

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

Reaktor Kartini dioperasikan sesuai dengan prosedur yang berlaku. Prosedur tersebut dibuat berdasarkan peraturan dan perundang undangan baik nasional maupun internasional. Pengoperasian reaktor Kartini mengutamakan aspek keselamatan dan kemanfaatan.

Dalam memenuhi aspek keselamatan, operasi reaktor Kartini selalu diawasi rutin oleh bidang keselamatan internal serta secara incidental diawasi dan diinspeksi oleh lembaga eksternal. Setiap parameter selalu terpantau secara online di ruang kendali utama dan diverifikasi oleh operator dilapangan secara manual berkala. Semua kegiatan dan kejadian yang berkaitan dengan pengoperasian reaktor dicatat di log book operasi dan tersimpan secara permanen sebagai data primer riwayat operasi reaktor.

Operasi reaktor kartini dilakukan sesuai jadwal yang telah disusun untuk kurun waktu satu tahun. Jadwal ini lebih ditujukan untuk memberikan kesempatan dalam melakukan perawatan reaktor. Diluar jadwal perawatan, reaktor kartini statusnya adalah siap dioperasikan. Berbeda dengan reaktor yang lebih besar dayanya, misalkan RSG GAS diserpong, reaktor Kartini dalam operasinya menunggu permohonan dari pelanggan dan pemangku kepentingan. Pemangku kepentingan berasal dari badan pengawas ( Bapeten maupun IAEA), manajemen reaktor (menengah maupun puncak), serta panitia atau bidang keselamatan. Sedangkan pelanggan reaktor terdiri dari lembaga litbang pemerintah dan swasta serta berbagai universitas dan perguruan tinggi untuk kepentingan praktikum, kerja praktek, maupun penelitian.

Pada saat dimana kondisi dimana reaktor siap untuk beroperasi, namun tidak ada permohonan operasi, maka tim operasi reaktor Kartini yang terjadwal tetap mengoperasikan SSK (System Struktur dan Komponen) utama minimal system ventilasi dan system primer untuk keperluan pemanasan. Operasi SSK tersebut harus mengikuti prosedur operasi setiap SSK yang telah tersedia.

#### **Kompetensi Dasar**

Setelah mengikuti modul ini peserta diharapkan dapat memahami langkah langkah pengoperasian reaktor Kartini sesuai dengan prosedur yang ada.

### **Indikator Keberhasilan**

Setelah mempelajari modul ini peserta diharapkan mampu:

1. Mengerti tentang operasi normal dan operasi abnormal
2. Mendefinisikan langkah langkah operasi reactor pada level daya
3. Mengerti langkah langkah checklist start up, check list daya serta checklist shutdown
4. Menyebutkan operasi terantisipasi yang mungkin terjadi di reactor  
Kartini

## BAB II

### Start up reaktor

Start up reaktor adalah kondisi dimana reaktor dalam status menuju kritis pada daya tertentu. Reaktor Kartini bisa kritis minimal pada daya 10 watt dan maksimal 100 kW. Kritis minimal sangat ditentukan dengan dimensi teras serta komponen teras reaktor. Makin besar dimensi teras (juga berarti semakin besar daya reaktor) maka kritis minimal akan semakin tinggi. Sedangkan kritis maksimal ditentukan oleh daya maksimal reaktor dan regulasi/ izin yang diberikan. Reaktor Kartini desain nya bisa kritis sampai 250 kW, namun diberikan izin hanya sampai 100 kW disesuaikan dengan LAK yang disusun.

Untuk mencapai kritis pada daya tertentu, batang kendali reaktor dinaikkan untuk memberikan reaktivitas positif teras reaktor. Kombinasi dari penarikan 3 batang kendali pada kondisi kritis akan berbeda setiap saat tergantung operatornya. Namun hal utama yang harus diperhatikan adalah posisi batang kendali pengaman harus 100 % (fully up) kemudian batang kendali kompensasi pada posisi dibawah batang kendali pengaman dan diatas batang kendali pengatur.

Penarikan batang kendali jika hanya salah satu saja tidak akan bisa menyebabkan reaktor kritis. Bahkan dalam desain teras reaktor kartini, 2 batang kendali dalam kondisi 100 % ditarik, belum cukup untuk mengkritiskan reaktor walaupun minimal. Oleh karena itu jika ada kegiatan penarikan batang kendali namun tidak sampai membuat reaktor kritis maka tidak dimasukkan dalam operasi reaktor.

Kondisi dimana ada kegiatan penarikan batang kendali namun tidak sampai pada kritis pada daya tertentu tidak perlu dicatat dalam logbook operasi. Kegiatan ini biasanya dilakukan oleh kelompok perawatan SIK reaktor, misalnya pengukuran waktu jatuh batang kendali, perawatan sistem komputer akuisisi dan kendali dll. Semua kegiatan perawatan dicatat dalam log book perawatan.

Dalam mengoperasikan reaktor Kartini, perlu dilakukan tahapan tahapan sesuai prosedur yang telah ditetapkan antara lain:

#### II.1. Persiapan

Persiapan Sumber Daya Manusia (SDM) dan dokumen pendukung

Reaktor Kartini membutuhkan personil/ SDM untuk menjalankan operasi reaktor yang terdiri dari:

- Supervisor : 1 orang
- Operator Reaktor : 2 orang
- Petugas Proteksi Radiasi : 1 orang
- Petugas sistem sekunder
- dan ventilasi/Blower : 2 orang
- Sekuriti (petugas jaga) : 1 orang

Serta Dokumen yang disiapkan untuk rekaman kegiatan operasi antara lain:

- Form permohonan Operasi
- Log book operasi
- Check list untuk operasi terlampir pada log book.
- Sertifikat/juklak eksperimen (bila ada eksperimen)
- Lembar operasi primer, sekunder, blower
- Log book sekuriti

Secara umum tugas masing masing personel yang terlibat dalam operasi reaktor adalah:

Operator reaktor bertugas melaksanakan

- Check list instrumen kontrol reaktor
- Start up untuk operasi dan menaikkan daya reaktor sesuai dengan level daya yang dikehendaki.
- Mengamati secara kontinu semua sistem penampil instrumen kontrol reaktor dan mencatat pada log book setiap 1 jam.
- Shut down (atas perintah supervisor) dilanjutkan check list shut down bahwa reaktor telah shut down dengan aman.

Petugas Proteksi Radiasi bertugas

- Mengamati paparan radiasi pada tempat-tempat yang telah ditentukan di dalam gedung reaktor saat start up, selama operasi dan setelah shutdown.
- Melaporkan semua kejadian yang berkaitan dengan paparan radiasi kepada Supervisor reaktor.

Petugas sistem Sekunder dan Blower bertugas

- Menghidupkan pesawat blower dan sistem pendingin sekunder
- Mencatat data beda tekanan pada sitem filter blower dan tekanan pada sistem sekunder secara periodik
- Mengamati secara kontinu air pendingin cooling tower agar level air selalu terpenuhi.
- Mematikan pesawat blower dan sekunder serta mencatat lama operasi dari pesawat tersebut

Petugas Sekuriti bertugas

- Menjaga pintu masuk/keluar gedung reaktor.
- Mendata dan mencatat setiap personil yang masuk ruang reaktor serta tujuannya

## II.2. Checklist start-up

Check list start up adalah langkah untuk mempersiapkan SSK reaktor untuk memastikan keselamatan operasi pada tahap awal dengan cara pengujian dan pengamatan. SSK yang wajib dipastikan keadaan sebelum start up reaktor adalah SSK Utama. SSK Utama adalah SSK yang wajib beroperasi ketika reaktor beroperasi pada tingkat daya. Yang termasuk SSK utama adalah sistem primer, sistem sekunder, Sistem instrumentasi dan Kendali, Sistem ventilasi. Selain SSK utama ada SSK bantu yang berfungsi untuk mendukung eksperimen ataupun aksesoris untuk pemantauan pantauan parameter reaktor secara online. Contoh sistem bantu adalah sistem pancing sampel, sistem IRL, sistem crane dll.

Setelah semua personel dan dokumen tersedia lengkap, maka atas perintah supervisor, operator menghidupkan sistem ventilasi kemudian melakukan pemeriksaan awal kondisi secara umum reaktor Kartini antara lain dengan memeriksa:

- Ruang reaktor
- Tangki reaktor
- Permukaan air tangki reaktor
- Alat-alat percobaan di dalam tangki atau ruang reaktor
- Pintu kolom termal, beam-port harus tertutup (kecuali jika beam-port dipergunakan, shutter timah harus tertutup)

Semua kondisi umum SSK reaktor jika dalam kondisi normal maka dilanjutkan dengan memeriksa parameter-parameter operasi berada pada batas angka yang diijinkan. Adapun parameter-parameter yang diamati antara lain.

- Suhu maksimum air pendingin primer sebelum masuk ke tangki Reaktor (suhu keluar HE) adalah  $\leq 43^{\circ}\text{C}$
- Debit air pendingin primer  $\geq 140$  lpm
- Debit purifikasi dari demineralizer sekitar 10 GPM
- Tahanan jenis minimum air pendingin primer sebelum masuk perangkat pemurnian air (demineralizer) adalah  $\geq 2 \text{ M}\Omega \text{ cm}$  dan outlet demineralizer  $> 6 \text{ M}\Omega \text{ cm}$
- PH air tangki reaktor 5,5 – 7

Operator menghidupkan penyedia daya instrumen dan melakukan check listantara lain:

Operator melakukan Kalibrasi meter

**Daya jangkau lebar,**

- dengan memutar tombol kalibrasi pada kedudukan 1,2,3,4,5 dan 6. Amati kenaikan penunjuk jarum. Pada posisi 1 menunjukkan  $5 \cdot 10^{-4}$ , posisi 2,  $5 \cdot 10^{-4}$ , posisi 3,  $10^{-4}$ , posisi 4,  $1,4 \cdot 10^{-2}$ , posisi5,  $1,2 \cdot 10^{-4}$  dan posisi 6,  $1,3 \cdot 10^1$ . Kemudian kembalikan pada kedudukan operate. Pada posisi operate jarum menunjukkan lebih besar  $10^{-6}$

**% daya linier**

- Tekan tombol Test pada sistem kanal daya linear NP-1000, penunjukan meter dan bargraph pada layar monitor pada kedudukan 100%

**DPM (decade per menit)**

- Putar tombol pada kedudukan kal, meter akan menunjuk ke angka 3. Putar kembali pada kedudukan operate.

**Operator melakukan uji trip (scram)**

Pasang kunci kontak reaktor pada posisi ON

Uji trip sediaan sumber neutron

- Bila sumber neutron berada di luar teras reaktor, cek indikator trip level 1, pada layar monitor akan menyala dan pada keadaan ini semua batang kendali tidak bisa dinaikkan,
- Masukkan sumber neutron ke dalam teras reaktor (F-17). Indikator trip level 1, akan padam setelah direset. Pada keadaan ini batang kendali dapat dinaikkan.

Operator melakukan uji trip sediaan tegangan tinggi

- Telah diatur dalam rangkaian trip, bila sediaan tegangan tinggi berubah sekitar 10% besarnya, indikator trip HV pada layar monitor akan menyala. Bila reaktor sedang beroperasi dapat menimbulkan screm. Secara berkala uji kerja rangkaian trip HV harus dilakukan pada saat reaktor tidak dioperasikan.

Operator melakukan uji trip level daya tinggi detektor.

- Naikkan ketiga batang kendali (pengaman, kompensasi dan pengatur) kira-kira skala 1 cm
- Putar tombol trip test perlahan (searah jarum jam) sehingga meter daya mencapai 110%, indikator trip level IV akan menyala dan terjadi screm, ketiga batang kendali jatuh secara grafitasi.
- Putar tombol trip test pada kedudukan OFF, tekan tombol reset trip.

Uji DPM (Dekade Per Menit)

- Naikkan ketiga batang kendali sampai kira-kira pada skala 1 cm
- Putar tombol trip test searah jarum jam.
- Lampu trip DPM akan menyala pada saat jarum DPM melewati angka 3,8 dan terjadi screm, ketiga batang kendali jatuh secara grafitasi. Lampu rate menyala.
- Putar tombol trip test pada kedudukan OFF, tekan tombol reset trip.

Operator melakukan uji manual Scram

- Naikkan ketiga batang kendali sampai kira-kira skala 1 cm.
- Tekan tombol pancung batang kendali
- Shut down ditunjukkan oleh posisi nol.

Setelah semua check list selesai maka supervisor menyimpulkan apakah reaktor dapat/tidak dapat dioperasikan. Hasilnya ditulis dalam check list dan ditandatangani. Rangkuman checklist reaktor dapat dilihat pada gambar 1. Checklist start up

**CHECK LIST START UP**  
 No. : ..... Tgl. ....

|   |  |       |        |       |        |        |       |       |       |        |       |       |       |         |       |       |       |    |       |       |       |
|---|--|-------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|----|-------|-------|-------|
| <p><b>SISTEM SAMPING</b></p> <p>1. SISTEM PENDINGIN PRIMER : .....</p> <p>    Debit pendingin primer: ..... <b>GPM</b></p> <p>    Debit Demineralizer : ..... <b>GPM</b></p> <p>    Suhu air IN (HE) : ..... °C</p> <p>        Out (HE) : ..... °C</p> <p>    Tahanan air masuk : ..... M.Ohm/cm</p> <p>        air keluar : ..... M.Ohm/cm</p> <p>    pH air tangki reaktor : .....</p> <p>    Level air tangki : ..... cm</p> <p>SISTEM PENDINGIN SEKUNDER : .....</p> <p>    Debit pendingin sekunder : ..... LPM</p> <p>    Suhu IN (HE) : ..... °C</p> <p>        OUT (HE) : ..... °C</p> <p>    Cooling tower : .....</p> <p>SISTEM VENTILASI : .....</p> <p>    Blower : .....</p> <p>    Tek. IN prefilter : .....</p> <p>        OUT prefilter : .....</p> <p>    Tek. IN filter : .....</p> <p>        OUT filter : .....</p> <p>LET.: V (baik)</p> <p>        X (tidak baik)</p> <p>Reaktor dioperasikan untuk .....</p> | <p><b>II. REAKTOR</b></p> <p>Teras reaktor : .....</p> <p>Lampu reaktor : .....</p> <p>Sumber neutron : .....</p> <p>Beamport : .....</p> <p>Kolom termal : .....</p> <p><b>III. SISTEM INSTR &amp; KENDALI</b></p> <p>1. KALIBRASI :</p> <p>    a. Daya LCR (posisi 1, 2, 3) .....</p> <p>    b. Daya CAMELL (pos. 4, 5, 6) .....</p> <p>    c. Periode (posisi KAL) .....</p> <p>    d. Daya linier (pos. KES) .....</p> <p>2. PENGECEKAN PANCUNG &amp; INTERLOCK</p> <table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">Pengm.</td> <td style="text-align: center;">Komp.</td> <td style="text-align: center;">Pengt.</td> </tr> <tr> <td>Manual</td> <td>.....</td> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>% daya</td> <td>.....</td> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>Periode</td> <td>.....</td> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>HV</td> <td>.....</td> <td>.....</td> <td>.....</td> </tr> </table> <p>3. SISTEM KOMPUTER : .....</p> <p><b>IV. KESIMPULAN :</b></p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>Tanda tangan Supervisor</p> <p>( ..... )</p> |       | Pengm. | Komp. | Pengt. | Manual | ..... | ..... | ..... | % daya | ..... | ..... | ..... | Periode | ..... | ..... | ..... | HV | ..... | ..... | ..... |
|   | Pengm.   | Komp. | Pengt. |       |        |        |       |       |       |        |       |       |       |         |       |       |       |    |       |       |       |
| Manual  | .....  | ..... | .....  |       |        |        |       |       |       |        |       |       |       |         |       |       |       |    |       |       |       |
| % daya  | .....  | ..... | .....  |       |        |        |       |       |       |        |       |       |       |         |       |       |       |    |       |       |       |
| Periode   | .....  | ..... | .....  |       |        |        |       |       |       |        |       |       |       |         |       |       |       |    |       |       |       |
| HV  | .....  | ..... | .....  |       |        |        |       |       |       |        |       |       |       |         |       |       |       |    |       |       |       |

**PETUGAS**

|   |  |
|---|--|
| <p>Operator : 1. ....</p> <p>          2. ....</p> <p>          3. ....</p> <p>Supervisor : .....</p> <p>Reaktor start-up :</p> | <p>Proteksi radiasi : .....</p> <p>Sisibin Bantu : 1. ....</p> <p>                  disebut langsung<sup>2</sup> .....</p> |
|---|--|

Gambar 1. Checklist start up reactor Kartini

### II.3. Start up reaktor

Langkah berikutnya setelah check list adalah start up reaktor. Setelah semua keadaan SSK siap untuk operasi maka reaktor dinyatakan siap untuk naik pada daya tertentu. Dalam hal ini supervisor reaktor yang bertugas memberikan persetujuan kepada operator untuk menaikkan daya reaktor. Untuk menuju kritis pada daya tertentu, seorang operator menaikkan batang kendali reaktor dan seorang lagi bertugas memantau parameter operasi dan mencatat posisi batang kendali setiap mencapai daya tertentu pada log book operasi. Langkah pengoperasian reaktor ini harus mengikuti SOP yang telah dibuat.

Bila semua persiapan telah dilakukan, semua instrumentasi bekerja dengan baik. Dengan persetujuan/perintah Supervisor, reaktor dapat di start-up dan mencatat waktu mulai start-up pada log book.

Naikkan batang pengaman (safety), secara perlahan sambil mengamati DPM agar tidak melewati angka 3 atau mengamati monitor penampil periode digital agar tidak < 7 detik, sampai kedudukan teratas (full up).

Kemudian naikkan batang kompensasi (shim) secara perlahan sambil mengamati DPM atau mengamati monitor penampil periode digital agar tidak < 7 detik dan mengamati perubahan tingkat daya (pada meter jangkau lebar).

Batang kendali terakhir yang dinaikkan adalah batang pengatur (regulating) dan harus perlahan-lahan serta mengamati perubahan tingkat daya (pada meter jangkau lebar dan % daya linier).

Catatan:

Sistem instrumentasi ini dilengkapi dengan sistem interlock yang tidak akan memungkinkan dua batang kendali naik secara bersama-sama.

Saat reaktor kritis pada daya tertentu, catat kedudukan masing-masing batang kendali, suhu air dan juga paparan radiasinya.

Setelah mencapai daya kritis tertentu, operator selanjutnya dapat merubah daya sesuai dengan keperluan. Merubah daya reaktor dengan menaikkan/menurunkan batang kendali (kompensasi dan atau pengatur) sehingga daya reaktor naik/turun secara perlahan-lahan sehingga mencapai daya yang dikehendaki. Selama menaikkan/menurunkan batang kendali diamati DPM dan penunjuk persen daya.

Catat dalam log book semua parameter operasi reaktor secara periodik setiap jam operasi reaktor.

Bila reaktor operasi kontinu: tiap pergantian shift memeriksa lagi alat-alat keselamatan dan meyakinkan bahwa alat-alat berjalan baik dengan melihat catatan log book. Bila terjadi shut-down, supervisor menyelidiki asal masalah scram dahulu, setelah diketahui maka reaktor di start-up lagi sesuai Juklak Start-up. Semua kejadian harus ditulis dalam log book.

Lanjutkan operasi sesuai dengan program. Catat dalam log book setiap terjadi perubahan kondisi-kondisi operasi dan kejadian lain yang signifikan

## BAB III

### Operasi Normal

Operasi normal adalah pengoperasian instalasi nuklir dalam kondisi batas untuk operasi yang selamat. Reaktor Kartini dapat dioperasikan pada level daya tertentu. Antara 10 W sampai 100 kW sesuai dengan keperluan. Kritis minimum 10 W biasanya digunakan untuk operasi kalibrasi batang kendali reaktor dan kritis maksimum 100 kW digunakan untuk irradiasi sampel serta kalibrasi daya reaktor.

Pada saat operasi daya, supervisor dan 2 operator melakukan pemantauan parameter operasi dan mencatatnya dalam logbook operasi setiap 1 jam dan setiap ada perubahan posisi daya serta posisi batang kendali. Supervisor bertanggungjawab penuh dalam keselamatan reaktor selama operasi daya. Supervisor selalu berkoordinasi dengan Petugas Proteksi Radiasi (PPR) dalam menjalankan tugasnya. Jika terjadi keadaan abnormal maka segera direspon sesuai prosedur yang ada.

Supervisor reaktor juga berkoordinasi dengan penanggungjawab eksperimen jika reaktor digunakan untuk eksperimen. Keselamatan reaktor harus diutamakan dibanding dengan utilitasnya. SOP eksperimen dan SOP operasi dijalankan secara ketat. Jika terjadi kejadian abnormal, maka supervisor segera merespon dengan koordinasi dengan PPR yang bertugas dan penanggungjawab eksperimen.

#### II.1. Checklist level daya

Setiap kali reaktor Kartini kritis pada daya tertentu, operator melakukan checklist pada level daya. Parameter yang dipantau dalam level daya ini adalah paparan radiasi pada lokasi yang telah ditentukan, posisi batang kendali, penunjukan penampil daya, laju alir primer dan sekunder serta suhu inlet outlet penukar panas dan suhu bahan bakar. Tampilan logbook checklist pada level daya terangkum dalam gambar 2. Checklist operasi tingkat daya

| OPERASI PADA TINGKAT DAYA   |   |               |                         |
|-----------------------------|---|---------------|-------------------------|
| Tanggal : .....             |   | Jam : .....   |                         |
| 1. Reaktor kritis pada daya | : | .....         | W/kW                    |
| 2. Posisi batang kendali    | : |               |                         |
| Pengaman                    |   | Kompensasi    | Pengatur                |
| .....%                      |   | .....%        | .....%                  |
| 3. Suhu permukaan ATR       | : | .....         | °C                      |
| Suhu air primer             | : | IN (HE) ..... | °C,      OUT (HE) ..... |
| Debit primer                | : | .....         | 1/menit                 |
| 5. Suhu air sekunder        | : | IN (HE) ..... | °C,      OUT (HE) ..... |
| 6. Debit sekunder           | : | .....         | 1/menit                 |
| 7. Suhu bahan bakar ring B  | : | .....         | °C                      |
| 8. Laju paparan radiasi     | : |               |                         |
| - Dek reaktor               | : | .....         | mr/jam                  |
| - Subkritis                 | : | .....         | mr/jam                  |
| - Demineralizer             | : | .....         | mr/jam                  |
| - Kolom termal              | : | .....         | mr/jam                  |
| - Bulk shielding            | : | .....         | mr/jam                  |
| - Ruang kontrol             | : | .....         | mr/jam                  |
| Keterangan/penjelasan :     |   |               |                         |
|                             |   |               |                         |
|                             |   |               |                         |
|                             |   |               |                         |

Gambar 2. Checklist operasi pada level daya

## II.2. Checklist shutdown

Setelah reaktor dioperasikan sesuai dengan permohonan operasi, maka reaktor dikembalikan lagi dalam kondisi shutdown. Kondisi ini ditandai dengan kondisi semua batang kendali berada dalam posisi 0% (dibawah). Parameter yang dipantau dalam checklist shutdown terangkum dalam gambar 3. Checklist shutdown reactor Kartini

Checklist shutdown merupakan kegiatan akhir dalam rangkaian pengoperasian reaktor pada level daya. Kegiatan pengoperasian SSK reaktor yang tidak sampai pada level daya tidak melalui rangkaian checklist start up, checklist level daya dan checklist shutdown. Kegiatan tersebut cukup dicatat dalam lembar operasi SSK yang tersedia dalam masing masing SSK.

**CHECK LIST SHUT DOWN**

Tanggal : ..... Jam : .....

1. Reaktor shut down jam : .....
2. Posisi batang kendali : .....  

|          |            |          |
|----------|------------|----------|
| Pengaman | Kompensasi | Pengatur |
| .....%   | .....%     | .....%   |
3. Suhu permukaan ATR : .....°C  
 Suhu air primer : IN (HE) .....°C, OUT (HE) .....°C
4. Debit primer : ..... l/menit
5. Suhu air sekunder : IN (HE) .....°C, OUT (HE) .....°C
6. Debit sekunder : ..... l/menit
7. Suhu bahan bakar ring B : .....°C
8. Laju paparan radiasi : .....  

|                                |                                 |
|--------------------------------|---------------------------------|
| - Dek reaktor : ..... mr/jam   | - Kolom termal : ..... mr/jam   |
| - Subkritik : ..... mr/jam     | - Bulk shielding : ..... mr/jam |
| - Demineralizer : ..... mr/jam | - Ruang kontrol : ..... mr/jam  |
9. Sistem primer dimatikan jam : ..... ; suhu ATR : .....°C
10. Catu daya sistem kontrol dimatikan jam : .....
11. Kondisi teras : .....
12. Lampu penerangan teras : .....
13. Level ATR : ..... cm

Keterangan/penjelasan :

Gambar 3. Checklist shutdown

## BAB IV

### OPERASI ABNORMAL

#### II.1. OPERASI TERANTISIPASI

Operasi terantisipasi adalah proses operasi yang menyimpang dari operasi normal, yang diperkirakan terjadi paling kurang satu kali selama umur instalasi nuklir, tetapi dari pertimbangan desain tidak menyebabkan kerusakan berarti pada peralatan yang penting untuk keselamatan atau mengarah pada kondisi kecelakaan. Reaktor Kartini telah menetapkan beberapa operasi terantisipasi antara lain:

##### **Kehilangan daya listrik**

Apabila dalam operasi reaktor Kartini pada daya 100 kW, tiba-tiba listrik padam maka kemagnitan pemegang batang kendali akan hilang, sehingga secara gravitasi batang kendali akan jatuh ke dasar teras, maka reaktor akan padam. Pada saat yang bersamaan semua aliran pendingin akan padam juga. Karena reaktor padam maka panas yang ada adalah panas sisa hasil peluruhan gamma dan peluruhan lainnya dari isotop produk fisi, yang cukup didinginkan dengan air kolam reaktor (Air Tangki Reaktor).

Berdasar pengalaman pada saat kalibrasi daya reaktor tanpa aliran pendingin primer, daya reaktor 100 kW, maka temperatur air pada permukaan air tangki reaktor naik  $2^{\circ}$  C, selama satu jam. Dengan demikian panas sisa yang ada pada saat reaktor padam tidak akan menimbulkan kenaikan suhu pada air tangki reaktor yang signifikan, maka kegagalan daya listrik tidak relevan untuk dijadikan kejadian awal yang dipostulasikan akan berdampak membahayakan reaktor, personil maupun lingkungan.

Respon operator reaktor:

- Menghentikan operasi reaktor
- Melaksanakan instruksi dari Ka.Subbid OPR untuk menghidupkan diesel genset untuk kepentingan sirkulasi air pendingin primer, sistem pendingin sekunder dan ventilasi seandainya diperlukan untuk pendinginan lanjutan.

##### **Pemasukan Reaktivitas Lebih**

Pemasukan reaktivitas lebih, hal ini dapat terjadi pada:

**Saat start up reaktor** di mana saat batang kendali pengatur dinaikkan tidak dapat berhenti dan sistem proteksi reaktor gagal berfungsi. Jika terjadi kondisi demikian maka akan terjadi pemasukan reaktivitas sehingga reaktivitas batang kendali pengatur kurang lebih 1,6 dollar dalam rentang waktu 1 menit (waktu yang diperlukan untuk naik batang kendali dari *fully down* sampai *fully up*), dan yang efektif menambah reaktivitas dari posisi 0 sampai 60 %, selebihnya sudah tidak dirasakan adanya penambahan reaktivitas. Untuk penyisipan superkritik ( $\rho > 1 \text{ \$}$ ) maka pengaruh neutron kasip ( $\beta$ ) dapat diabaikan, sehingga daya reaktor akan naik secara eksponensial hanya tergantung pada neutron serentak saja dan daya reaktor sebagai:  $P(t) = P_0 e^{t/T_2}$  dengan  $T_2 = l / \Delta\rho_p$ , dengan  $\Delta\rho_p = \rho - 1 =$  reaktivitas serentak (*prompt reactivity*). Mengingat umur neutron serentak yang sangat pendek (orde  $10^{-5}$ ) maka daya reaktor akan naik dengan sangat cepat yang diikuti dengan kenaikan temperatur bahan bakar. Kenaikan temperatur bahan bakar tersebut akan memberikan reaktivitas negatif (*Doppler* dan *moderator defect*) yang akan menghambat eskursi daya reaktor tersebut, sehingga tercapai keseimbangan antara reaktivitas yang disisipkan dengan reaktivitas umpan balik (*feedback reactivity*) tersebut.

Respon Operator:

Maka respon operator adalah

- Menghentikan operasi reaktor dengan melalui penurunan/penyisipan batang kendali secara serentak dan
- Mempertahankan proses pendinginan di dalam teras reaktor.
- Untuk kondisi sistem proteksi reaktor trip daya 110% gagal, penurunan batang kendali secara serentak dilakukan secara trip manual.
- Laporkan kepada atasan langsung melalui supervisor operasi reaktor

**Pada saat kalibrasi daya selesai dilakukan, aliran pendingin primer dihidupkan**, dalam hal ini maka terjadi penyisipan reaktivitas positif sebagai akibat penurunan temperatur bahan bakar. Besarnya penyisipan sama dengan kebalikan koefisien reaktivitas negatif temperatur.

Maka respon operator adalah :

- Melakukan pengaturan penyisipan / memasukkan batang kendali pengatur ke dalam teras dalam posisi lebih bawah untuk mencegah penyisipan reaktivitas positif setelah air pendingin primer dihidupkan.
- Jika ada kejadian batang pengatur tidak dapat diturunkan dan sistem scram tidak berfungsi maka akan terjadi transien daya reaktor akibat penyisipan reaktivitas temperatur yang bersifat negatif.
- Transient daya akan berlanjut dengan kondisi naik-turunnya daya reaktor dan dihentikan dengan scram manual.
- Laporkan kepada atasan langsung melalui supervisor operasi reaktor.

#### **Kehilangan Aliran Pendingin Primer atau Sekunder**

Pemindahan panas dari bahan bakar ke lingkungan melalui sistem pendingin primer dan sekunder, jika pada suatu saat aliran pendingin primer atau sekunder salah satu di antaranya atau kedua-duanya mati, maka daya turun karena pengaruh dari reaktivitas negatif temperatur. Ketiadaan aliran pendinginan bahan bakar oleh sistem pendingin primer dan atau sistem pendingin sekunder menyebabkan peningkatan temperatur pendingin karena peningkatan temperatur bahan bakar. Peningkatan temperatur bahan bakar sekaligus menaikkan temperatur pendingin primer yang dapat melampaui Kondisi Batas Operasi (BKO) dan sekaligus menurunkan daya reaktor dengan sumbangan reaktivitas negatif temperatur bahan bakar yang naik. Apabila terjadi kehilangan pendingin sekunder maka temperatur pendingin primer akan naik lebih cepat sehingga dalam mendekati/melampaui nilai temperatur BKO dapat terjadi lebih cepat.

Respon operator:

Kehilangan laju alir pendingin primer dan atau pendingin sekunder pada reaktor Kartini sebagai kejadian operasional terantisipasi dan untuk mencegah kenaikan temperatur pendingin melampaui BKO maka respon operator adalah:

- Menghentikan operasi reaktor melalui pemadaman / shutdown reaktor secara manual.
- Laporkan kepada atasan langsung melalui supervisor operasi reaktor

## **II.2. OPERASI KECELAKAAN DASAR DESAIN**

Kecelakaan dasar desain adalah kondisi kecelakaan yang digunakan sebagai dasar untuk mendesain instalasi nuklir menurut kriteria desain yang ditetapkan dan sebagai dasar untuk mempertahankan lepasan zat radioaktif tidak melampaui batas yang diizinkan. Reaktor Kartini telah menerapkan beberapa skenario kecelakaan dasar desain antara lain:

### **Kehilangan Pendingin kolam**

Apabila kolam pendingin reaktor hilang akibat bocor melalui beamport atau termal kolom, sehingga teras reaktor tidak berada di dalam air maka akan terjadi kenaikan paparan gamma yang tinggi dan dimungkinkan juga adanya neutron pada permukaan atas reaktor.

Jika kecelakaan kehilangan pendingin terjadi saat operasi reaktor maka respon operator adalah:

- Menghentikan operasi reaktor dengan pemadaman reaktor (shut down)
- Mematikan sistem pendingin primer melalui jalur yang aman dari air bocoran sistem primer
- Menghentikan semua kegiatan di hall reaktor
- Evakuasi personil dari hall reaktor
- Laporkan kepada atasan langsung melalui supervisor operasi reaktor
- Diikuti respon dan tindakan keadaan darurat nuklir .

Jika kecelakaan terjadi saat sistem reaktor tidak beroperasi respon operator:

- Menghentikan semua kegiatan yang ada di dalam *hall* reaktor
- Evakuasi personil dari hall reaktor
- Lapor kepada atasan langsung melalui supervisor operasi reactor
- Diikuti respon dan tindakan keadaan darurat nuklir .

### **Kejadian luar**

Kejadian luar sebagai pemicu awal kecelakaan dasar desain seperti a) gempa bumi b) letusan gunung berapi c) tumbukan akibat pesawat jatuh.

#### Gempa Bumi

Respon operator:

Jika kejadian gempa bumi terjadi pada jarak dan atau skala seismik melampaui normal terjadi saat operasi reaktor maka respon operator adalah:

- Menghentikan operasi reaktor dengan pemadaman reaktor (shut down)
- Mematikan sistem pendingin primer melalui jalur yang aman dari air bocoran sistem primer
- Menghentikan semua kegiatan di hall reaktor
- Evakuasi personil dari hall reaktor
- Lapor kepada atasan langsung melalui supervisor operasi reaktor
- Diikuti respon dan tindakan keadaan darurat nuklir karena gempa bumi

Jika kejadian gempa bumi terjadi pada jarak dan atau skala seismik melampaui kondisi normal saat sistem reaktor tidak beroperasi respon operator:

- Menghentikan semua kegiatan yang ada di dalam *hall* reaktor
- Evakuasi personil dari hall reaktor
- Lapor kepada atasan langsung melalui supervisor operasi reaktor
- Diikuti respon dan tindakan keadaan darurat nuklir karena gempa bumi

#### Letusan Gunung Berapi

Jika kejadian letusan gunung berapi dengan akibat jatuhnya debu dan abu vulkanik berlebihan terjadi saat operasi reaktor maka respon operator adalah:

- Menghentikan operasi reaktor dengan pemadaman reaktor (shut down)
- Menutup dek reaktor menggunakan penutup yang sudah dipersiapkan dan melaksanakan prosedur respon kejadian letusan gunung berapi
- Lapor kepada atasan langsung melalui supervisor operasi reaktor

Jika kejadian letusan gunung berapi dengan akibat jatuhnya debu dan abu vulkanik berlebihan terjadi saat sistem reaktor tidak beroperasi respon operator:

- Menutup dek reaktor menggunakan penutup yang sudah dipersiapkan dan melaksanakan prosedur respon kejadian letusan gunung berapi
- Lapor kepada atasan langsung melalui supervisor operasi reaktor

#### Tumbukan Akibat Pesawat Jatuh

Jika kejadian tumbukan akibat pesawat jatuh terjadi pada saat operasi reaktor maka respon operator adalah:

- Menghentikan operasi reaktor dengan pemadaman reaktor (shut down)
- Mematikan sistem pendingin primer melalui jalur yang aman
- Menghentikan semua kegiatan di hall reaktor
- Evakuasi personil dari hall reaktor
- Laporkan kepada atasan langsung melalui supervisor operasi reaktor
- Diikuti respon dan tindakan keadaan darurat nuklir karena tumbukan pesawat pada gedung reaktor

Jika kejadian tumbukan akibat pesawat jatuh terjadi saat sistem reaktor tidak beroperasi respon operator:

- Menghentikan semua kegiatan yang ada di dalam *hall* reaktor
- Evakuasi personil dari hall reaktor
- Laporkan kepada atasan langsung melalui supervisor operasi reaktor
- Diikuti respon dan tindakan keadaan darurat nuklir karena tumbukan pesawat pada gedung reaktor

### **II.3. KECELAKAAN YANG MELAMPAUI BATAS DESAIN**

Kecelakaan yang melampaui dasar desain adalah kecelakaan yang lebih parah dari pada kecelakaan dasar desain. Kesalahan penanganan atau kesalahan fungsi peralatan atau komponen, dalam hal ini kesalahan pada saat penanganan loading – unloading di mana Pesawat Crane tidak terkendali "loss handle" atau tali bajanya putus pada saat membawa transfer cask berisi bahan bakar sehingga jatuh ke lantai dan bahan bakar pecah, hal ini dapat dimungkinkan terjadi pelepasan produk fisi dari selongsong, keluar terlepas ke udara ruang reaktor sesuai dengan bentuk dan sifat produk fisi tersebut, untuk kemudian terlepas melalui cerobong reaktor dan terjadi penyebaran produk fisi dan paparan radiasi sampai ke luar Gedung Reaktor.

Respon operator:

- Menghentikan semua kegiatan di hall reaktor
- Evakuasi personil dari hall reaktor
- Lapor kepada atasan langsung melalui supervisor operasi reaktor.
- Diikuti respon dan tindakan keadaan darurat nuklir .

Daftar Pustaka

1. SOP Operasi reactor
2. LAK Reaktor Kartini Revisi 7 tahun 2012
3. Perka bapeten no 6 tahun 2011