

## STUDI AWAL PENGKAJIAN INTEGRITAS ELEMEN BAKAR REAKTOR RSG-GAS

A. Soejocdi, Alim Tarigan, Saiful Sujalmo, Sapto Prayoga, Suhadi  
Pusat Reaktor Serba Guna

### ABSTRAK

Studi Awal Pengkajian Integritas Elemen Bakar Reaktor RSG-GAS. Selama 8 tahun operasi RSG-GAS telah tercapai 15 siklus operasi reaktor dengan jumlah elemen bakar teriradiasi sebanyak 116 buah, yaitu 49 buah bahan bakar produksi NUKEM dan 67 buah bahan bakar produksi PEBN BATAN. Pada operasi reaktor teras XV, konfigurasi teras tersusun keseluruhannya atas bahan bakar reaktor produksi PEBN BATAN, yaitu 40 elemen bakar standar dan 8 elemen kendali. Beberapa kegiatan telah dilakukan untuk pengkajian integritas elemen bakar, antara lain: pemeriksaan visual dengan digunakan *under water camera* dan hasilnya direkam melalui *Video Cassette*, uji kualitas air primer selama operasi reaktor, pengujian sistem pendeteksi kegagalan elemen bakar (*Fuel Failure Detector=FFD*) dan membandingkan dengan hasil pemeriksaan pascairadiasi elemen bakar bekas di Instalasi Radio Metalurgi (IRM). Dari hasil pemeriksaan dan pemantauan selama irradiasi dan setelah diirradiasi, integritas elemen bakar masih dalam keadaan baik dan belum terlihat adanya produk fisi yang lepas ke pendingin primer.

### ABSTRACT

After 8 years of operation, RSG-GAS was able to reach 15 cycles of reactor operation with 116 irradiated fuels, whereas 49 fuels were produced by NUKEM, and the other 67 were produced by PEBN-BATAN. At the 15<sup>th</sup> cycles, it have been used 40 standard fuels and 8 control fuels (Forty standard fuels and eight control fuels have been used in the 15<sup>th</sup> core cycles). Several activities have been performed in the reactor, to investigate the fuel integrity, among of them are : fuel visual test with *under water camera*, which the results were recorded in the video cassette, primary water quality test during, reactor operation, fuel failure detector system examination and compared the PIE results in the Radiometallurgy Installation (RMI). The results showed that the fuel integrity, before and after irradiation, have still good performance and the fission products have not been released yet.

### PENDAHULUAN

Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) merupakan reaktor riset dengan daya nominal 30 MW, tipe kolam, menggunakan bahan bakar tipe MTR dengan pengkayaan 19.75 %. Susunan teras reaktor pada kondisi teras penuh terdiri dari 40 elemen bakar dan 8 elemen kendali. Setiap elemen bakar terdiri dari 21 pelat elemen bakar dan 15 pelat elemen bakar pada setiap elemen kendali. Bahan kelongsong bahan bakar terbuat dari paduan Aluminium, yaitu AlMg2.

Dari awal operasi reaktor teras I, yaitu mulai tanggal 20 Agustus 1987 sampai dengan bulan September 1995 RSG-GAS telah beroperasi sebanyak 15 siklus. Bahan bakar nuklir yang telah teriradiasi sudah berjumlah 116 buah bahan bakar. Dengan rincian 49 buah bahan bakar buatan NUKEM dan 67 buah bahan bakar buatan BPEBRR-PEBN.

Integritas bahan bakar yang tetap terjaga dalam reaktor akan menjamin operasi reaktor tetap selamat dan handal. Hal ini dapat terjaga karena bahan bakar produksi BPEBRR - PEBN yang selama ini dipakai di RSG-GAS diproduksi melalui proses uji kualitas yang sangat ketat,

pengangkutan yang benar dan tahap operasi yang selalu mengikuti prosedur yang benar dengan memperhatikan batasan-batasan disain yang ditentukan bagi keutuhan integritas bahan bakar di reaktor.

Pengamatan visual bahan bakar dilakukan setiap selesai operasi reaktor dengan menggunakan *under water camera* dan pengujian kualitas air primer di laboratorium kimia air PRSG juga dilakukan secara kontinyu untuk mengantisipasi timbulnya kelainan pada bahan bakar nuklir yang sedini mungkin. Sejak tahun 1993 di RSG-GAS telah dipasang sistem deteksi kegagalan bahan bakar (*Fuel Failure Detector System=FFDS*). Sistem FFD tersebut baru optimal digunakan pada akhir 1995 ini. Sistem pencuplik dengan metode *Sipping* juga telah dipasang di RSG-GAS dan berfungsi sebagai sistem pengambil cuplikan air primer dari bahan bakar yang dicurigai cacat.

### SEJARAH PEMAKAIAN BAHAN BAKAR DI RSG-GAS

Dari kekritisitas awal tanggal 20 Agustus 1987 sampai dengan awal operasi teras XVI pada tanggal 18 September 1995, telah ada sejarah

pemakaian bahan bakar nuklir tersendiri di RSG-GAS. Pada awal operasi teras pertama sampai dengan akhir operasi teras III, seluruh bahan bakar yang teriradiasi adalah buatan NUKEM. Baru pada operasi teras IV yang dimulai tanggal 1 Januari 1990, uji coba pemakaian bahan bakar tipe Silisida dan Oksida buatan BPEBRR-PEBN dilakukan sebagai penyusun operasi teras IV.

Setelah RSG-GAS beroperasi selama 6 siklus, mulai terdapat bahan bakar berstatus bahan bakar bekas (Burn-up maksimum) serta tercapainya konfigurasi teras penuh (Gambar 1). Bahan bakar buatan BPEBRR-PEBN dengan lisensi NUKEM untuk pertama kali digunakan sebagai penyusun konfigurasi teras pada operasi teras VII. Hal tersebut terus berlangsung hingga siklus operasi teras terakhir, yaitu teras XVI yang dimulai tanggal 18 September 1995. Gambaran pemakaian bahan bakar buatan NUKEM dan BPEBRR-PEBN dari siklus operasi teras I sampai dengan siklus operasi teras XVI secara garis besar dapat terbaca pada Gambar 2. Dari Gambar 2 tersebut dapat terbaca bahwa mulai pertengahan tahun 1992, operasi teras RSG-GAS sangat tergantung pada pasokan dari BPEBRR-PEBN.

#### INTEGRITAS BAHAN BAKAR NUKLIR BESERTA KAJIANNYA

Dalam suatu reaktor nuklir, bahan bakar nuklir mempunyai nilai yang sangat strategis sekaligus diperlukan kecermatan yang tinggi oleh pihak pemakai, yaitu mencegah terjadinya kemungkinan adanya kerusakan struktur bahan bakar nuklir akibat proses fisi. Kerusakan struktur dapat berupa korosi dan pelepuhan pada kelongsong, keretakan dan *blister* ataupun *swelling* pada bahan bakar. Sebab kerusakan iradiasi yang bersifat kecil atau tipis sekalipun dapat mengganggu jalannya operasi reaktor maupun personal. Pelepasan produk fisi dapat terjadi akibat hal tersebut di atas.

Untuk menjaga bahan bakar agar tetap dalam kondisi baik dan utuh maka sejak dari tahap analisis disain sampai dengan tahap pascairadiasi, bahan bakar harus tetap pada batasan-batasan yang ditentukan. Seperti pada reaktor-reaktor riset lain di negara maju, di RSG-GAS penanganan bahan bakar nuklir secara sistematis dan terinci telah dicantumkan pada Analisa Keselamatan Reaktor serta sistem pengelolaan bahan bakar nuklir tingkat RSG-GAS. Beberapa sistem penanganan yang diterapkan dan dilakukan, meliputi :

a. Pengamatan visual bahan bakar dengan menggunakan teropong atau peralatan *Under water camera*. Sistem pengamatan tersebut

dilakukan setelah operasi reaktor berlangsung dan setelah *shutdown* untuk beberapa hari. Pelaksanaannya dilakukan di dalam Kolam penyimpanan bahan bakar bekas.

- b. Pengujian kualitas air primer, yaitu hasil uji cuplikan di laboratorium kimia air dibandingkan dengan harga batasan disain, yang terdapat pada SAR RSG-GAS Rev. 7.
- c. Pencuplikan cuplikan air primer dengan metoda *sipping*. Pengujian ini ditujukan jika ditemukan atau dicurigai adanya kebocoran pada bahan bakar nuklir di kolam reaktor.
- d. Sistem pemantauan bahan bakar selama operasi reaktor selang berlangsung pada daya tinggi, yaitu dengan menggunakan sistem pendeteksi kegagalan bahan bakar (*Fuel Failure Detector System=FFDS*). Sistem ini memakai prinsip kerja pemantauan secara kontinyu neutron kasipt dari produk fisi pada sistem primer yang timbul dari impuriti bahan bakar, dengan menggunakan 2 detektor He-3 yang dipasang pada bagian hisap pendingin primer dekat pompa primer.

Di dalam makalah ini, hasil pengujian elemen bakar pasca iradiasi oleh tim Instalasi Radiometalurgi (IRM) secara garis besar ditampilkan. Hal tersebut dipakai sebagai pembandingan dan gambaran yang lebih jelas dalam upaya pihak PRSG maupun PEBN memperoleh data tentang kelayakan pemakaian bahan bakar di reaktor. Terutama mengenai integritas bahan bakar buatan NUKEM atau BPEBRR-PEBN dalam reaktor.

#### HASIL PENGAMATAN DAN PENGUJIAN

Dari data pengamatan dan pengujian bahan bakar di reaktor maupun data penelitian masalah terkait di RSG-GAS, diperoleh hasil pengkajian sebagai berikut :

- a. Laboratorium kimia air RSG-GAS secara berkala melakukan analisis terhadap kualitas air pendingin primer RSG-GAS. Hasil pemantauan dan pengujian menunjukkan kualitas air pendingin masih di bawah harga batasan disain yang dite-tapkan. Sebagai contoh hasil, dapat terbaca pada Tabel 1.

Tabel 1. Uji Kualitas Air Primer RSG-GAS  
pada daya operasi 23 MW

Nama Radio-nuklida	Aktivitas Terukur ( $\times 10^{-4}$ Ci/m <sup>3</sup> )	Aktivitas Standar ( $\times 10^{-4}$ Ci/m <sup>3</sup> )
Te - 132	0.1384	1.3900
Sb - 125	0.0148	$2.43 \times 10^{-5}$
I - 132	0.0583	18.3000
Xe - 135	0.1791	71.8000

Data tanggal 23 Agustus 1993

- b. Pengamatan visual yang sudah secara berkala berlangsung, memberikan petunjuk masih adanya beberapa bahan bakar yang perlu dipantau. Hal tersebut akibat indikasi terdapat beberapa goresan ataupun tebalan hitam pada pelat terluar elemen bakar yang teramati. Dari pengamatan visual terhadap pelat terluar elemen bakar teriradiasi, dapat diambil petunjuk bahwa elemen bakar buatan NUKEM keratannya masih pada kondisi baik dibanding elemen bakar buatan BPEBRR-PEBN. Hasil ini belum menjamin benar sebab harus dibuktikan dahulu lewat beberapa pengujian di IRM secara lebih lanjut.
- c. Sistem FFDS di RSG-GAS telah dipasang dan mulai pengujian tahap akhir, untuk selanjutnya dapat difungsikan sebagai sistem pemantauan kemungkinan terjadi kegagalan bahan bakar selama operasi reaktor berlangsung pada daya tinggi. Sistem FFDS ini diharapkan berfungsi baik, seperti halnya di reaktor JRR-2,3 dan 4 di Jepang. Pada ketiga reaktor tersebut FFDS sudah terbukti keandalannya untuk memantau integritas bahan bakar secara akurat. Prinsip kerja FFDS berdasarkan pada deteksi unjuk kerja neutron lambat. Pendeteksian dilakukan dengan mengamati neutron lambat dari produk fisi, seperti N-17, I-137, Br-87 dan Br-88 pada sistem pendingin primer. Lokasi detektor ditentukan waktu transit dari pendingin dari teras reaktor keluar menuju bagian hisap aliran primer, yaitu sekitar 50 detik. FFDS sangat peka untuk mendeteksi kegagalan yang sangat kecil di bahan bakar. Pada bulan Agustus 1995 telah dilakukan perbaikan FFDS RSG-GAS. Hasilnya menunjukkan bahwa indikasi FFDS berfungsi baik pada daya operasi 23 MW. Laju cacah latar belakang menunjukkan 14 cps. Sehingga apabila pada suatu operasi reaktor menunjukkan laju cacah FFDS lebih besar dari 14 cps berarti dapat dicurigai ada bahan bakar nuklir di teras yang cacat. Lokasi FFDS di RSG-GAS dapat terbaca pada Gambar 3. terlampir. Diagram instrumentasi FFDS dan contoh analisis air pendingin primer dapat terbaca pada Gambar 4 dan 5 terlampir.
- d. Sistem pencuplik air primer dengan metoda *sipping* di RSG-GAS telah tersedia, alat pencuplik ini akan menyedot air cuplikan yang berasal dari bahan bakar yang dicurigai cacat dan selanjutnya air cuplikan tersebut akan dianalisis dengan menggunakan MCA (Gambar 4 dan 5). Sistem identifikasi produk fisi yang terlepas dari bahan bakar cacat

dengan metode *sipping* ini dapat diterapkan pada bahan bakar bekas di kolam bahan bakar bekas. Model alat ini dapat terlihat pada Gambar 6 dan 7 terlampir. Pengamatan dan pengujian elemen bakar pasca iradiasi juga telah dilakukan di IRM dan program tersebut terus berlanjut.

Sekitar bulan Oktober 1995 ini pula pihak PEBN beserta koleganya merencanakan suatu uji korosi pada bagian kelongsong dari pada bahan bakar bekas dalam air. Sedangkan pada pertengahan tahun 1993 baru lalu, tim IRM telah melakukan uji tak merusak atau merusak terhadap elemen bakar bekas buatan NUKEM, yaitu FERI-19. Dilanjutkan pengujian terhadap elemen bakar buatan BPEBRR-PEBN, yaitu FERI-SIE2 dan FERI-E01. Pemeriksaan dan pengujian meliputi pengamatan visual, ketebalan dan uji metalografik dengan SEM. Dari hasil uji menunjukkan adanya pembentukan lapisan oksida pada permukaan pelat, serta terjadi *bubbles* pada butir-butir bahan bakarnya yang disebabkan oleh deposisi gas hasil fisi. Hasil perolehan tersebut masih di bawah batas-batas yang diijinkan sesuai desain. Hasil selengkapnya dapat dipelajari pada makalah "Pemeriksaan Pascairadiasi Elemen Bakar Bekas RSG-GAS", yang disusun oleh H. Nasution dan A. Suropto, disajikan pada seminar pengembangan kemitraan antar lembaga melalui IPTEK Nuklir di Bandung bulan Maret 1995.

#### EVALUASI HASIL PENGUJIAN

Dengan semakin banyaknya elemen bakar teriradiasi dan semakin teraturnya jadwal operasi RSG-GAS maka sistem pengelolaan bahan bakar perlu dioptimalkan. Langkah pengamatan dan pengujian terhadap bahan bakar sampai saat ini adalah baik. Pembinaan terhadap sistem tersebut akan terus dimantapkan serta diakurasi lagi. Hasil pengelolaan dan pemantauan terhadap integritas bahan bakar yang ada di RSG-GAS sampai saat ini masih terkendali. Apalagi dengan telah diterapkannya FFDS dan sistem pencuplik air primer dengan metode *sipping* maka integritas bahan bakar di RSG-GAS akan lebih terjamin lagi dari aspek keselamatan dan keamanannya.

Hasil evaluasi pengujian dan pengamatan tahap lanjut terhadap bahan bakar bekas pascairadiasi RSG-GAS oleh Tim IRM, akan sangat membantu sekali bagi sistem operasi dan pengelolaan bahan bakar RSG-GAS.

#### SIMPULAN

Pengamatan dan pengujian yang bersifat kontinyu sangat diperlukan sekali bagi

pemonitoran bahan bakar RSG-GAS. Kegagalan bahan bakar yang berskala sangat kecil dapat mengganggu jalannya operasi reaktor dan personal. Untuk mengurangi sekecil mungkin timbulnya bahan bakar yang cacat di RSG-GAS maka FFDS dan sistem uji metode *sipping* akan membantu sekali terhadap sistem operasi dan pengelolaan bahan bakar RSG-GAS secara keseluruhan. FFDS RSG-GAS akan bekerja dengan baik pada operasi daya tinggi, dengan laju cacah latar belakang adalah 14 cps. Kajian yang lebih teliti dan terpadu sangat dibutuhkan untuk tetap tercapainya integritas bahan bakar selama waktu masa hidup reaktor. Pengamatan visual terhadap bahan bakar dengan peralatan *under water camera* ditambah dengan sistem rekaman video dan teropong masih perlu dilanjutkan.

## TANYA JAWAB

### 1. TUKIRAN

- Berapa jumlah bahan bakar yang telah mengalami iradiasi dan berapa jumlah bahan bakar bekas yang telah mencapai burn-up hingga 56 % selama RSG-GAS beroperasi sampai teras XIX (19 siklus)
- Mohon dijelaskan apa indikasi yang terlihat pada camera dan bagaimana mengulanginya, apabila terjadi kegagalan pada bahan bakar ?

### AGOES SOEJOEDI

- Jumlah elemen bakar yang telah mengalami iradiasi dan mencapai burn-up hingga 56 % sampai teras XIX, informasi tersebut dapat

diperoleh melalui data yang berada di BFR-RSG-GAS.

- Untuk menanggulangnya dapat dilakukan dengan metode FTB atau melakukan pengujian kulaitas air, dan bukan dengan metode *under water camera*

### 2. KUSUMA DEWI

- Sampai sejauh ini manakemampuan alat uji integritas itu mendeteksi kegagalan EB ? Apakah mampu mendeteksi adanya retak kecil (micro crack) & swelling ?

### AGOES SOEJOEDI

- Sudah mencapai uji awal, pemasangan sistem
- Kecurigaan awal adanya cacat EB teriadasi yang dapat dilaporkan, data aktivitas dari EB terduga cacat dapat dilaporkan juga

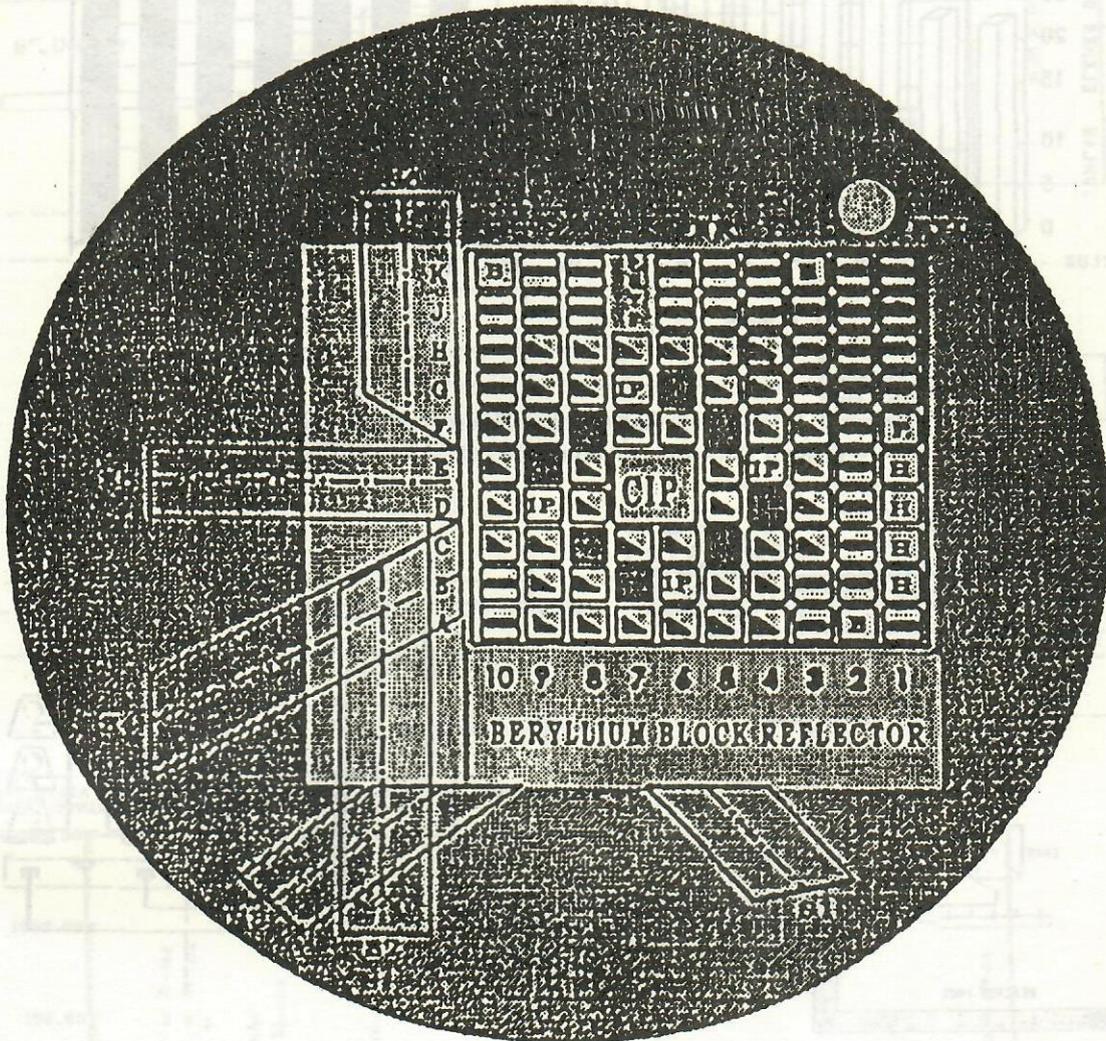
### 3. SOEDARJO

- Masalah deviasi secara visual di media air dengan *under water camera*, apakah ada ?
- Apakah efek cerenkov tidak ada dampaknya terhadap cuplikan dengan *under water camera*, sehingga data yang didapat tidak akurat
- Apakah data kondisi air primer yang tidak standar dapat mengganggu pengambilan gambar yang asli ?

### AGOES SOEJOEDI

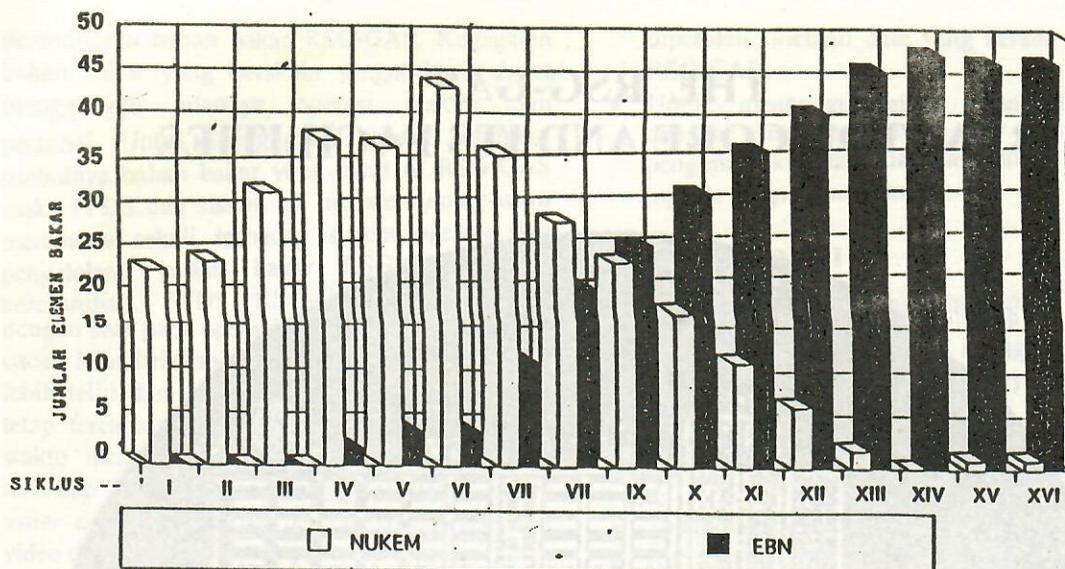
- Masalah deviasi adanya efek cerenkov tidak ada, masalah hanya plat terluar elemen bakar yang di rekam/dilihat
- Tidak ada

## THE RSG-GAS REACTOR CORE AND ITS FACILITIES

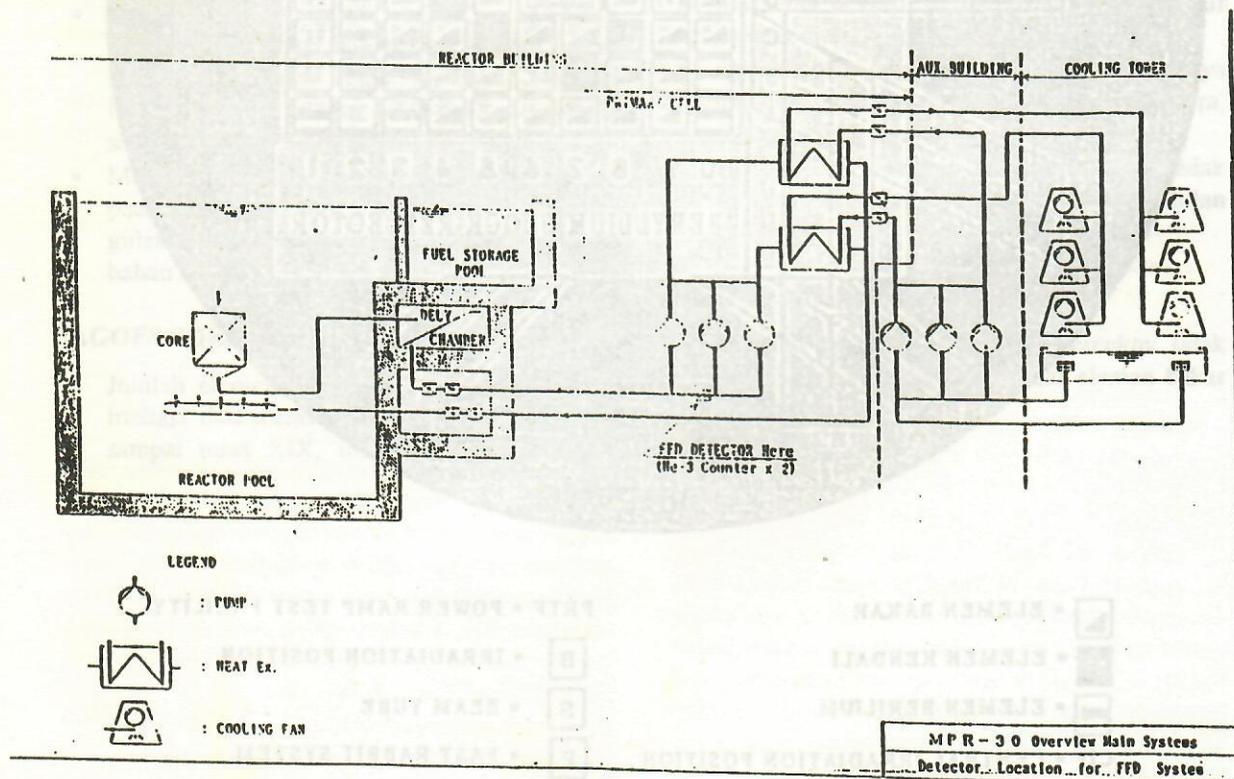


- |   |  |
|---|--|
|  = ELEMEN BAKAR    | PRTF = POWER RAMP TEST FACILITY  |
|  = ELEMEN KENDALI  |  = IRRADIATION POSITION |
|  = ELEMEN BERILIUM |  = BEAM TUBE            |
| CIP = CENTRAL IRRADIATION POSITION  |  = FAST RABBIT SYSTEM   |
| IP = IRRADIATION POSITION   |  = NORMAL RABBIT SYSTEM |
| NR = NEUTRON RADIOGRAPHY  |  |
| NTD = NEUTRON TRANSMUTATION DOPING FACILITY   |  |

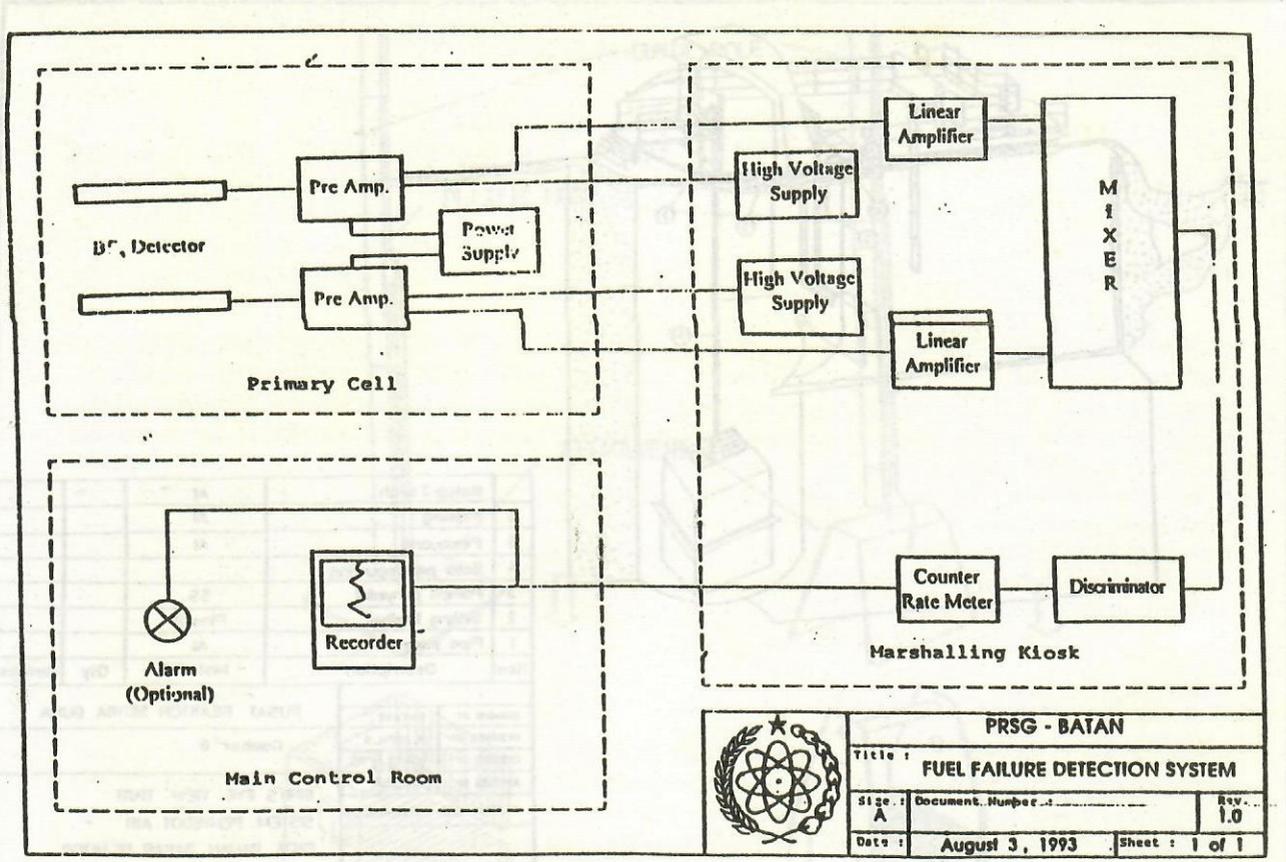
Gambar 1. Konfigurasi Teras Penuh



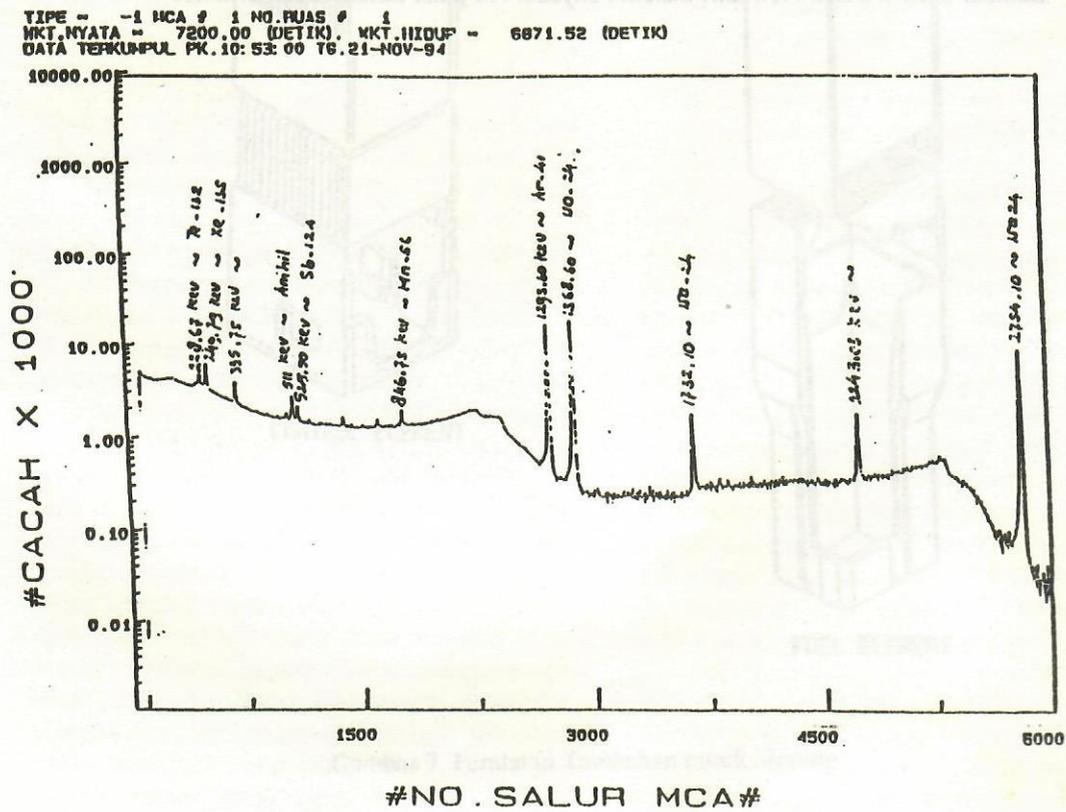
Gambar 2. Sejarah Pemakaian Bahan Bakar Nuklir di RSG-GAS (Tahun 1987-1995) Produksi NUKEM dan PEBN



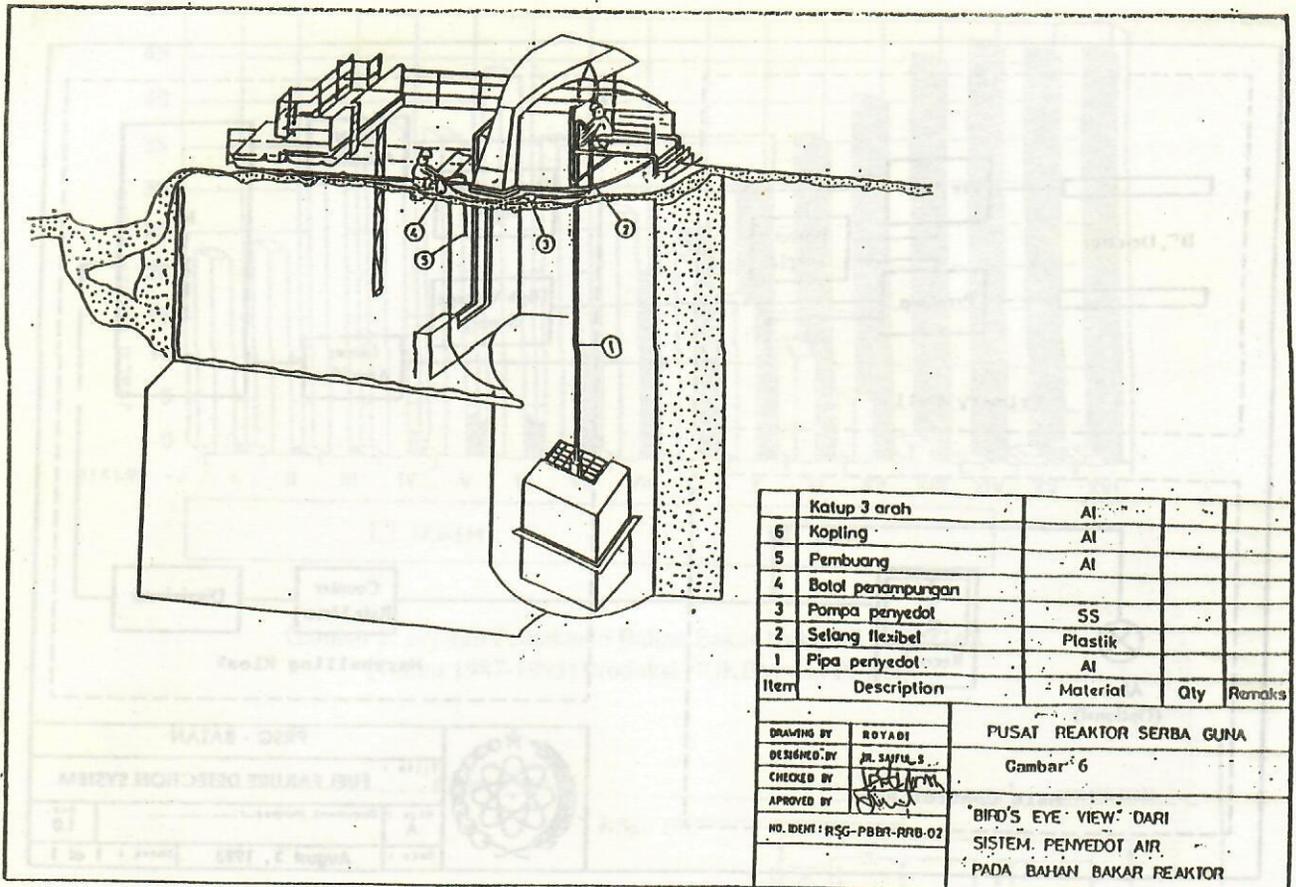
Gambar 3. Lokasi FFDS



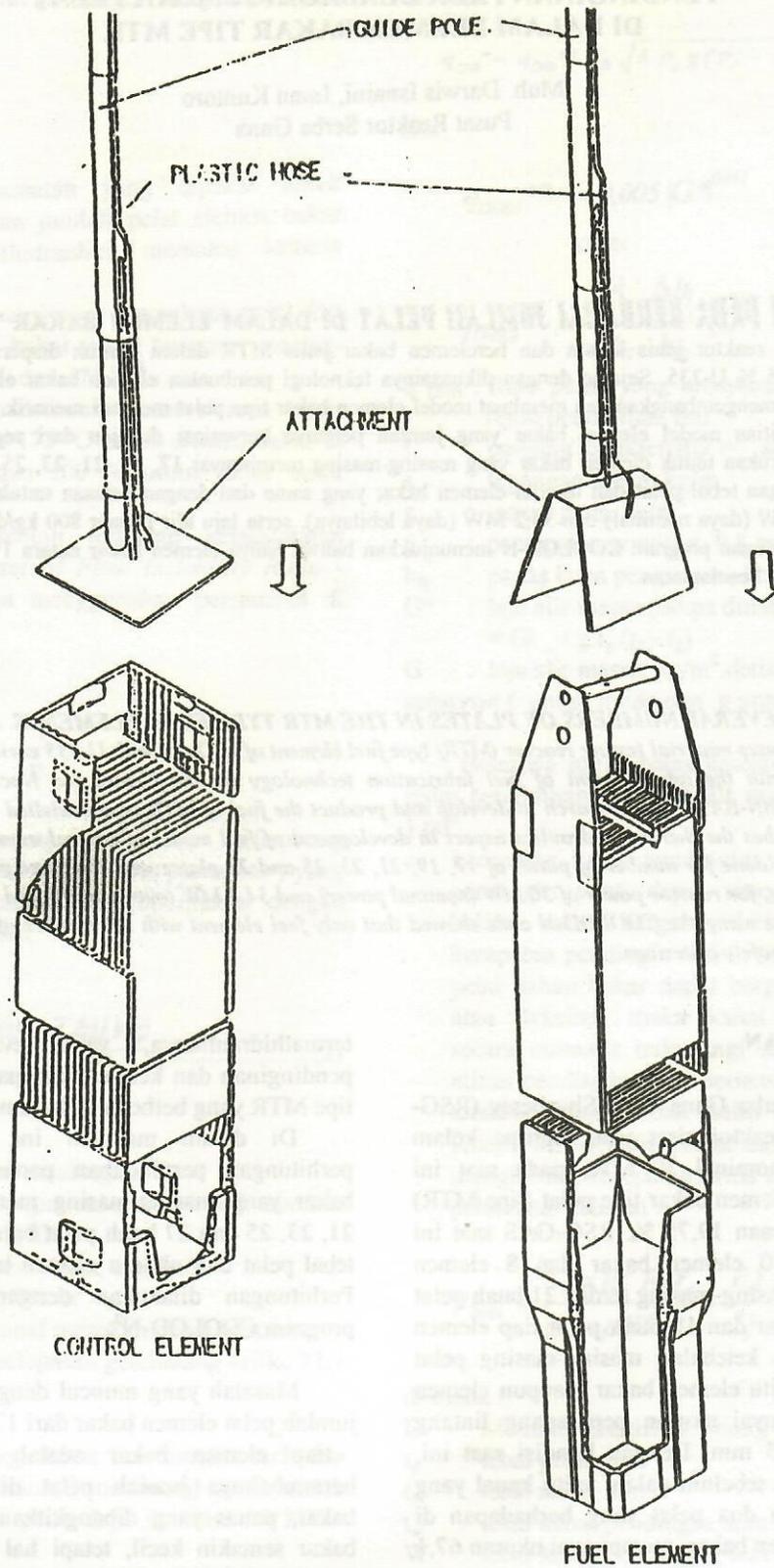
Gambar 4. Sistem FFD



Gambar 5. Contoh Hasil FFDS



Gambar 6. Bird's Eye View dari Sistem Penyedot Air pada Bahan Bakar Reaktor



Gambar 7. Peralatan Tambahan untuk *Shipping*