuk mengekstraksi produksi dan buangan UF<sub>6</sub> dari aliran difusi. Konsekuensi yang serius akan timbul karena bagian *inert* yang tinggi dari aliran difusi, gangguan

dalam operasi, dan khususnya *shut-down*. Oleh karena itu, perawatan vakum yang tepat dan tetap dalam semua sistem teknologi, perlindungan otomatis dari kecelakaan, dan pengaturan otomatis aliran gas yang tepat adalah hal yang penting dalam instalasi difusi gas. Semua hal tersebut akan menyebabkan keperluan akan sejumlah sistem ukur, sistem pengatur, dan sistem kendali.

UF<sub>6</sub> diuapkan dari silinder dalam otoklaf dan didistribusikan dalam bentuk gas ke titik masuk melalui pipa kaskada. Produk UF<sub>6</sub> dalam bentuk aliran gas mengalir dari titik luar yang dilewati oleh jalur pipa kaskada baik ke pemisah atau perangkat dingin atau ke pusat kompresi dimana gas UF<sub>6</sub> dicairkan untuk ditransfer ke kontener yang sesuai untuk transportasi atau penyimpanan. Mengingat instalasi pengayaan difusi gas terdiri dari sejumlah besar perakitan difusi gas yang disusun dalam kaskada, terdapat beberapa kilometer pipa kaskada, yang tergabung dengan ribuan las dengan sejumlah penting pengulangan tata letak. Peralatan, sistem, dan komponen pemipaan difabrikasi dengan kevakuman yang sangat tinggi dan standar kebersihan.

a. Sistem umpan/produk dan sistem penarikan buangan

Sistem yang didesain dan disiapkan khusus untuk operasi pada tekanan 300 kPa atau kurang, meliputi:

- 1) *Feed autoclave* (sistem) yang digunakan untuk melewati UF<sub>6</sub> ke kaskada difusi gas;
- 2) *Desublimer* atau perangkat atau pemisah dingin yang digunakan untuk mengeluarkan UF<sub>6</sub> dari kaskada difusi;
- 3) Stasiun (bagian) pencairan dimana gas UF<sub>6</sub> dari kaskada dikompresikan dan didinginkan untuk membentuk UF<sub>6</sub> cair; dan
- 4) Stasiun (bagian) produk atau buangan yang digunakan untuk mentransfer UF<sub>6</sub> ke kontener.

b. Sistem Pemipaan *Header*

Sistem pemipaan dan sistem *header* yang didesain dan disiapkan khusus untuk menangani UF<sub>6</sub> dalam kaskada difusi dalam bentuk gas. Jaringan pemipaan ini umumnya adalah sistem *header* ganda yang menghubungkan setiap sel dengan setiap *header*.

c. Sistem Vakum

- 1) Pipa vakum besar, *header* vakum dan pipa vakum yang didesain dan disiapkan khusus dengan kapasitas pengisapan 5 m<sup>3</sup>/menit atau lebih; dan
- 2) Pompa vakum yang secara khusus didesain untuk operasi dalam bantalan UF<sub>6</sub> yang terbuat dari atau dilapisi dengan alumunium, nikel atau campuran logam dengan kandungan lebih dari 60% nikel. Pompa berbentuk rotasi atau *positive displacement* dan segel fluorokarbon dan keberadaan cairan khusus.

d. Katup Penutup dan Katup Kendali Khusus

Katup penghentian manual atau otomatis dan katup "*bellows*" kendali yang didesain dan disiapkan khusus dari bahan tahan UF<sub>6</sub> ukuran dengan diameter 40 sampai dengan 1500 mm untuk instalasi dalam sistem utama dan sistem bantu dari instalasi pengayaan difusi gas.

e. Spektrometer Massa UF<sub>6</sub>/Sumber Ion

Spektrometer magnetik atau massa "*quadrupole*" yang didesain dan disiapkan khusus dengan kemampuan pengambilan cuplikan umpan langsung, produk atau buangan dari aliran gas UF<sub>6</sub> dan mempunyai semua karakteristik sebagai berikut:

- 1) resolusi untuk satuan massa atom yang lebih besar dari 320;
- 2) sumber ion yang terbuat dari atau dilapisi dengan nikrom atau monel atau lapisan nikel;
- 3) sumber penembakan elektron ionisasi; dan
- 4) sistem pengumpul yang sesuai untuk analisis isotop.

Peralatan diatas baik kontak langsung dengan gas proses UF<sub>6</sub> maupun secara langsung mengendalikan aliran didalam kaskada. Seluruh permukaan yang menerima kontak dengan gas proses yang secara keseluruhan dibuat dari atau dilapisi dengan bahan tahan UF<sub>6</sub>. Untuk penggunaan bagian-bagian yang berhubungan dengan peralatan difusi gas, bahan yang tahan terhadap korosi UF<sub>6</sub> meliputi stainless steel, alumunium, campuran alumunium, alumunium oksida, nikel atau campuran yang mengandung 60% atau lebih nikel dan polimer hidrokarbon terfluorinasi utuh yang tahan terhadap UF<sub>6</sub>.

**5. Sistem, peralatan, dan komponen yang didesain dan disiapkan khusus untuk digunakan dalam fasilitas pengayaan aerodinamik**

Dalam proses pengayaan aerodinamik, campuran gas  $UF_6$  dan gas ringan seperti hidrogen atau helium, dikompresikan dan kemudian dilewatkan melalui unsur pemisah dimana pemisahan isotop dikerjakan dengan pembangkitan gaya sentrifugal tinggi melebihi geometri dinding kurva. Dua proses tipe tersebut telah berhasil dikembangkan: proses pemisahan nozel dan proses pipa vorteks. Untuk kedua proses komponen utama dari tahap pemisahan meliputi bejana silinder yang berisi elemen pemisahan khusus seperti pipa nozel atau pipa vorteks, kompresor gas dan penukar panas untuk mengeluarkan panas kompresi. Sebuah pabrik aerodinamik memerlukan sejumlah tahap, sehingga kuantitasnya dapat memberikan indikasi yang penting dari pemakaian akhir. Karena proses aerodinamik menggunakan  $UF_6$ , semua peralatan, pipa saluran dan permukaan instrumentasi yang kontak dengan gas harus terbuat dari bahan sisa stabil yang berhubungan dengan  $UF_6$ .

Peralatan pada bagian ini baik yang kontak langsung dengan gas proses  $UF_6$  maupun yang secara langsung mengendalikan aliran didalam kaskade. Seluruh permukaan yang kontak dengan gas proses seluruhnya terbuat dari atau diproteksi dengan bahan yang tahan terhadap  $UF_6$ . Untuk penggunaan bagian-bagian yang berhubungan dengan peralatan pengayaan aerodinamik, bahan yang tahan terhadap korosi yang disebabkan oleh  $UF_6$  meliputi tembaga, stainless steel, alumunium, campuran alumunium, nikel atau campuran yang mengandung 60% atau lebih nikel dan polimer hidrokarbon terfluorinasi utuh yang tahan terhadap  $UF_6$ .

**a. Nozel Pemisah**

Nozel pemisah yang didesain dan disiapkan khusus dan pemasangannya, nozel pemisah terdiri dari pemotong, saluran berbentuk kurva dengan radius kurva kurang dari 1 mm (sebanding dengan 0,1 sampai dengan 0,5 mm), tahan terhadap korosi dari  $UF_6$  dan didalam nozel terdapat mata pisau yang akan memisahkan gas yang mengalir melalui nozel menjadi 2 (dua) fraksi.

b. Tabung Vorteks

Pipa vorteks yang didesain dan disiapkan khusus dan pemasangannya, tabung vorteks berbentuk silinder atau oval, terbuat dari atau diproteksi dengan bahan yang tahan terhadap korosi  $UF_6$  dengan diameter antara 0,5 cm sampai 4 cm, perbandingan panjang dengan diameter 20:1 atau kurang dengan 1 (satu) atau lebih masukan tangensial, yang dapat dilengkapi dengan tambahan tipe nozel pada salah satu atau kedua ujungnya.

Gas umpan masuk tabung vorteks secara tangensial pada salah satu ujung atau melalui putaran kipas angin atau pada posisi tangensial sepanjang keliling pipa.

c. Kompresor dan Blower Gas

Kompresor gas yang didesain dan disiapkan khusus secara aksial, sentrifugal atau *positive displacement* yang terbuat dari atau dilindungi dengan bahan yang tahan terhadap korosi  $UF_6$  dengan kapasitas volume isapan  $UF_6$  2 m<sup>3</sup>/menit atau lebih campuran  $UF_6$  atau gas pembawa, seperti hidrogen atau helium.

Kompresor dan blower gas ini mempunyai perbandingan tekanan antara 1,2 : 1 dan 6 : 1.

d. *Rotary Shaft Seals*

*Rotary Shaft Seals* yang didesain atau disiapkan khusus, dengan segel umpan dan sambungan pembuangan segel, untuk menyegel poros yang terhubung dengan rotor kompresor atau rotor blower gas dengan motor penggerak untuk menjamin penyegelan yang dapat menghindari kebocoran keluaranya gas proses atau kebocoran masuknya udara atau gas ke dalam ruang kompresor atau blower gas yang berisi campuran gas  $UF_6$  atau gas pembawa.

e. Penukar Panas untuk Pendinginan Gas

Penukar panas yang didesain atau dipersiapkan secara khusus terbuat dari atau dilindungi dengan menggunakan bahan yang tahan terhadap korosi  $UF_6$ .

f. Wadah Elemen Pemisah (*Separation Element Housing*)

Wadah elemen yang didesain atau dipersiapkan secara khusus, yang terbuat dari atau dilindungi dengan menggunakan bahan yang tahan terhadap korosi UF<sub>6</sub>, untuk memuat pipa vorteks atau pipa pemisah.

Wadah ini dapat berbentuk bejana silinder dengan diameter lebih besar dari 300 mm dan panjang lebih dari 900 mm, atau berbentuk bejana persegi panjang dengan dimensi sebanding dan mungkin didesain untuk instalasi horizontal atau vertikal.

g. Sistem Pengumpan/Produk dan Sistem Penarikan Buangan/Ikutan

Peralatan atau sistem proses untuk instalasi pengayaan yang didesain atau dipersiapkan secara khusus terbuat dari atau dilindungi dengan menggunakan bahan yang tahan terhadap korosi UF<sub>6</sub> dan terdiri dari :

- 1) otoklaf pengumpan, oven atau sistem yang digunakan untuk melewati UF<sub>6</sub> ke proses pengayaan;
- 2) desublimasi atau jebakan dingin yang digunakan untuk memindahkan UF<sub>6</sub> dari proses pengayaan agar terjadi pemindahan berturut-turut selama pemanasan;
- 3) stasiun atau bagian pemadatan atau pencairan yang digunakan untuk memindahkan UF<sub>6</sub> dari proses pengayaan dengan cara memadatkan dan mengubah UF<sub>6</sub> menjadi bentuk padat atau cair; dan
- 4) stasiun produk atau buangan/ikutan yang digunakan untuk transfer UF<sub>6</sub> ke kontener.

h. Sistem Pemipaan *Header*

Sistem pemipaan *header* yang didesain atau dipersiapkan secara khusus terbuat dari atau dilindungi dengan menggunakan bahan yang tahan terhadap korosi UF<sub>6</sub> untuk menangani UF<sub>6</sub> dengan kaskada aerodinamik. Jaringan pemipaan ini umumnya memiliki desain dengan *header* ganda dengan setiap tahap atau kelompok tahap dihubungkan ke setiap *header*.

i. Sistem Vakum dan Pompa

- 1) Sistem vakum yang didesain atau dipersiapkan secara khusus mempunyai kapasitas pengisapan sebesar 5 m<sup>3</sup>/menit atau lebih terdiri

- dari pipa vakum (*manifolds*), *header* vakum, dan pompa vakum yang didesain untuk penggunaan penghubung UF<sub>6</sub> yang ada di atmosfer; dan
- 2) Pompa vakum khususnya didesain atau dipersiapkan untuk penggunaan *bearing* UF<sub>6</sub> yang ada di atmosfer dan terbuat dari atau dilindungi dengan menggunakan bahan yang tahan terhadap korosi UF<sub>6</sub>. Pompa ini bisa menggunakan segel fluorokarbon dan cairan kerja khusus.
- j. Katup Penutup dan Katup Kendali Khusus
- Katup bellows kendali dan katup penutup manual atau otomatis yang didesain atau dipersiapkan secara khusus terbuat dari atau dilindungi dengan menggunakan bahan yang tahan terhadap korosi UF<sub>6</sub> dengan diameter 40 mm hingga 1500 mm untuk instalasi di sistem instalasi pengayaan aerodinamik utama atau bantu.
- k. Sumber Ion /Spektrometer Massa UF<sub>6</sub>
- Spektrometer massa *quadrupole* atau magnetik yang didesain atau dipersiapkan secara khusus dapat membawa cuplikan pengumpuan secara langsung, produk atau buangan/ikutan dari aliran gas UF<sub>6</sub> dan mempunyai karakteristik di bawah ini:
- 1) resolusi unit untuk massa lebih besar dari 320;
  - 2) sumber ion yang terbentuk dari atau dilapisi dengan plat nikel, monel, atau nikrom;
  - 3) sumber penembak elektron untuk ionisasi; dan
  - 4) sistem pengumpul yang sesuai untuk analisis isotopik.
- l. Sistem Pemisah Gas Pembawa atau UF<sub>6</sub>
- Sistem proses didesain atau dipersiapkan secara khusus untuk memisahkan UF<sub>6</sub> dari gas pembawa seperti hidrogen atau helium.
- Sistem ini didesain untuk mengurangi kandungan UF<sub>6</sub> dalam gas pembawa hingga 1 ppm atau kurang dan dapat menggabungkan peralatan seperti:
- 1) penukar panas *cryogenic* dan *cryoseparator* dengan kemampuan suhu -120 °C atau kurang;
  - 2) unit pendingin *cryogenic* dengan kemampuan suhu -120 °C atau kurang;
  - 3) unit-unit pipa pemisah atau tabung pusran untuk memisahkan UF<sub>6</sub> dari gas pembawa; atau

4) jebakan dingin UF<sub>6</sub> dengan kemampuan suhu -20 °C atau kurang.

## 6. Komponen, Peralatan, dan Sistem yang Didesain atau Dipersiapkan secara Khusus untuk Digunakan dalam Fasilitas Pengkayaan Penukar Ion atau Penukar Kimia

Perbedaan massa yang mencolok diantara isotop uranium menyebabkan sedikit perubahan kesetimbangan reaksi kimia yang dapat digunakan sebagai dasar untuk pemisahan isotop. Dua proses yang telah berhasil dikembangkan yaitu penukar kimia cair - cair dan penukar ion padat - cair.

Pada proses penukar kimia cair - cair, fasa cair *immiscible* berupa air dan organik secara bolak-balik dihubungkan agar memberikan efek beribu-ribu tahap pemisahan secara kaskada. Fasa air terdiri dari uranium klorida dalam larutan asam klorida. Fasa organik terdiri dari suatu ekstrak yang mengandung uranium klorida dalam pelarut organik. Penghubung yang digunakan dalam kaskada pemisahan dapat merupakan kolom penukar cair-cair seperti kolom pulsa dengan lapisan penyaring atau penghubung sentrifugal cairan. Konvern kimia seperti oksidasi dan reduksi diperlukan pada kedua akhir kaskada pemisahan sebagai persyaratan refluks di setiap akhir. Tujuan desain yang utama adalah untuk mencegah kontaminasi aliran proses oleh ion logam tertentu. Oleh karena itu digunakan kolom plastik, lapisan plastik termasuk penggunaan plimer fluorokarbon atau lapisan kaca.

Pada proses penukar ion padat - cair, pengayaan dilaksanakan dengan adsorpsi/desorpsi uranium pada suatu resin penukar ion atau adsorben yang bekerja sangat cepat dan khusus. Larutan uranium dalam asam hidroklorat dan senyawa kimia lain dialirkan melalui kolom pengayaan silinder yang mengandung kumpulan lapisan adsorben. Untuk proses terus menerus, sistem refluks diperlukan untuk melepaskan uranium dari adsorben ke dalam aliran cair sehingga produk dan buangan/ikatan dapat dikumpulkan. Proses ini dilaksanakan dengan penggunaan senyawa kimia pengoksidasi atau pereduksi yang sesuai sehingga terregenerasi secara parsial diantara kolom-kolom pemisah isotopiknya sendiri. Adanya larutan asam hidroklorat pekat panas

dalam proses membutuhkan peralatan yang terbuat dari atau dilapisi dengan bahan tahan korosi khusus.

a. Kolom Penukar Cair – Cair (Penukar Kimia)

Kolom penukar cair – cair bolak-balik yang mempunyai masukan daya mekanis misalnya kolom pulsa dengan lapisan penyaring, kolom lapisan timbal balik, dan kolom dengan pencampur turbin internal, didesain atau dipersiapkan secara khusus untuk pengayaan uranium dengan menggunakan proses penukar kimia. Agar tahan korosi terhadap larutan asam hidroklorat pekat, kolom ini dan bagian dalamnya terbuat dari atau dilindungi oleh bahan plastik yang sesuai seperti polimer fluorokarbon atau kaca. Kolom didesain untuk waktu tinggal tahapan (*stage residence time*) yang singkat yaitu 30 (tigapuluh) detik atau kurang.

b. Penghubung Sentrifugal Cair – Cair (Penukar Kimia)

Penghubung sentrifugal cair – cair didesain atau dipersiapkan secara khusus untuk pengayaan uranium dengan menggunakan proses penukar kimia. Penghubung tersebut menggunakan perputaran atau rotasi untuk mencapai dispersi aliran air dan organik kemudian gaya sentrifugal untuk memisahkan fasanya. Agar tahan korosi terhadap larutan asam hidroklorat pekat, penghubung dibuat dari atau dilapisi dengan bahan plastik seperti polimer fluorokarbon yang sesuai atau dilapisi kaca. Waktu tinggal tahapan (*stage residence time*) dari penghubung sentrifugal didesain untuk waktu yang singkat yaitu 30 (tigapuluh) detik atau kurang dari itu.

c. Sistem dan Peralatan Reduksi Uranium (Penukar Kimia)

1) Sel reduksi elektrokimia didesain atau dipersiapkan secara khusus untuk menurunkan uranium dari satu tingkat valensi ke tingkat lain untuk pengayaan uranium dengan menggunakan proses penukar kimia. Bahan sel yang berhubungan dengan larutan proses harus tahan korosi terhadap larutan asam klorida pekat.

Kompartemen katoda sel harus didesain untuk mencegah reoksidasi uranium ke tingkat valensi yang lebih tinggi. Untuk menjaga uranium dalam kompartemen katoda, sel harus mempunyai membran diafragma

yang terbuat dari bahan penukar kation khusus. Katoda terdiri atas konduktor padat yang sesuai seperti grafit.

- 2) Sistem aliran didesain atau dipersiapkan secara khusus di akhir produk untuk membawa  $U^{4+}$  keluar dari aliran organik, mengatur konsentrasi asam dan mengumpan sel produksi reduksi elektrokimia.

Sistem ini terdiri dari peralatan ekstraksi bahan pelarut untuk melepaskan  $U^{4+}$  dari aliran organik ke larutan air, evaporasi, dan atau peralatan lain untuk melakukan pengaturan dan pengendalian pH larutan dan pompa atau sarana pemindah lain untuk pengumpan sel reduksi elektrokimia. Tujuan desain yang utama adalah untuk menghindari kontaminasi aliran air oleh ion logam tertentu. Akibatnya pada bagian-bagian yang berhubungan dengan aliran proses, sistem tersusun dari peralatan yang terbuat dari atau dilindungi dengan bahan yang sesuai seperti kaca, polimer fluorokarbon, polifenil sulfat, polieter sulfon, dan resin *impregnated* grafit.

d. Sistem Penyiapan Umpan (Penukar Kimia)

Sistem untuk memproduksi larutan pengumpan uranium klorida dengan kemurnian tinggi yang didesain atau dipersiapkan secara khusus untuk instalasi pemisah isotop uranium dengan penukar kimia.

Sistem ini terdiri dari pelarutan, ekstraksi pelarut, dan atau peralatan penukar ion untuk purifikasi dan sel elektrolitik untuk mereduksi uranium  $U^{6+}$ ,  $U^{4+}$ , atau  $U^{3+}$ . Sistem ini memproduksi larutan uranium klorida yang hanya memiliki sedikit bagian per juta impuritas logam seperti kromium, besi, vanadium, molibdenum, dan bivalensi lainnya atau multivalensi kation yang lebih tinggi. Bahan konstruksi untuk bagian sistem pemrosesan  $U^{3+}$  kemurnian tinggi meliputi kaca, fluorokarbon polimer, polifenil sulfat atau polieter sulfon berlapis plastik dan resin *impregnated* grafit.

e. Sistem Oksidasi Uranium (Penukar Kimia)

Sistem yang didesain atau dipersiapkan secara khusus untuk oksidasi  $U^{3+}$  menjadi  $U^{4+}$  untuk pengembalian kaskada pemisah isotop uranium dalam proses pengayaan penukar kimia.

Sistem ini dapat merupakan gabungan peralatan seperti :

- 1) peralatan untuk menghubungkan gas klor dan oksigen dengan efluen cair dari peralatan pemisah isotop dan mengekstraksi hasil  $U^{4+}$  menjadi aliran organik yang kembali dari produk akhir kaskada; dan
- 2) peralatan yang memisahkan air dari asam klorida pekat sehingga air dan asam klorida digunakan kembali kedalam proses pada lokasi yang tepat.

f. Resin/Adsorben Penukar Ion Reaksi Cepat (Penukar Ion)

Alat ini secara khusus didesain atau dipersiapkan untuk pengayaan uranium yang menggunakan proses penukar ion termasuk resin makroretikular berpori dan atau struktur pelikular dimana kelompok penukar kimia aktif terbatas pada lapisan permukaan struktur penyangga berpori tidak aktif dan struktur gabungan lainnya dalam bentuk yang sesuai, termasuk partikel atau serat. Resin/adsorben penukar ion berdiameter 0,2 mm atau kurang dan harus secara kimiawi tahan terhadap larutan asam klorida pekat dan secara fisik cukup kuat, sehingga dengan demikian tidak menurunkan kolom penukar. Resin/adsorben secara khusus didesain untuk mencapai kinetik penukar isotop uranium sangat cepat dengan waktu paruh kecepatan penukar ion kurang dari 10 (sepuluh) detik dan mampu beroperasi pada kisaran suhu 100 °C sampai 200 °C.

g. Kolom Penukar Ion (Penukar Ion)

Kolom silinder berdiameter lebih besar daripada 1000 mm untuk mewadahi dan menyangga resin/adsorben penukar ion terbungkus secara khusus didesain atau dipersiapkan untuk pengayaan uranium yang menggunakan proses penukar ion. Kolom-kolom ini dibuat dari atau dilindungi dengan menggunakan bahan yang tahan terhadap korosi larutan asam klorida pekat, seperti titanium atau plastik fluorokarbon dan mampu beroperasi pada suhu dalam kisaran 100 °C sampai 200 °C dan tekanan diatas 0,7 Mpa.

h. Sistem Refluks Penukar Ion (Penukar Ion)

- 1) sistem reduksi kimia atau elektrokimia yang secara khusus didesain atau dipersiapkan untuk regenerasi zat pereduksi kimiawi yang digunakan dalam kaskada pengayaan uranium penukar ion; dan
- 2) Sistem oksidasi kimiawi atau elektrokimiawi yang secara khusus didesain atau dipersiapkan untuk regenerasi zat pengoksidasi kimia yang digunakan dalam kaskada pengayaan uranium penukar ion.

Proses pengayaan penukar ion dapat menggunakan titanium trivalensi ( $Ti^{3+}$ ) sebagai kation pereduksi yang sistem reduksinya akan menghasilkan kembali  $Ti^{3+}$  dengan cara mereduksi  $Ti^{4+}$ .

Proses tersebut dapat menggunakan besi trivalensi ( $Fe^{3+}$ ) sebagai oksidan dimana sistem pengoksidasi akan menghasilkan kembali  $Fe^{3+}$  dengan cara mengoksidasi  $Fe^{2+}$ .

**7. Sistem, Peralatan, dan Komponen yang secara Khusus Didesain atau Dipersiapkan untuk Penggunaan dalam Fasilitas Pengkayaan Berbasis Laser**

Sistem untuk proses pengayaan yang menggunakan laser dibedakan menjadi 2 (dua) kategori, yaitu:

- a. sistem yang menggunakan uap uranium atomik sebagai media proses; dan
- b. sistem yang menggunakan uap senyawa uranium sebagai media proses.

Nomenklatur yang umum untuk proses tersebut meliputi:

- a. kategori pertama adalah pemisah isotop laser uap atomik (*atomic vapor laser isotope separation* disingkat AVLIS atau SILVA);
- b. kategori kedua adalah pemisah isotop laser molekular (*molecular laser isotope separation* disingkat MLIS or MOLIS); dan
- c. reaksi kimia dengan aktivasi laser isotop selektif (*chemical reaction by isotope selective laser activation* disingkat CRISLA).

Sistem, peralatan, dan komponen untuk cakupan fasilitas pengayaan laser terdiri dari:

- a. peralatan untuk pengumpan uap uranium-logam, untuk foto-ionisasi selektif atau peralatan untuk pengumpan uap senyawa uranium, untuk foto-pemisahan atau aktivasi kimiawi;

- b. peralatan untuk mengumpulkan logam uranium diperkaya dan deplesi menjadi produk dan buangan/ikutan dalam kategori pertama dan peralatan untuk mengumpulkan senyawa terpisah atau direaksikan sebagai produk dan bahan tak terpakai sebagai buangan/ikutan dalam kategori kedua;
- c. sistem laser proses untuk secara selektif menghasilkan uranium-235; dan
- d. peralatan persiapan pengumpan dan konversi produk.

Kompleksitas spektroskopi atom dan senyawa uranium memerlukan penggabungan sejumlah teknologi laser yang ada.

Beberapa peralatan dalam bagian ini mengalami kontak langsung dengan uap, cairan logam uranium, atau dengan gas proses yang berisi  $UF_6$  atau campuran  $UF_6$  dan gas lainnya. Semua permukaan yang kontak langsung dengan uranium atau  $UF_6$  secara keseluruhan dibuat dari atau dilindungi dengan bahan tahan korosi. Untuk keperluan bagian ini yang berkaitan dengan peralatan pengayaan berbasis laser, bahan-bahan yang tahan terhadap korosi dengan uap atau cairan logam uranium atau campuran logam uranium meliputi grafit berlapis itrium dan tantalum, dan bahan yang tahan terhadap korosi  $UF_6$  meliputi tembaga, stainless steel, aluminium, campuran logam aluminium, nikel atau campuran logam yang mengandung nikel 60% atau lebih dan polimer hidrokarbon terfluorinasi utuh yang tahan terhadap  $UF_6$ .

a. Sistem Penguapan Uranium (AVLIS)

Sistem yang secara khusus didesain dan dipersiapkan yang berisi lempengan daya tinggi atau mesin berkas elektron pencacah dengan daya target lebih dari 2,5 kW/cm;

b. Sistem Penanganan Logam Uranium Cair (AVLIS)

Sistem penanganan logam cair yang secara khusus didesain atau dipersiapkan untuk uranium atau campuran logam uranium leleh, yang terdiri dari peralatan pelebur logam dan pendingin untuk peleburan logam.

Pelebur logam dan bagian lain sistem ini yang mendapat kontak langsung dengan uranium atau campuran logam uranium yang meleleh dibuat dari atau dilindungi dengan menggunakan bahan yang tahan terhadap korosi dan panas. Bahan tersebut meliputi tantalum, grafit berlapis itrium, grafit berlapis oksida tanah jarang atau campurannya.

c. Perangkat Pengumpul Produk dan Buangan/Ikutan Logam Uranium (AVLIS)

Alat ini secara khusus didesain dan dipersiapkan untuk logam uranium dalam bentuk cair atau padat.

Komponen untuk rakitan ini dibuat dari atau dilindungi dengan menggunakan bahan yang tahan terhadap panas dan korosi uap atau cairan logam uranium seperti grafit berlapis itrium atau tantalum dan dapat meliputi pipa, katup, *fitting*, *gutters*, *feed-through*, penukar panas dan pelat pengumpul untuk metoda pemisah magnetik, elektrostatik atau metode pemisah yang lain.

d. *Housing* Modul Pemisah (AVLIS)

Bejana silinder atau persegi panjang yang secara khusus didesain atau dipersiapkan untuk mewedahi sumber uap logam uranium, mesin berkas elektron, dan pengumpul produk dan buangan/ikutan.

Wadah ini memiliki keragaman *ports* untuk *feed-throughs* listrik dan air, jendela berkas laser, penghubung pompa vakum, dan diagnostik dan pemantauan instrumentasi. Peralatan tersebut memiliki pembuka dan penutup untuk mempermudah pembaharuan ulang komponen internal.

e. Nozel Ekspansi Supersonik (MLIS)

Nozel ekspansi supersonik yang didesain dan dipersiapkan khusus untuk campuran pendingin  $UF_6$  dan gas pembawa sebesar 150 K atau kurang dan yang tahan terhadap korosi  $UF_6$ .

f. Pengumpul Produk Uranium Pentafluorida (MLIS)

Alat ini terdiri dari pengumpul bertipe siklon dengan filter atau kombinasinya dan yang tahan terhadap korosi lingkungan  $UF_5/UF_6$ .

g. Kompresor Gas  $UF_6$ /Gas Pembawa

Kompresor yang didesain dan dipersiapkan secara khusus untuk campuran  $UF_6$ /gas pembawa didesain untuk operasi jangka panjang di dalam lingkungan  $UF_6$ . Komponen kompresor ini yang kontak dengan gas proses dibuat dari atau dilindungi dengan menggunakan bahan yang tahan terhadap korosi  $UF_6$ .

h. *Rotary Shaft Seals* (MLIS)

*Rotary shaft seals* dengan *feed* segel dan penghubung pembuang segel untuk menyegel *shaft* yang menghubungkan rotor kompresor dengan motor penggerak sehingga menjamin segel yang andal terhadap kebocoran-luar gas proses, kebocoran-dalam udara, atau gas segel ke dalam ruangan dalam kompresor yang diisi dengancampuran UF<sub>6</sub>/ gas pembawa.

i. Sistem Fluorinasi (MLIS)

Sistem untuk memfluorinasi UF<sub>5</sub> (padat) menjadi UF<sub>6</sub> (gas). Sistem ini didesain untuk memfluorinasi serbuk UF<sub>5</sub> menjadi UF<sub>6</sub> untuk pengumpulan berikutnya dalam kontener produk atau untuk peralihan sebagai *feed* untuk unit-unit MLIS untuk pengayaan tambahan. Dalam satu pendekatan, reaksi fluorinasi dapat dilaksanakan dalam sistem pemisah isotop untuk mereaksikan dan memperbaiki secara langsung pengumpul produk. Pada pendekatan yang lain, serbuk UF<sub>5</sub> dapat dipindahkan/dialihkan dari pengumpul produk ke dalam bejana reaksi yang sesuai, seperti reaktor fluidisasi, reaktor sekrap, atau menara api, untuk fluorinasi. Pada kedua pendekatan tersebut, digunakan peralatan untuk penyimpanan dan pengalihan gas fluor atau senyawa fluorinasi lain yang sesuai dan untuk pengumpulan dan pengalihan UF<sub>6</sub>.

j. Spektrometer Massa UF<sub>6</sub>/Sumber Ion (MLIS)

Spektrometer massa magnetik atau *quadrupole* yang secara khusus didesain dan dipersiapkan, yang mampu mengambil cuplikan *feed on-line*, produk atau buangan/ikutan dari aliran gas UF<sub>6</sub> dan memiliki karakteristik:

- 1) resolusi unit untuk massa lebih besar dari 320;
- 2) sumber ion yang dikonstruksi dari atau dilapisi dengan nikrom, monel atau pelat nikel;
- 3) sumber ionisasi penembak elektron; dan
- 4) sistem pengumpul yang sesuai untuk analisis isotopik.

k. Sistem Pengumpan/Produk Sistem Penarikan Buangan/Ikutan (MLIS)

Sistem atau peralatan proses yang khusus didesain atau dipersiapkan untuk fasilitas pengayaan, yang dibuat dari atau dilindungi oleh bahan yang tahan terhadap korosi UF<sub>6</sub> termasuk:

- 1) otoklaf *feed*, oven atau sistem yang digunakan untuk proses pengayaan;
- 2) desublimier atau jebakan dingin yang digunakan untuk memindahkan  $UF_6$  dari proses pengayaan untuk pengalihan berikutnya setelah pemanasan;
- 3) stasiun solidifikasi atau liquifaksi yang digunakan untuk memindahkan  $UF_6$  dari proses pengayaan dengan memampatkan dan mengonversi  $UF_6$  menjadi bentuk cair atau padat; dan
- 4) produk atau buangan/ikutan yang digunakan untuk mengalihkan  $UF_6$  ke dalam kontener.

l. Sistem Pemisah Gas  $UF_6$ / Gas Pembawa (MLIS)

Sistem proses yang secara khusus didesain atau dipersiapkan untuk pemisahan  $UF_6$  dari gas pembawa. Gas pembawa tersebut dapat berupa nitrogen, argon atau gas lainnya.

Sistem ini dapat menggabungkan peralatan seperti:

- 1) penukar panas kriogenik atau pemisah krio yang bertahan pada suhu  $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$  atau kurang;
- 2) unit pendingin kriogenik yang bertahan pada suhu  $-120\text{ }^{\circ}\text{C}$  atau kurang; atau
- 3) jebakan dingin  $UF_6$  yang bertahan pada suhu  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  atau kurang.

m. Sistem Laser (AVLIS, MLIS dan CRISLA)

Laser atau sistem laser yang secara khusus didesain atau dipersiapkan untuk pemisahan isotop uranium.

Sistem laser untuk proses AVLIS biasanya terdiri dari 2 (dua) buah laser yaitu laser uap tembaga dan laser *dye*. Sistem laser untuk MLIS biasanya terdiri dari  $CO_2$  atau laser *excimer* dan sel optikal multi lintasan dengan cermin berputar pada kedua ujungnya. Laser atau sistem laser untuk kedua proses memerlukan stabiliser spektrum frekuensi untuk operasi diluar jangka waktu yang ditetapkan.

## 8. Sistem, Peralatan, dan Komponen yang secara Khusus Didesain dan Dipersiapkan untuk Penggunaan dalam Fasilitas Pengkayaan Pemisah Plasma

Pada Proses pemisahan plasma, plasma ion uranium melintasi pengatur medan listrik menuju frekuensi resonansi ion U-235 sehingga mempunyai daya serap yang dikehendaki dan diameter orbit *corkscrew-like* meningkat. Ion dengan lintasan berdiameter besar ditangkap untuk menghasilkan pengayaan produksi U-235. Plasma yang dibuat dengan penguapan uranium ionisasi ditampung dalam ruang hampa udara dengan medan magnet tinggi yang dihasilkan oleh magnet superkonduktor. Sistem teknologi utama proses ini termasuk sistem pembangkit plasma uranium, modul pemisah dengan magnet superkonduktor dan sistem pemindah logam untuk pengumpul produk dan buangan/ikutan.

### a. Antena dan Sumber Daya Gelombang Mikro

Antena dan sumber daya gelombang mikro yang didesain atau dipersiapkan secara khusus untuk menghasilkan atau mempercepat ion dan mempunyai frekuensi lebih besar dari 30 GHz dan luaran daya rata-rata 50 kW untuk produksi isotop.

### b. Pemantik Eksitasi Ion

Pemantik eksitasi ion yang didesain atau dipersiapkan secara khusus untuk frekuensi lebih besar dari 100 kHz dan mampu untuk menangani daya rata-rata lebih dari 40 kW.

### c. Sistem Pembangkit Plasma Uranium

Sistem pembangkit plasma uranium cair yang didesain atau dipersiapkan secara khusus untuk pembangkit uranium plasma, yang dapat terdiri dari *strip* daya tinggi atau *scanning electronbeam gun* yang memberikan daya pada target lebih dari 2,5 kW/cm.

### d. Sistem Penanganan Logam Uranium Cair

Sistem penanganan logam uranium cair yang didesain atau dipersiapkan secara khusus untuk uranium atau campuran logam uranium cair yang terdiri dari peralatan pelebur logam dan pendingin alat pelebur logam.

Pelebur logam dan bagian lain dari sistem ini yang kontak dengan uranium atau campuran logam uranium cair yang dibuat atau dilindungi dengan

bahan yang tahan panas dan korosi. Bahan yang sesuai meliputi tantalum, grafit yang dilapisi Itrium, grafit yang dilapisi oksida tanah jarang lain atau campurannya.

e. Perangkat Pengumpul Produk dan Buangan/Ikutan Logam Uranium

Perangkat pengumpul produk dan buangan/ikutan logam uranium dalam bentuk padat yang didesain atau dipersiapkan secara khusus untuk logam uranium dalam bentuk padat. Rakitan pengumpul dibuat atau diproteksi oleh bahan yang tahan panas dan korosi uap logam uranium, seperti grafit yang dilapisi Itrium atau tantalum.

f. *Housing* Modul Pemisah

Tabung silinder yang didesain atau dipersiapkan secara khusus untuk penggunaan dalam instalasi pengayaan pemisah plasma untuk menampung sumber plasma uranium, pemantik yang dijalankan frekuensi radio dan pengumpul produk dan buangan/ikutan.

*Housing* ini mempunyai *port* ganda untuk *feed-throughs* elektrik, sambungan pompa difusi, instrumentasi diagnostik dan pemantau. Alat-alat tersebut mempunyai kemampuan membuka dan menutup untuk memperbaharui komponen dalam dan dibuat dari bahan non magnetik seperti stainless steel.

**9. Sistem, Peralatan, dan Komponen yang secara Khusus Didesain dan Dipersiapkan untuk Penggunaan dalam Fasilitas Pengayaan Elektromagnetik**

Pada proses elektromagnet, ion logam uranium diproduksi oleh bahan garam khususnya  $UCl_4$  yang dipercepat dan dilalui medan magnet yang mempunyai efek ion dengan isotop yang berbeda mengikuti lintasan yang berbeda. Komponen utama pemisah isotop elektromagnet meliputi pemisah berkas ion isotop, magnet, sumber ion dengan sistem percepatan dan sistem pengumpulan ion terpisah. Sistem bantu untuk proses ini termasuk sistem catu daya magnet, sistem sumber daya tegangan tinggi sumber ion, sistem hampa udara, dan sistem penanganan kimia untuk produk dan pembersihan komponen atau siklus ulang.

a. Pemisah Isotop Elektromagnet

Pemisah isotop elektromagnet yang didesain atau dipersiapkan secara khusus untuk pemisahan isotop uranium, peralatan dan komponen, meliputi:

1) Sumber Ion

Sumber ion tunggal atau ganda yang terdiri dari sumber uap, peralatan ionisasi, dan pemercepat berkas yang dibuat dari bahan seperti grafit, stainless steel atau tembaga, dan dapat menyediakan berkas arus ion total 50 mA atau lebih besar.

2) Pengumpul Ion

Pelat pengumpul ion terdiri dari 2 (dua) atau lebih *slits* atau *pockets*. Didesain atau dipersiapkan secara khusus untuk pengumpulan berkas ion uranium deplesi dan diperkaya, yang terbuat dari bahan seperti grafit atau stainless steel.

3) *Housing* Vakum

*Housing* vakum didesain atau dipersiapkan secara khusus untuk pemisah elektromagnet yang terbuat dari bahan nonmagnet seperti stainless steel dan didesain untuk operasi pada tekanan 0,1 Pa atau kurang.

*Housing* didesain secara khusus untuk wadah sumber ion pelat pengumpul dan sambungan air pendingin dan mempunyai sambungan dengan pompa difusi dan pembuka dan penutup untuk pemindahan dan pemasangan kembali komponen-komponen tersebut.

4) Lempeng Kutub Magnet

Lempeng kutub magnet yang secara khusus didesain atau dipersiapkan memiliki diameter lebih besar dari 2 m yang digunakan untuk mempertahankan medan magnet konstan didalam pemisah isotop elektromagnetik dan untuk mengalihkan medan magnet diantara pemisah yang berdekatan.

b. Catu Daya Tegangan Tinggi

Catu daya tegangan tinggi yang secara khusus didesain atau dipersiapkan untuk sumber ion yang memiliki karakteristik sebagai berikut:

1) mampu melakukan operasi terus-menerus;

- 2) tegangan keluaran sebesar 20000 V atau lebih;
- 3) arus keluaran 1 A atau lebih; dan
- 4) pengaturan tegangan lebih dari 0,01% dengan jangka waktu lebih dari 8 (delapan) jam.

c. Catu Daya Magnet

Catu daya arus magnet langsung daya tinggi yang secara khusus didesain atau dipersiapkan memiliki karakteristik sebagai berikut:

- 1) mampu secara terus-menerus menghasilkan keluaran arus sebesar 500 A atau lebih pada tegangan 100 V atau lebih; dan
- 2) pengaturan tegangan atau arus lebih dari 0,01% dengan jangka waktu lebih dari 8 (delapan) jam.

**F. Fasilitas untuk Produksi Air Berat, Deutrium dan Senyawa Deutrium, serta Peralatan yang Didesain atau Dipersiapkan secara khusus untuk Kegiatan tersebut**

Air berat dapat dihasilkan dari berbagai macam proses. Namun demikian, 2 (dua) proses yang telah dibuktikan untuk digunakan secara komersial adalah proses penukaran air hidrogen sulfida (proses GS) dan proses penukaran amonia-hidrogen.

Proses GS didasarkan pada penukaran hidrogen dan deutrium diantara air dan hidrogen sulfida didalam rangkaian menara yang dioperasikan dengan kondisi dingin pada bagian atas dan kondisi panas di bagian bawah. Air mengalir ke bawah menara pada saat gas hidrogen sulfida bersirkulasi dari bawah ke atas menara. Rangkaian penampang berlubang digunakan untuk meningkatkan pencampuran antara gas dengan air. Deutrium bermigrasi menuju air pada suhu rendah dan hidrogen sulfida pada suhu tinggi. Gas atau air yang diperkaya dalam deutrium dipindahkan dari menara tahap pertama pada persimpangan bagian yang panas dan dingin dan proses diulangi dalam menara tahap berikutnya. Produk tahap akhir, air yang diperkaya lebih dari 30% dalam deutrium dikirimkan ke unit destilasi untuk menghasilkan air berat untuk reaktor yaitu 99,75% deutrium oksida.

Proses penukar amonia-hidrogen dapat mengekstraksi deuterium dari gas sintetis melalui kontak dengan amonia cair dalam katalis. Gas sintetis diumpankan kedalam menara penukar dan konverter amonia. Di dalam menara, gas mengalir dari bawah ke atas sementara amonia cair mengalir dari atas ke bawah. Deuterium diperoleh dari hidrogen didalam gas sintetis dan terkonsentrasi dalam amonia. Amonia kemudian mengalir kedalam kraker amonia pada bagian bawah menara sementara gas mengalir kedalam konverter amonia pada bagian atas. Pengayaan lebih lanjut terjadi didalam tahap berikutnya dan air berat untuk reaktor dihasilkan melalui penyulingan akhir. Pengumpanan gas sintetis dapat diberikan oleh fasilitas amonia sehingga pada gilirannya dapat dikonstruksi yang berhubungan fasilitas penukar air berat amonia hidrogen. Proses penukar amonia-hidrogen dapat juga menggunakan air biasa sebagai sumber *feed* deuterium.

Banyak peralatan kunci untuk fasilitas pemroduksi air berat yang menggunakan GS atau proses penukar amonia-hidrogen biasa untuk beberapa segmen industri kimia dan petroleum. Hal ini khususnya untuk fasilitas kecil yang menggunakan proses GS. Namun demikian, beberapa peralatan tersedia *off-the-shelf*. Proses GS dan amonia-hidrogen memerlukan penanganan cairan yang mudah terbakar, korosif, dan beracun dengan kuantitas besar pada tekanan yang meningkat. Dengan demikian dalam menetapkan standar desain dan operasi untuk fasilitas dan peralatan yang menggunakan proses ini, diperlukan kecermatan pada pemilihan dan spesifikasi bahan yang diperlukan untuk menjamin kemampuan operasi jangka panjang dengan faktor keselamatan dan keandalan yang tinggi. Pilihan skala merupakan fungsi ekonomi dan kebutuhan primer. Oleh karena itu, banyak peralatan yang dipersiapkan sesuai dengan persyaratan pelanggan.

Pada akhirnya, patut dicatat bahwa dalam proses penukar GS dan amonia-hidrogen, peralatan yang secara individual tidak secara khusus didesain atau dipersiapkan untuk produksi air berat dapat dirakit kedalam sistem yang secara khusus didesain dan dipersiapkan untuk menghasilkan air berat. Sistem produksi katalis yang digunakan didalam proses penukar amonia-hidrogen dan sistem penyulingan air digunakan untuk konsentrasi akhir air berat pada salah satu proses yang merupakan contoh sistem tersebut.

Peralatan yang secara khusus didesain dan dipersiapkan untuk menghasilkan air berat yang menggunakan baik proses penukar air hidrogen sulfida ataupun proses penukar amonia-hidrogen meliputi:

### **1. Menara Penukar Air Hidrogen Sulfida**

Menara penukar difabrikasi dari baja karbon tempaan seperti ASTM A516 dengan diameter 6 m sampai 9 m, mampu beroperasi pada tekanan yang lebih besar dari atau sama dengan 2 Mpa dan dengan toleransi korosi 6 mm atau lebih, yang secara khusus didesain atau dipersiapkan untuk produk air berat yang menggunakan proses penukar air hidrogen sulfida.

### **2. Blower dan Kompresor**

*Blower* atau kompresor tahapan tunggal, sentrifugal *lowhead* (0,2 Mpa) untuk sirkulasi gas hidrogen sulfida (yaitu gas yang mengandung lebih dari 70% H<sub>2</sub>S) yang secara khusus didesain dan dipersiapkan untuk produksi air berat menggunakan proses penukar air hidrogen sulfida. *Blower* atau kompresor ini memiliki kapasitas lintas-simpan yang lebih besar atau sama dengan 56 m<sup>3</sup>/detik pada saat beroperasi pada tekanan hisap yang lebih besar atau sama dengan 1,8 Mpa dan memiliki segel-segel yang didesain untuk operasi H<sub>2</sub>S basah.

### **3. Menara Penukar Amonia Hidrogen**

Menara penukar amonia-hidrogen dengan ketinggian lebih besar dari atau sama 35 mm dengan diameter 1,5 m sampai 2,5 m yang mampu beroperasi pada tekanan yang lebih besar dari 15 Mpa yang secara khusus didesain atau dipersiapkan untuk produksi air berat yang menggunakan proses penukar amonia-hidrogen. Menara ini juga memiliki paling tidak 1 (satu) aksial planar pembuka dengan diameter yang sama dengan bagian silindris yang dapat disisipi atau ditarik melalui bagian dalam menara.

### **4. Bagian Dalam Menara dan Pompa Tahapan**

Bagian dalam menara dan pompa tahapan yang secara khusus didesain atau dipersiapkan untuk menara untuk produksi air yang memanfaatkan proses penukar amonia-hidrogen. Bagian dalam menara mencakup pula penghubung bertahap yang secara khusus didesain untuk meningkatkan kontak intensif dengan gas/cairan. Pompa tahapan mencakup pompa yang dapat terendam

yang didesain untuk sirkulasi amonia didalam tahapan internal yang berhubungan dengan menara tahapan.

#### 5. Kraker Amonia

Kraker amonia dengan tekanan pengoperasi yang lebih besar dari atau sama dengan 3 Mpa yang didesain atau dipersiapkan untuk produksi air berat yang menggunakan proses penukar amonia-hidrogen.

#### 6. Penganalisis Penyerap Infra Merah

Penganalisis Penyerap Infra Merah yang memiliki kemampuan analisis rasio hidrogen/deutrium secara *on-line* dengan konsentrasi deutrium sama dengan atau lebih besar dari 90%.

#### 7. Pembakar Katalitik

Pembakar katalitik untuk konversi gas deutrium diperkaya menjadi air berat yang secara khusus didesain atau dipersiapkan untuk produksi air berat yang menggunakan proses penukar amonia-hidrogen.

### G. Fasilitas untuk Konversi Uranium dan Peralatan yang Didesain atau Dipersiapkan untuk Kegiatan tersebut

Fasilitas dan sistem konversi uranium dapat melakukan 1 (satu) atau lebih transformasi dari 1 (satu) senyawa kimia uranium menjadi senyawa yang lain, termasuk konversi:

- a. konsentrat bijih uranium menjadi  $UO_3$ ;
- b.  $UO_3$  menjadi  $UO_2$ ;
- c. uranium oksida menjadi  $UF_4$  atau  $UF_6$ ;
- d.  $UF_4$  menjadi  $UF_6$ ;
- e.  $UF_6$  menjadi  $UF_4$ ;
- f.  $UF_4$  menjadi logam uranium; dan
- g. uranium fluorida menjadi  $UO_2$ .

Banyak peralatan kunci untuk fasilitas konversi uranium umum digunakan pada beberapa segmen industri proses kimia. Sebagai contoh, jenis peralatan yang digunakan dalam proses ini dapat mencakup:

- a. tungku pembakaran;
- b. *kilns* rotasi;
- c. reaktor *bed* fluidisasi;

- d. reaktor menara api;
- e. sentrifugal cair;
- f. kolom penyulingan; dan
- g. kolom ekstraksi cair-cair.

Namun demikian, beberapa peralatan tersedia *off-the-shelf*; banyak dari peralatan tersebut akan dipersiapkan sesuai dengan persyaratan dan spesifikasi pelanggan. Dalam beberapa contoh, pertimbangan desain dan konstruksi khusus diperlukan untuk mengakomodasi sifat korosi beberapa zat kimia yang ditangani seperti HF, F<sub>2</sub>, ClF<sub>3</sub>, dan uranium fluorida. Pada akhirnya, patut dicatat bahwa dalam semua proses konversi uranium, peralatan yang secara individual tidak secara khusus didesain atau dipersiapkan untuk konversi uranium dapat dirakit menjadi sistem yang secara khusus didesain atau dipersiapkan untuk penggunaan konversi uranium.

1. Sistem yang secara Khusus Didesain atau Dipersiapkan untuk Konversi Konsentrat Bijih Uranium Menjadi UO<sub>3</sub>

Konversi konsentrat bijih uranium menjadi UO<sub>3</sub> dapat dilakukan pertama dengan melarutkan bijih dalam asam nitrat dan mengekstraksi nitrat uranil dengan menggunakan pelarut seperti tributyl fosfat. Kemudian, nitrat uranil dikonversi menjadi UO<sub>3</sub> baik melalui konsentrasi dan denitrasi atau dengan netralisasi dengan amonia bergas untuk menghasilkan amonia diuranat dengan filter, pengeringan, dan kalsinasi berikutnya.

2. Sistem yang secara Khusus atau Dipersiapkan untuk Konversi UO<sub>3</sub> menjadi UF<sub>6</sub>

Konversi UO<sub>3</sub> menjadi UF<sub>6</sub> dapat dilakukan secara langsung dengan fluorinasi. Proses tersebut memerlukan sumber gas fluor atau klorin trifluorida.

3. Sistem yang secara Khusus Didesain atau Dipersiapkan untuk Konversi UO<sub>3</sub> menjadi UO<sub>2</sub>

Konversi UO<sub>3</sub> menjadi UO<sub>2</sub> dapat dilakukan melalui reduksi UO<sub>3</sub> dengan gas atau hidrogen amonia *cracked*.

4. Sistem yang secara Khusus Didesain atau Dipersiapkan untuk Konversi UO<sub>2</sub> menjadi UF<sub>4</sub>

Konversi  $UO_2$  menjadi  $UF_4$  dapat dilakukan dengan mereaksikan  $UO_2$  dengan gas fluorida (HF) pada suhu 300 sampai 500 °C.

5. Sistem yang secara Khusus Didesain atau Dipersiapkan untuk Konversi  $UF_4$  menjadi  $UF_6$

Konversi  $UF_4$  menjadi  $UF_6$  dilakukan melalui reaksi eksotermik dengan gas fluor di dalam reaktor menara.  $UF_6$  dikondensasi dari gas efluen panas dengan melewati aliran efluen melalui jebakan dingin yang didinginkan sampai -10 °C. Proses tersebut memerlukan sumber gas fluor.

6. Sistem yang secara Khusus Didesain atau Dipersiapkan untuk Konversi  $UF_4$  menjadi Logam Uranium

Konversi  $UF_4$  menjadi logam uranium dilakukan melalui reduksi dengan magnesium dalam jumlah besar atau kalsium dalam jumlah kecil. Reaksi dilakukan pada temperatur diatas titik lebur uranium yaitu 1130 °C.

7. Sistem yang secara Khusus Didesain atau Dipersiapkan untuk Konversi  $UF_6$  menjadi  $UO_2$

Konversi  $UF_6$  menjadi  $UO_2$  dapat dilakukan dengan 1 (satu) dan 3 (tiga) proses. Pertama kali,  $UF_6$  direduksi dan dihidrolisa menjadi  $UO_2$  dengan menggunakan gas dan uap hidrogen. Kedua,  $UF_6$  dihidrolisa dengan melarutkannya di dalam air, ditambahkan amonia untuk mengendapkan amonium diuranat, dan diuranat tersebut direduksi menjadi  $UO_2$  dengan hidrogen pada suhu 820 °C.

Pada proses ketiga, gas  $UF_6$ ,  $CO_2$ , dan  $NH_3$  dilarutkan dalam air, untuk mengendapkan amonia uranil karbonat. Amonia uranil karbonat dicampur dengan uap dan gas hidrogen pada suhu 500-600 °C untuk memperoleh  $UO_2$ . Konversi  $UF_6$  menjadi  $UO_2$  kerap dilakukan sebagai tahapan awal fabrikasi bahan bakar.

8. Sistem yang secara Khusus Didesain atau Dipersiapkan untuk Konversi  $UF_6$  menjadi  $UF_4$

Konversi  $UF_6$  menjadi  $UF_4$  dilakukan melalui reduksi dengan hidrogen.