

ANALISIS KESELAMATAN TERAS RSG-GAS DENGAN ADANYA PENYISIPAN STRINGER TOPAZ

Endiah Puji Hastuti, As Natio Lasman, Suroso
Pusat Reaktor Serba Guna - BATAN

ABSTRAK

ANALISIS KESELAMATAN TERAS RSG-GAS DENGAN ADANYA PENYISIPAN STRINGER TOPAZ. Tujuan dilakukannya analisis ini adalah untuk menjamin keselamatan reaktor akibat pemasangan *stringer* untuk iradiasi Topaz. *Stringer* dipasang di posisi K-10 yang semula berisi reflektor Berilium, sehingga diperkirakan akan berdampak pada penurunan distribusi aliran di dalam elemen bakar maupun reflektor. Laju alir (LA) diukur menggunakan elemen bakar *dummy* yang dilengkapi dengan *turbine flow meter* (TFM) dengan berbagai kombinasi operasi pompa primer. Hasil pengukuran dilakukan tanpa dan dengan adanya *stringer* di posisi dekat CIP yaitu D-5 dan di dekat reflektor H-9. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa LA di posisi D-5 tanpa dan dengan adanya *stringer* masing-masing adalah sebesar 46,81 m³/jam dan 45,87 m³/jam, sedangkan di posisi H-9 adalah sebesar 45,40 m³/jam tanpa *stringer*. Data hasil perhitungan ini digunakan sebagai masukan program perhitungan COOLOD-N yang dipakai untuk menghitung harga batas keselamatan pengoperasian reaktor. Analisis dilakukan pada kondisi terburuk (*worst case condition*) pada daya lebih 114% dari daya nominal (30 MW) dan 114% dari daya nominal (25 MW). Hasil analisis menunjukkan bahwa iradiasi sebaiknya dilakukan pada daya 25 MW. Dengan memperhatikan hasil analisis tersebut disarankan agar setelah target topaz diambil, *stringer* diisi dengan sumbat berlubang agar pengambilan air pendingin dari sekeliling tidak terlalu besar.

Kata kunci: analisis keselamatan, *stringer* topaz, elemen bakar *dummy*, *turbine flow meter*, kondisi terburuk, COOLOD-N.

ABSTRACT

SAFETY ANALYSIS OF RSG-GAS CORE WITH TOPAZ STRINGER INSERTION. The objective of this analysis is to ensure the safety of the reactor due to *stringer* instalation for Topaz irradiation. A dummy fuel element, which is equipped with a turbine flow meter, is used in measuring fuel element flow rates at D-5 and H-9 positions before and after *stringer* insertion. The flow rates in D-5 position before and after *stringer* insertion are 46.81 m³/h and 45.87 m³/h, respectively, where as the flow rate in H-9 position is 45.40 m³/h. Those data are needed for the inputs of COOLOD-N code which is used to calculate the safety margin of the reactor operation. The calculations were carried out at the worst case condition for 114% of the nominal power and 114% of the operations power (25 MW). The results showed that the recommended power for irradiation was 25 MW. It was recommended that after taking out the topaz from its *stringer*, this *stringer* should be filled with a special plug in order to minimize the flow rate consumption inside this *stringer*.

Key words: safety analysis, topaz *stringer*, dummy fuel element, turbine flow meter, worst case condition, COOLOD-N.

PENDAHULUAN

Pengukuran laju alir (LA) di dalam elemen bakar dan analisis keselamatan operasi reaktor dilakukan dengan pemasangan *stringer* untuk mengiradiasi topaz. *Stringer* dipasang di posisi reflektor berilium K-10 (lihat Gambar 1). Untuk mengetahui pengaruh pemasangan *stringer* terhadap pengurangan laju alir, maka dilakukan pengukuran LA di dalam posisi elemen bakar dengan dan tanpa adanya pemasangan *stringer* kosong. Laju alir sistem pendingin primer yang diperoleh dari kombinasi ketiga pompa primer JE01 AP001, AP002 dan AP003 berkisar antara 3050 s/d 3200 m³/jam, sedangkan pengukuran laju alir di posisi elemen bakar dilakukan dengan menggunakan elemen bakar dummy yang dilengkapi dengan *turbine flow meter* (TFM).

Adanya *stringer* yang ditempatkan pada posisi J-9 yang semula berisi elemen reflektor berilium akan berdampak terjadinya pengurangan aliran disekelilingnya. Untuk itu perlu diantisipasi pengaruh pengurangan aliran di posisi elemen bakar terutama yang berada di dekat posisi iradiasi pusat (*CIP = Central Irradiation Position*), yang mempunyai faktor puncak daya tertinggi.

Untuk menganalisis keselamatan pengoperasian reaktor perlu dilakukan pengukuran LA di posisi elemen bakar pada konfigurasi teras tersebut agar diperoleh kondisi nyata dengan adanya fasilitas-fasilitas iradiasi yang dioperasikan pada waktu yang bersamaan yaitu antara lain FPM dan topaz. *Stringer* dipasang tanpa wadah topaz. Kondisi ini dipilih karena merupakan keadaan terburuk saat reaktor dioperasikan. Hasil pengukuran laju alir ini kemudian digunakan sebagai salah satu masukan program COOLOD-N untuk analisis keselamatan. Analisis dilakukan pada kondisi terburuk (*worst case condition*) pada daya 34,2 MW dan 28,5 MW (masing-masing 14% daya lebih dari daya nominal 30 MW dan 25 MW). Parameter yang digunakan sebagai pembatas adalah suhu kelongsong maksimum dan nilai batas terhadap harga batas ketidakstabilan aliran (S).

STRINGER TOPAZ DAN ALASAN PEMILIHAN POSISI IRADIASI

Stringer tempat meletakkan kapsul iradiasi topaz terbuat dari AlMg₂ dengan dimensi luar 80,5 x 76 mm. Pengarah dengan diameter 76 mm ditempatkan di dalam *stringer* tersebut dan selanjutnya pelat kapsul yang terbuat dari lapisan luar aluminium dan sebelah dalamnya terbuat dari boral, digunakan sebagai wadah topaz. *Stringer* berlubang dengan diameter 20 mm di bagian bawah akan mengalirkan pendingin setelah mendinginkan kapsul, di mana lubang tersebut dapat ditutup apabila diperlukan seperti terlihat pada Gambar 2.

Panas yang dibangkitkan di dalam *stringer* berisi topaz hanya berasal dari pemanasan gamma yang diperhitungkan untuk operasi daya 30,1 MW, dengan fluks neutron termal 1×10^{14} n/cm² detik hanya sebesar 19,63 kW^[1]. Pembangkitan panas ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan pembangkitan panas rerata di dalam elemen bakar sebesar 0,748 MW untuk daya 114%. Dengan demikian *stringer* topaz tidak memerlukan pendinginan sebesar di dalam elemen bakar. Oleh karena itu kondisi yang perlu diperhatikan adalah dampak dari pengurangan laju alir akibat berkurangnya distribusi aliran di posisi elemen bakar.

Iradiasi tidak dapat dilakukan di luar teras karena untuk mengubah warna batuan topaz dari putih menjadi biru memerlukan energi neutron cepat, di mana neutron cepat ini banyak terdapat di dalam teras aktif. Dengan menempatkan *stringer* iradiasi di posisi berilium reflektor K-10, diharapkan kontribusi neutron cepat masih lebih besar dibandingkan apabila diletakkan di luar teras. Pada posisi tersebut diperkirakan bahwa besar fluks neutron cepat adalah 1/5 dari besar fluks neutron termal^[2]. Sedangkan untuk menangkap neutron termal digunakan material boral. Penempatan ini sekaligus merupakan pilihan untuk lebih memudahkan dalam penanganan (*handling*) targetnya.

PROSEDUR PENGUKURAN

a. Kondisi Awal

Sebelum dilakukan pengujian, ada beberapa kondisi yang harus dipersiapkan, antara lain yaitu : konfigurasi teras kerja tipikal XXI telah tersusun dengan memasukkan berbagai fasilitas iradiasi, elemen bakar *dummy* telah terpasang di posisi D-5, rekorder telah terhubung dengan peralatan pengukuran dan sistem pendingin primer siap dioperasikan.

b. Peralatan

Data sistem pendingin primer dicatat dan direkam dengan menggunakan instrumentasi yang berada di panel ruang kendali utama, sedangkan untuk mengukur laju alir di dalam elemen bakar digunakan elemen bakar *dummy* yang dilengkapi dengan TFM (*Turbine Flow Meter*). Selanjutnya satuan laju alir dikonversi dari putaran/menit menjadi m³/jam.

c. Pengukuran

Langkah pengukuran setelah kondisi awal tercapai adalah :

1. Mengukur LA di posisi D-5 tanpa adanya *stringer* topaz.
2. Mengukur LA di posisi D-5 dengan adanya *stringer* topaz.
3. Mengukur LA di posisi H-9 dengan adanya *stringer* topaz.

HASIL PENGUKURAN

Hasil pengukuran laju alir dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 1. : Hasil Pengukuran Laju Alir di Posisi Elemen Bakar^[3].

LANGKAH PENGUKURAN	1.	2.	3.
Tanggal Pukul	4-7-1996 15.40	4-7-1996 17.10	4-7-1996 20.05
Kombinasi pompa	AP01+AP02	AP01+AP03	AP02+AP03
Posisi TFM	D-5	D-5	H-9
- Laju alir TFM (rpm)	728	714	707
- Laju alir TFM (m ³ /jam)	46,81	45,87	45,40
- Laju Alir ke teras (m ³ /jam)	3050	3150	3200
- Laju alir sistem pemurnian pendingin primer (m ³ /jam)	-	-	-
Laju Alir Primer Total(m ³ /jam)	3050	3150	3200
Pressure drop sepanjang teras(bar)	0,21	0,15	0,15

Dengan menganggap bahwa laju alir dari kombinasi pompa tidak diatur lagi dan simpangan LA antara kombinasi ketiganya telah tercakup dalam pengambilan faktor teknis (*engineering factor*), sehingga dengan kombinasi dua buah pompa primer yang manapun akan dihasilkan jumlah laju alir sebagai berikut:

1. Perkiraan pengurangan LA dengan adanya penyisipan *stringer* sebesar (46,81 - 45,87) m³/jam = 0,94 m³/jam.
2. Mengingat simpangan LA sistem primer sebagai akibat kombinasi ketiga pompa telah tercakup di dalam pengambilan faktor teknis dan distribusi laju alir di dalam teras cukup rata^[4] serta telah tercakup di dalam pengambilan faktor teknis maka laju alir minimum di dalam elemen bakar yang digunakan sebagai data masukan program perhitungan, akibat adanya fasilitas iradiasi FPM dan topaz adalah sebesar 45,40 m³/jam.

METODE PERHITUNGAN

Analisis dilakukan dengan menggunakan program COOLOD-N^[5] dengan data masukan, sebagai berikut:

- Daya reaktor 30 MW+14% dan 25 MW+14% (daya lebih).
- Daya setiap elemen bakar = 0,748 MW dan 0,62 MW
- Laju alir setiap elmen bakar = 12,61 kg/detik (45,40 m³/jam)
- Suhu masuk kanal pendingin, Tin = 44,5°C
- Tekanan masuk kanal = 1,997 kg/cm²
- Faktor-faktor kanal terpanas yang digunakan :

Faktor puncak daya radial = 2,600

Faktor teknis kenaikan suhu pendingin sepanjang kanal (Fh) = 1,167

Faktor teknis kenaikan suhu film = 1,260

Faktor teknis dari ketidakrataan fluks panas = 1,200

Distribusi daya aksial menggunakan hasil pengukuran fluks neutron di teras II.

Hasil perhitungan yang diperoleh dirangkum dalam Tabel 2 di bawah ini.

**Tabel 2 : Hasil Perhitungan pada Standard Hot Fuel
 di Kanal Rerata dan Kanal Panas.**

PARAMETER	KANAL RERATA		KANAL PANAS	
	28,5 MW	34,2 MW	28,5 MW	34,2 MW
Suhu masuk kanal pend. Tin, °C	44,5	44,5	44,5	44,5
Suhu keluar kanal Tout, °C	53,74	58,68	70,77	76,01
Suhu kelongsong maksimum, °	91,66	101,99	144,80	150,89
Suhu meat maksimum, °C	99,31	109,85	163,44	173,26
Fluks panas, W/cm ²	63	75,7	179,5	215,4
Nilai batas keselamatan terhadap : Ketidakstabilan Aliran (S)	-	-	3,715	2,92

PEMBAHASAN

Adanya pemasangan stringer di dalam elemen reflektor terbukti berpengaruh pada pengurangan LA di dalam posisi elemen bakar sesuai dengan dugaan awal yang dibuktikan dari hasil pengukuran. *Stringer* topaz (yang dibuat oleh Balai Keteknikan Iradiasi-PRSG) seperti terlihat pada Gambar 2, dipasang tanpa menggunakan kapsul target. Kondisi ini memang merupakan kondisi yang terburuk

karena tanpa adanya kapsul target, *stringer* seolah-olah berfungsi sebagai *water box*, sehingga akan mengurangi LA di dalam posisi elemen bakar terutama yang berada di dekatnya.

Pengoperasian pompa primer dilakukan dengan berbagai kombinasi pompa. Dengan asumsi bahwa telah dilakukan pengaturan laju alir sistem primer, maka dengan kombinasi pompa yang manapun akan menghasilkan LA primer yang relatif tidak berbeda jauh satu sama lain. Hasil pengukuran LA di dalam posisi elemen bakar dengan adanya pemasangan *stringer* kosong menunjukkan penurunan LA yang berartiseperti terlihat pada Tabel 1, sedangkan deviasi antar posisi masih di bawah 3%. Untuk menganalisis nilai batas keselamatan pengoperasian reaktor, maka LA minimum yang tercapai inilah yang digunakan walaupun letaknya tidak di dekat CIP. Demikian pula dengan asumsi-asumsi yang diambil menunjukkan bahwa analisis dilakukan pada kondisi terburuk.

Parameter pembatas yang diamati di dalam analisis ini adalah suhu kelongsong elemen bakar dan nilai batas terhadap ketidakstabilan aliran (S). Analisis dilakukan terhadap sebuah elemen bakar terpanas yang berada di teras, dimana di dalam elemen bakar itu terdapat kanal elemen bakar terpanas dan kanal elemen bakar merata. Perbedaan antara keduanya ditunjukkan oleh fluks panas persatuan luas yang dibangkitkan. Dari hasil analisis pada daya 34,2 MW (14% daya lebih terhadap daya nominal 30 MW) terlihat bahwa parameter-parameter yang perlu dicermati adalah pada kanal panas.

Dengan faktor kanal panas sebesar 2,846 dan fluks panas yang dibangkitkan sebesar 215,4 W/Cm², diperoleh suhu kelongsong di dekat pendingin sebesar 147,1°C sedangkan di dekat meat telah mencapai 150,89°C, pada suhu kelongsong sebesar ini awal pendidihan inti telah terjadi.

Nilai batas terhadap ketidakstabilan (S) 2,92, masih berada di bawah S yang diijinkan untuk operasi pada daya lebih TWC seperti yang ditunjukkan di dalam SAR-RSG^[6] yaitu tidak boleh <2,67.

Untuk mempertinggi batas keselamatan disarankan iradiasi topaz dilakukan pada daya 25MW + 14% atau 28,5MW. Pada daya ini, batas keselamatan terhadap ketidakstabilan aliran adalah sebesar 3,7 (lihat Tabel 2).

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil pengukuran laju alir dan analisis perhitungan keselamatan pengoperasian reaktor dapat disimpulkan bahwa :

1. Laju alir pada elemen bakar akibat adanya pemasangan stringer topaz adalah sebesar $45,40 \text{ m}^3/\text{jam}$ dengan simpangan antar posisi $<3\%$.
2. Batas keselamatan pengoperasian reaktor untuk iradiasi topaz dilakukan pada daya $25 \text{ MW} + 14\%$ atau $28,5 \text{ MW}$. Pada daya ini batas keselamatan terhadap ketidakstabilan aliran masih lebih besar dari yang dipersyaratkan.

SARAN

Agar tidak terlalu mengurangi laju alir di sekeliling *stringer*, maka setelah kapsul diambil pada *reduced power*, *stringer* diisi dengan sumbat berlubang.

Ucapan Terima kasih

Pengukuran dan analisis ini dapat dilakukan dengan bantuan dari rekan-rekan Kurnia P, Darwis I, Asnul Sufmawan, Taufik dan rekan-rekan operator dan supervisor di bidang operasi reaktor, serta kerjasama dari rekan Suroso. Sitompul dan Hendro dari Balai Keteknikan Iradiasi.

DAFTAR PUSTAKA

1. PRSG-BATAN, *Addendum SAR Loading Unloading Amersham tentang Fasilitas Iradiasi Topaz di Blok Beryllium*, No. Ident :RSG/SAR/KET/24/94, Juni 1996.
2. AS NATIO LASMAN, *Pemanfaatan RSG GA Siwabessy secara optimal sebagai Sarana untuk Doping Silikon, Tinjauan Netronik*, Prosiding Hasil-hasil Penelitian 1993-1994 PRSG-BATAN, ISSN: 0854-5278.
3. ENDIAH PH. dkk., *Pengukuran Laju Alir di Posisi Elemen Bakar Teras XXI*, 2 Juli 1996.
4. DARWIS ISNAINI dkk., *Pengukuran Distribusi Laju Alir Teras X RSG GA Siwabessy*, No. Ident RSG/EFT/94/03/T10.02/L, Juni 1994.
5. KAMINAGA, *COOLOD-N : A Computer Code, For the Analysis of steady-state Thermal-Hydraulics In Plate-Type Research Reactors*, February 1990.
6. Badan Tenaga Atom Nasional, *Safety Analysis Report*, Sept., 1989.

DISKUSI

Pertanyaan (Sri Widayati)

1. Jika topaz di irradiasi dengan neutron, apakah topaz dapat teraktivasi, bagaimana dengan waktu peluruhannya ($T_{1/2}$).
2. Seandainya topaz diganti dengan benda lain, apakah ada pengaruhnya terhadap kestabilan aliran ?.
3. Jenis bahan apa saja yang dapat digunakan untuk bahan penyumbat, setelah topaz diambil ?.

Jawaban (Suroso dan Endiah Puji Hastuti)

1. Rumus kimia topaz $Al_2(OH,F)_2SiO_4$ (Suroso)
 $Al^{27} + n \rightarrow Al^{28} + \beta$
 $Al^{28} \rightarrow Si^{28} + \beta + \text{gamma } T_{1/2} = 2,3 \text{ menit}$
 $Si^{30} + n \rightarrow Si^{31} + \text{gamma}$
 $Si^{31} \rightarrow P^{31} + \beta + \text{gamma } T_{1/2} = 2,62 \text{ menit}$
2. Yang mempengaruhi batas keselamatan terhadap ketidakstabilan aliran bukanlah jenis/isi stringer tersebut akan tetapi geometri tampang aliran stringer.
3. Setelah topaz diambil maka kisi tersebut diisi dengan sumbat berillium.

Pertanyaan (Sri Latifah)

1. Pada awalnya sebelum dianalisis keselamatannya posisi untuk irradiasi topaz tersebut berisi apa ?
2. Berapa nilai batas keselamatan yang boleh untuk operasi reaktor

Jawaban (Endiah Puji Hastuti)

1. Sebelum digunakan untuk menyisipkan stringer, posisi tersebut (K-10) berisi berillium + stopper pejal.
2. Nilai batas keselamatan yang digunakan adalah nilai batas S (ketidakstabilan aliran). Ada beberapa nilai S, yaitu :
 - nilai batas S pada rated power sebesar 3,38
 - nilai batas S pada over power sebesar 2,67
 - nilai batas S pada ATWS sebesar 1,38

Pertanyaan (Nur Agus Salim)

Apakah kualitas topaz hasil irradiasi tidak berubah terhadap perubahan suhu? agar dibuat percobaan dengan dipanaskan mendadak dan didinginkan dengan pelan-pelan.

Jawaban (Suroso)

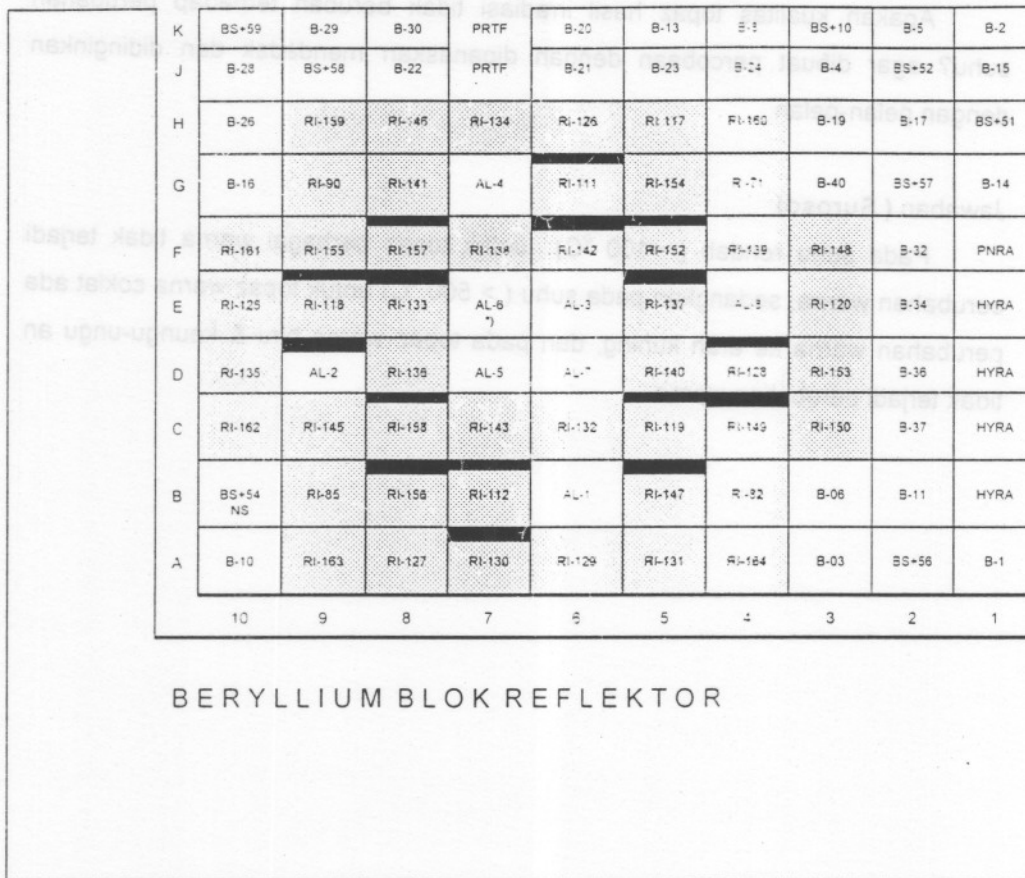
Pada suhu rendah (<100 °C) untuk topaz berbagai warna tidak terjadi perubahan warna, sedangkan pada suhu (> 500 °C) untuk topaz warna coklat ada perubahan warna ke arah kuning, dan pada topaz warna biru & keungu-unguan tidak terjadi perubahan warna.

BERYLLIUM BLOK REFLEKTOR

Keterangan :
B = Beryllium, BS = Beryllium Stopper dengan sumber, AI = Aluminium Stopper
tanpa sumber, RI = Elemen Bakar, NS = Sumber Neutron, RI-SIE = Elemen Bakar
Silisia
Fasilitas iradiasi : 1 - Uranium di posisi E-7 (Bakar), 2 = Te O₂ di posisi E-7 (Ujara)
dan 3 = Particulate udara di Raktor Sistem.

Gambar 1. Konfigurasi teras dua pulun satu penun + fasilitas iradiasi yang digunakan

LAMPIRAN 1



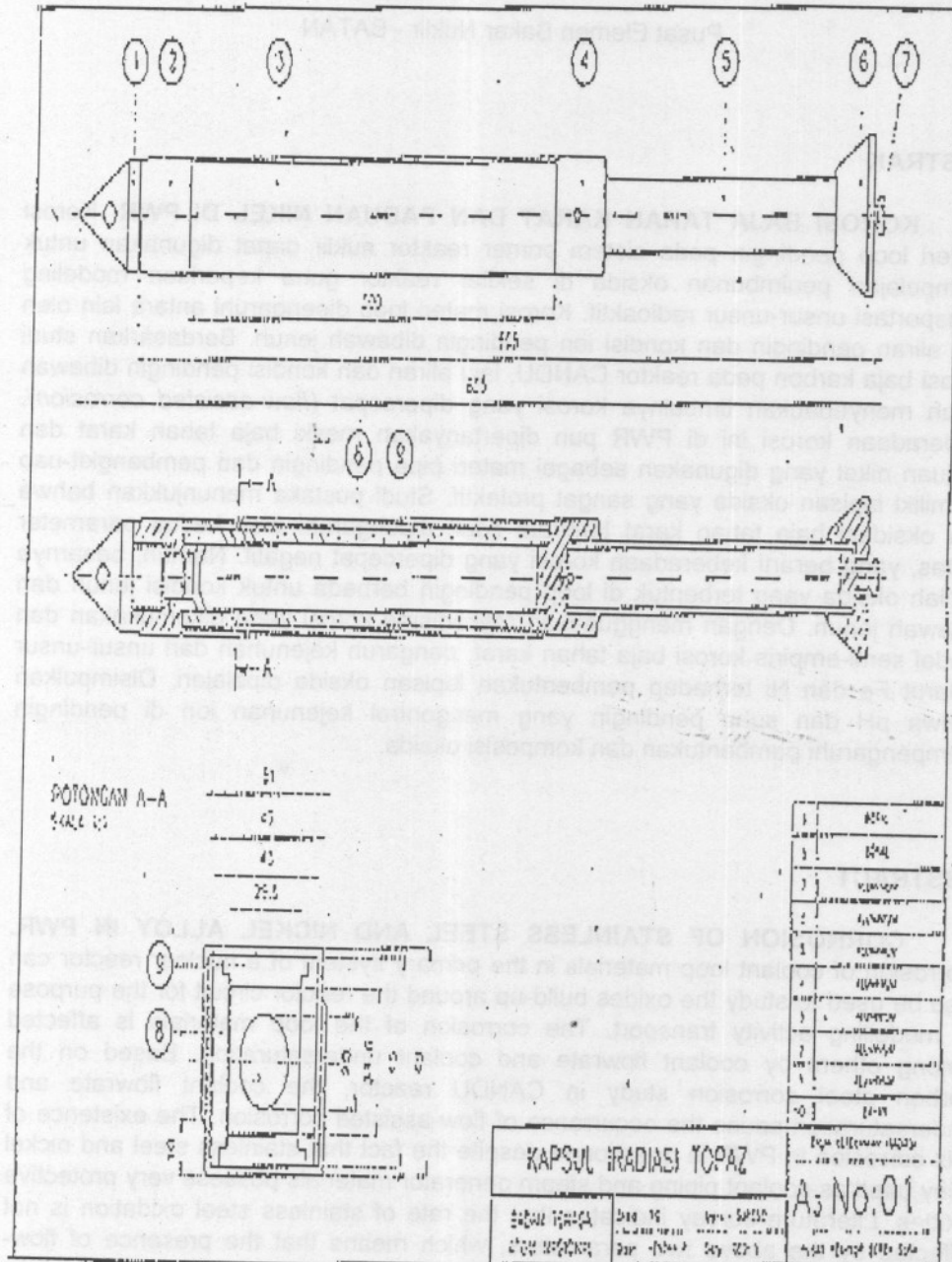
Keterangan :

B = Beryllium, BS+ = Beryllium Stopper dengan sumbat, Al = Alumminium Stopper tanpa sumbat, RI = Elemen Bakar, NS = Sumber Neutron, RI-SIE = Elemen Bakar Silisida

Fasilitas iradiasi *) 1= Uranium di posisi E-7 (Barat), 2 = Te O₂ di posisi E-7 (Utara) dan 3=Particulate udara di Rabbit Sistem.

Gambar 1. konfigurasi teras dua puluh satu penuh + fasilitas iradiasi yang digunakan

LAMPIRAN 2



Gambar 2. Kapsul iradiasi Topaz