

## PERKEMBANGAN SISTEM MONITOR NEUTRON PADA REAKTOR AIR DIDIH (BWR)

Arlinah Kusnowo \*, Sigit Asmara Santa \*\*, As Natio Lasman \*

\* Pusat Reaktor Serba Guna - BATAN

\*\* Pusat Produksi Radioisotop - BATAN

### ABSTRAK

**PERKEMBANGAN SISTEM MONITOR NEUTRON PADA REAKTOR AIR DIDIH (BWR).** Perkembangan sistem monitor neutron pada reaktor air didih telah mengalami perubahan yang cukup berarti. Meskipun fungsi sistem tidak mengalami perubahan, namun telah terjadi perubahan desain sistem monitor neutron dari BWR konvensional hingga ke BWR tipe maju. Perubahan ini mengakibatkan sistem keselamatan menjadi lebih baik dan lebih memudahkan dalam pengoperasiannya.

### ABSTRACT

**THE DEVELOPMENT OF BOILING WATER REACTOR (BWR) NEUTRON MONITORING SYSTEM.** The development of BWR neutron monitoring system has been significantly. There an evolution of neutron monitoring system design from conventional BWR into the advanced types of BWR, although the function of the system has not changed. The evolution has made the safety system better and the reactor operation simpler.

### PENDAHULUAN

Salah satu reaktor yang banyak digunakan di dunia saat ini ada-lah reaktor air didih (Boiling Water Reactor). Reaktor ini mempu-nyai satu untai uap. Uap tersebut dihasilkan langsung karena pema-nasan air oleh teras reaktor, akibat terjadinya reaksi pembelahan.

Sepanjang tingkat daya operasinya suatu reaktor membutuhkan alat untuk mengendalikan dirinya. Yaitu mulai dari tingkat daya rendah, daya menengah, sampai tingkat daya nominal. Untuk itu semua perlu dimiliki sistem kendali yang baik.

Agar supaya pengendalian ini dapat dilakukan dengan baik, per-lu diperoleh informasi keadaan teras reaktor melalui penggunaan instrumentasi maupun detektor yang memadai. Informasi yang diper-lukan oleh seorang operator misalnya, harus tahu tingkat fluks neu-tron pada

teras, tingkat perubahan reaktivitas, daya yang dibang-kitkan dan informasi yang lebih rinci mengenai suhu teras.

Tingkat daya, reaktivitas dan suhu reaktor keberadaannya di-timbulkan karena proses pembelahan, yang setara dengan fluks neu-tron di dalam teras. Oleh karena itu sistem pemantauan neutron sangat perlu diperhatikan. Untuk memonitor fluks neutron secara terus menerus, perlu instrumentasi yang diletakkan pada tempat yang tetap.

Desain sistem monitor neutron pada BWR konvensional sampai BWR maju telah menampakkan perkembangannya, meskipun fungsi sistem ti-dak mengalami perubahan. Pada BWR konvensional masih terdapat tiga kategori monitor neutron yaitu Source Range Monitor

(SRM), Intermediate Range Monitor (IRM) dan Power Range Monitor (PRM). Sedangkan ABWR dan SBWR tidak lagi menggunakan IRM. Karena dapat menimbulkan gangguan saat operasi reaktor. Bahkan SBWR menambahkan gamma termometer pada sistem PRMnya. Perubahan ini menyederhanakan sistem tersebut<sup>[4]</sup>.

#### DESKRIPSI TEKNIS BWR KONVENSIONAL, ABWR DAN SBWR

Semua reaktor BWR yang beroperasi, kecuali BWR1 menggunakan aliran paksa. BWR1 berkembang lebih lanjut menjadi BWR2 sampai dengan BWR6 dan disebut BWR konvensional. Generasi selanjutnya adalah ABWR dan kini dirancang apa yang disebut sebagai SBWR. Perubahan yang tampak antara lain ada pada luaran listrik, pancung-an per tahun, faktor perolehan, kemungkinan teras rusak per tahun, paparan operasional dan jumlah limbah per tahun. Sistem keselamatan juga berubah demikian pula

sistem kendali dan sistem monitor neutron. Perkembangan sistem monitor neutron akan dibahas lebih rinci pada bab selanjutnya.

Pada tabel 1 ditampilkan perbedaan yang penting dari BWR konvensional, ABWR sampai dengan SBWR terutama yang berkaitan dengan sistem monitor neutron. Seperti diketahui bahwa jenis BWR yang beroperasi saat ini adalah jenis konvensional. Jenis ABWR, yaitu KASHIWASAKI 6,7 direncanakan beroperasi pada tahun 1996 dan 1997. Status SBWR adalah sertifikasi pada tahun 1995. Selain parameter pada tabel 1 diatas terjadi evolusi pada penyungkup BWR dan gedung reaktornya. Tujuan yang ingin dicapai dalam perkembangan teknologi BWR adalah antara lain perbaikan kemampuan operasi, perbaikan faktor kapasitas, peningkatan keselamatan, pengurangan dosis operasional dan penurunan biaya konstruksi, perawatan, operasi dan daur bahan bakar. Pengembangan Sistem monitor neutron mendukung kemampuan operasi dan peningkatan keselamatan.

Tabel 1. Karakteristik BWR konvensional, ABWR dan SBWR<sup>[7]</sup>

	BWR2-BWR6	ABWR	SBWR
LUARAN (MWe)	600-1300	1300	
INSTRUMENTASI	ANALOG	DIGITAL	DIGITAL
SISTEM KABEL	HARDWIRED	MULTIPLEXED	MULTIPLEXED
SISTIM KESELAMATAN	AKTIP	AKTIP	PASIP
JENIS SUMBER NEUTRON	Sb-Be	Sb-Be	Sb-Be
JUMLAH SUMBER NEUTRON	7	5	5
JUMLAH SRM	4	-	-
JUMLAH IRM	8	-	-
JUMLAH SRNM	-	10	8
JUMLAH LPRM RAKITAN	44	52	21
JUMLAH LPRM DETEKTOR TIAP RAKITAN	4	4	4
JUMLAH SELURUH LPRM DETEKTOR	176	208	84
JUMLAH APRM	8	4	4
JUMLAH PENETRASI INSTRUMENTASI NUKLIR	58	62	29

## SISTEM MONITOR NEUTRON

Pada keadaan normal suatu reaktor dapat beroperasi di tingkat daya yang berbeda, yaitu start up, operasi daya tetap dan shut down. Pada setiap tingkat daya diperlukan instrumen khusus untuk menunjukkan tingkat daya pada setiap saat guna memungkinkan keselamatan pengendalian.

Fluks neutron pada setiap titik reaktor sebanding dengan kecepatan proses pembelahan, karenanya sebanding pula dengan daya di daerah dimana fluks neutron tersebut diukur. Karena instrumen dapat dibuat bereaksi secara cepat terhadap perubahan fluks, maka ia dapat menampilkan secara visual dan serentak adanya variasi daya lokal.

Untuk mendukung keselamatan operasi perlu diketahui besarnya fluks neutron atau jumlah pembelahan di sepanjang interval yang besar. Sebagai contoh untuk suatu BWR dari kondisi start up sampai daya penuh maka besar fluks neutron dapat berkisar antara  $10^5$  sampai  $10^{14}$  dan ini berarti suatu selang  $10^9$ . Kondisi ini harus dicakup oleh instrumen yang tergabung dalam sistem monitor neutron (SMN).

SMN pada dasarnya terdiri dari sumber neutron, detektor, kabel penyambung dan unit pembaca jumlah neutron. Mengapa sumber neutron diperlukan<sup>[9]</sup> hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Pada reaktor dengan bahan bakar uranium alam (BWR menggunakan sekitar 15% uranium alam), akan terjadi pembelahan spontan oleh U-238 dan dapat diharapkan sekitar 20 n/cm<sup>2</sup>-detik timbul pada pusat teras reaktor<sup>[11]</sup>. Jika dipasang instrumen dipinggir teras dimana fluks neutron diharapkan sebesar 2n/cm<sup>2</sup> det, maka hal ini masih mungkin dideteksi. Tetapi pada umumnya, instrumen dipasang jauh dari teras dimana fluks neutron sangat rendah, jauh dari kemampuan deteksi dari instrumen tersebut. Oleh

sebab itu diperlukan sumber neutron tambahan. Satu hal lagi yang perlu diperhatikan adalah pengaruh sinar gamma. Pada saat shutdown jumlah  $\gamma$  cukup besar untuk bersaing dengan jumlah neutron ditempat tersebut. Ada instrumen yang sangat peka terhadap sinar gamma. Pada saat start up sinar gamma ini bahkan mengalahkan pengaruh neutron yang jumlahnya telah bertambah akibat kenaikan batang kendali. Kondisi ini disebut "blind" start up yang pada dasarnya tidak dikehendaki ketika kita mengoperasikan reaktor. Untuk mengatasi hal ini digunakan sumber neutron tambahan. Umumnya sumber neutron pada reaktor daya besarnya sekitar  $10^8 - 10^9$  neutron/detik.

## DESKRIPSI SMN PADA BWR<sup>[3,6]</sup>

Pada BWR ada dua fungsi SMN. Pertama yang berhubungan dengan keselamatan dan kedua, yang tidak berhubungan dengan keselamatan.

Tabel 2 menyatakan fungsi yang berhubungan dengan keselamatan reaktor, dan tabel 3 adalah merupakan fungsi yang tidak berhubungan dengan keselamatan reaktor (secara langsung)

## PERKEMBANGAN SISTEM MONITOR NEUTRON PADA BWR

Terjadi evolusi dari desain sistem monitor neutron pada BWR dari beberapa generasi yaitu mulai dari generasi BWR 2 sampai BWR 6 yang disebut sebagai BWR konvensional kemudian BWR 6 dan BWR 7 yang disebut sebagai BWR desain maju, selanjutnya SBWR sebagai desain yang saat ini sedang menunggu sertifikasinya. Gambar 1 menunjukkan terjadinya perubahan pada ketiga sistem tersebut. Pada BWR konvensional terdapat tiga jenis monitor yaitu SRM (source range monitor), IRM (intermediate monitor) dan PRM (power range monitor).

Tabel 2. Fungsi keselamatan SMN <sup>[6,5]</sup>

Fungsi	Keterangan
Menyediakan sinyal	<ul style="list-style-type: none"> <li>. fluks termal lokal</li> <li>. kecepatan perubahan fluks. (periode reaktor)</li> <li>. fluks rata-rata di suatu tempat.</li> <li>. panas rata-rata di suatu tempat.</li> </ul>
Pemberi informasi pada panel kendali.	<ul style="list-style-type: none"> <li>. tampilan (display)</li> <li>. trip</li> <li>. anunciator</li> </ul>
Pemberi informasi untuk RPS (Reactor Protection System).	<ul style="list-style-type: none"> <li>. trip</li> </ul>
Pemberi informasi untuk aktivasi trip ke SSLC (Safety System Logic and Control).	<ul style="list-style-type: none"> <li>. ATWS</li> <li>berdasar data di SRNM dan APRM.</li> </ul>
Monitor adanya osilasi	<ul style="list-style-type: none"> <li>. dilakukan oleh OPRM (Oscillation Power Range Monitor).</li> </ul>

Tabel 3. Fungsi non keselamatan SMN

Fungsi	Keterangan
Menyediakan data	indikator trip bagi PCS
Menyediakan data	Data trip yang diakibat-kan penarikan batang kendali bagi RC&IS.
Menyediakan data fluks neutron	instrumen kalibrasi fluks
	penentuan data daya teras bagi ATIP.
PCS = plant computer system. RC&IS= rod control and information system. ATIP = Automated traversingincore probe.	

Biasanya IRM ditarik dari teras bila telah tercapai daya rendah. SRM digunakan untuk melakukan proses kekritisan bersama dengan sumber neutron yang diperlukan. Langkah menuju daya berikutnya sampai tercapai daya nominal dilakukan oleh LPRM. Ada kelemahan dari sistem ini yaitu adanya proses penarikan keluar IRM dariteras, yang dapat mengganggu operasi reaktor karena dapat menyebabkan trip (pancungan). Kelemahan ini dihilangkan dengan tidak lagi memasang IRM pada BWR desain maju maupun SBWR<sup>[7]</sup>.

#### PEMANTAUAN NEUTRON DI BERBAGAI DAERAH KERJA

Tugas pemantauan neutron di berbagai daerah kerja dibedakan pada beberapa sub sistem yaitu Start up Range Neutron Monitoring (SRNM)

dan Power Range Neutron Monitoring (PRNM). Selanjutnya pemantauan di daerah start up, shutdown dan refuelling disebut sebagai Source Range Monitoring (SRM).

PRNM, meliputi daerah kerja 1% sampai 15% bersama-sama dengan SRNM, diatas daerah tersebut diliput oleh PRNM, yang dibedakan antara LPRM (Local Power Range Monitor) dan APRM (Average Power Range Monitor). Gambar 2 menunjukkan daerah operasi SRNM, LPRM dan APRM.

BWR dilengkapi pula dengan Automated Transversing Incore Probe (ATIP) dan bertugas membuat peta fluks neutron axial di lokasi LPRM. Pada gambar 3 disajikan konfigurasi teras dengan berbagai lokasi monitor yang digunakan, dan konfigurasi axial dari LPRM dalam teras disajikan

pada gambar 4. Gambar 3 menunjukkan bahwa pemantauan fluks neutron diseluruh teras cukup teliti. Jumlah detektor diseluruh teras mencapai 52<sup>[3]</sup> (untuk ABWR) rakitan dengan 4 detektor tunggal tiap rakitan. Pada gambar 3 juga terlihat adanya sumber neutron. Untuk BWR sumber neutron ini dipasang sebelum bahan bakar dimasukkan, dan digunakan pada saat start up siklus pertama. Pada akhir siklus pertama seluruh perangkat sumber neutron diambil dari teras. Bagaimana SRNM dan PRNM memberi catu sinyal pada unit kendali dan instrumentasi dapat dilihat pada gambar 5.

SRNM bertugas menyediakan informasi mengenai fluks neutron mulai "Source range" sampai "Intermediate range" (15% dari nilai nominal daya, gambar 2). Dengan alat itu ada masukan untuk proteksi dari teras terhadap adanya lonjakan daya yang tiba-tiba (power transient). Di daerah yang meliputi start up, shutdown dan refuelling digunakan SRM dan dilengkapi dengan sumber neutron, yang diperlukan untuk mencapai jumlah minimum neutron pada saat start up. Sumber neutron ini diangkat setelah siklus elemen bakar yang pertama diselesaikan.

SRM terdiri dari detektor (fission chamber) kabel, motor, catu daya, peralatan kendali, peralatan pembacaan. SRM bekerja untuk menyediakan informasi.

SRM menyediakan informasi mengenai fluks neutron pada teras selama proses start up, shutdown dan operasi daya rendah. Agar supaya proses kritikalitas dapat berlangsung selamat dan selanjutnya dilanjutkan dengan peningkatan daya, data dari SRM sangat perlu diperoleh dengan ketelitian yang cukup tinggi.

SRM meliputi detektor neutron, peralatan untuk menempatkan detektor dan peralatan pemroses sinyal. Detektor dimasukkan pada saat reaktor shutdown dan tetap disana sampai "intermediate range" dicapai sesudah start up. Selanjutnya detektor diangkat untuk memperkecil paparan dan memperpanjang umurnya.

SRM terdiri dari 4 saluran identik, masing-masing dengan satu detektor. Penempatan detektor-detektor ini dilakukan oleh operator dari ruang kendali. SRM memberikan sinyal ke RMCS (Reactor Manual Control System) untuk memblok penarikan batang kendali pada kondisi tertentu.

Jadi SRM menyediakan bagi operator suatu indikator fluks pada daya sangat rendah selama start up dan shutdown. Pada tingkat daya ini penambahan reaktivitas tidak boleh dilakukan tanpa operator me-ngetahui kedudukan fluks neutron. Jika sudah sampai pada intermed-iate range, informasi dapat diperoleh tanpa SRM. Sebagai tambahan, SRM akan menyediakan sinyal yang menghentikan penarikan batang kendali atau reaktor scram jika keadaan yang membahayakan terjadi.

Tabel 4. Fungsi SRM

Fungsi	Keterangan
o Monitoring kekritisian	o Data fluks o Periode
o Deteksi kondisi kemungkinan kerusakan elemen bakar.	o Mengirim sinyal untuk mencegah.
o monitoring fluks	o Refuelling
o memancing (scram) reaktor	o Initial loading tingkat fluks melebihi batas.
o monitor periode reaktor	o Mengirim alarm ke operator.

## KESIMPULAN

Secara bertahap sistem monitor neutron pada reaktor air didih (BWR) telah mengalami perubahan yakni lebih menyederhanakan permasalahan dengan tanpa mengabaikan sistem keselamatan reaktor dan tidak mengubah fungsi dari sistem sebelumnya. Sistem analog digantikan dengan digital, penggunaan hardwires digantikan dengan multi-plexed. Intermediate range monitor (IRM) tidak lagi digunakan pada

sistem BWR tipe maju, bahkan pada SBWR dilengkapi dengan gamma ter-mometer yakni pada sistem Power Range Monitor (PRM) nya, artinya bahwa monitor daya tidak hanya yang dihasilkan dari reaksi fisi saja namun lebih rinci dapat mengetahui yang dihasilkan karena pengaruh gamma. Dengan demikian evolusi sistem monitor neutron yang sedang berlangsung ini menjadi lebih besar peranannya bila ditinjau dari segi keselamatan dan operasi reaktor.

## DAFTAR PUSTAKA

- Gladstone& Endlund, Reactor engineering, Prentice Hall, 1970
2. J. Shaw, Reactor Operation, 1970.
  3. G.E. ABWR, SSAR 23A6100 Rev.1.
  4. Bengt Pershagen, Light water reactor safety, Pergamon Pers 1989.
  5. GE Reactor Operating Fundamental-komunikasi pribadi.
  6. Yoshiyuki Takano dkk, New Technology for BWR Power plant Control and Instrumentation, Hitachi review Vol.41 (1992) No.5.
  7. John P. Stapelton, Advanced for BWR's for the 1990's and beyond.  
PII Batan seminar on Nuclear Technology, Jakarta, Indonesia, July 15, 1992.

## DISKUSI

Pertanyaan : **Henky**

Dalam hal ini Ibu hanya membahas perkembangan monitor neutron untuk macam-macam pembangkit daya jenis BWR, padahal di Indonesia nantinya PLTN tidak hanya jenis BWR tersebut. Bagaimana perkembangan monitor neutron untuk PWR misalnya , apakah sama ?

Jawaban :

Dalam team STSK saya bertugas / bidang saya adalah BWR. Karenanya saya tidak membahas PWR ataupun PHWR.

2. Pertanyaan : **Bunawas**

Untuk monitor neutron di reaktor, sering terjadi adanya gangguan pada sistem kabel transmisinya , mengingat di reaktor daya ada  $\pm 208$  detektor. Apakah ada perkembangan dalam sistem kabel transmisinya, sehingga detektor selalu terjamin dapat memberikan informasi neutron untuk setiap assembly.

Jawaban :

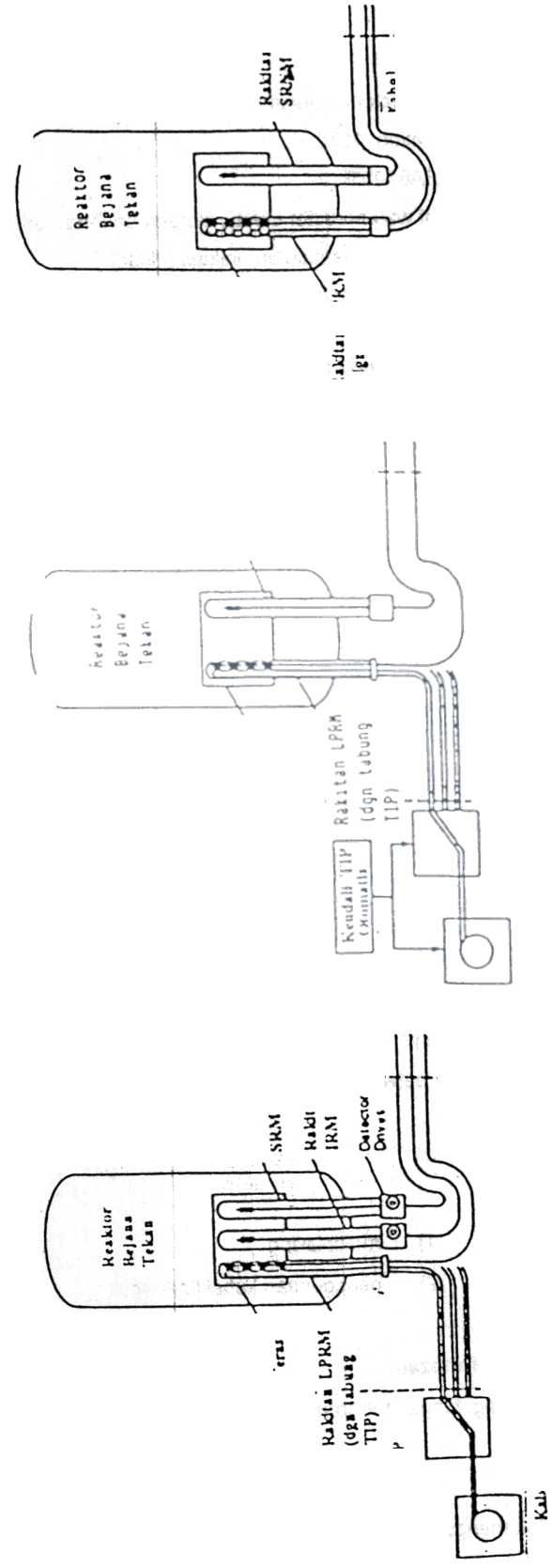
- Perkembangannya
- 1) multiplexing
  - 2) penggunaan kabel fiber optik

3. Pertanyaan : **Agus Taftazani**

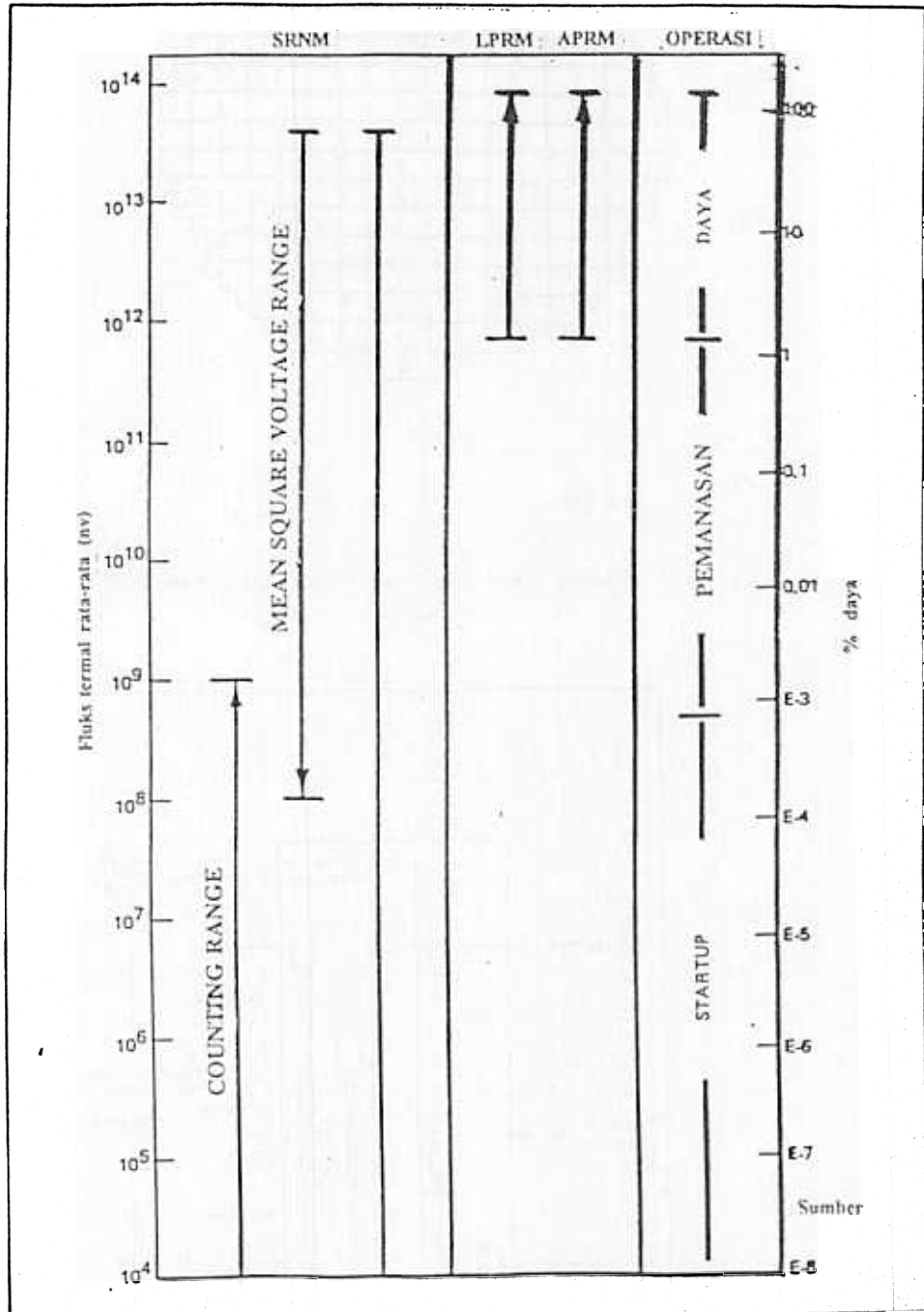
Mohon diperjelas lagi fungsi "termometer gamma" dalam sistem tersebut.

Jawaban

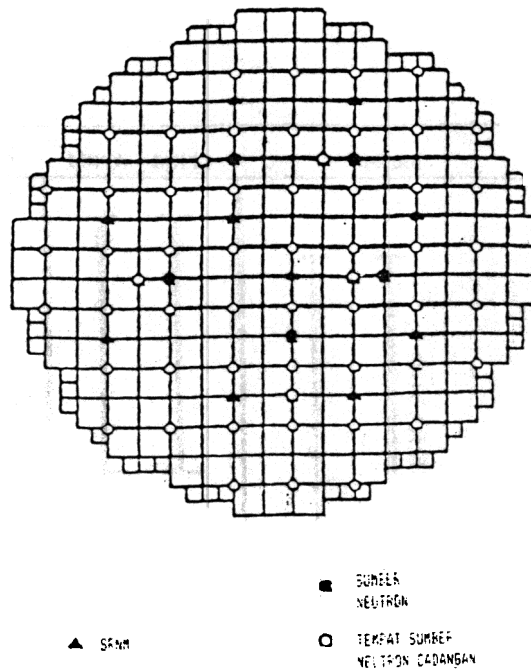
Fungsinya untuk mengukur pemanasan yang diakibatkan oleh berkas sinar gamma



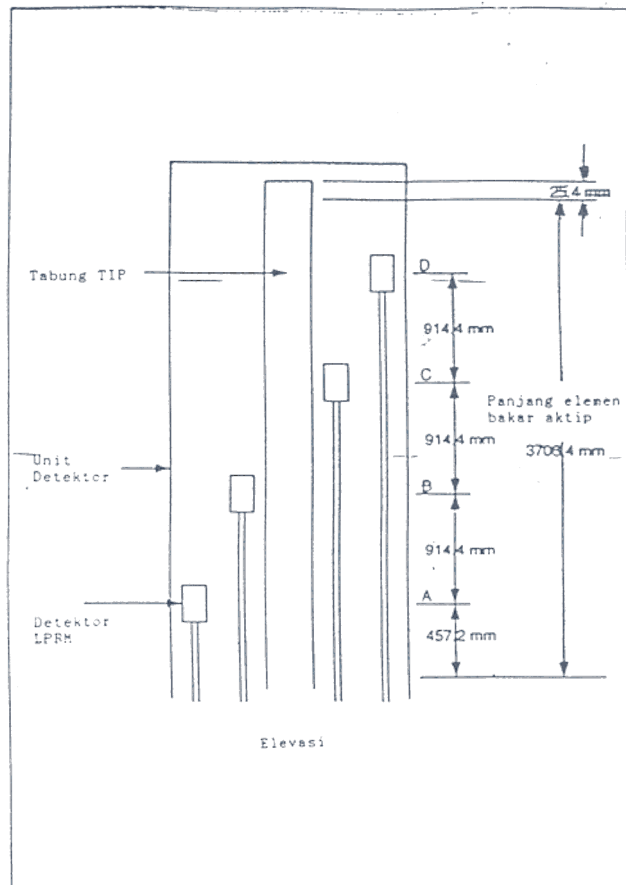




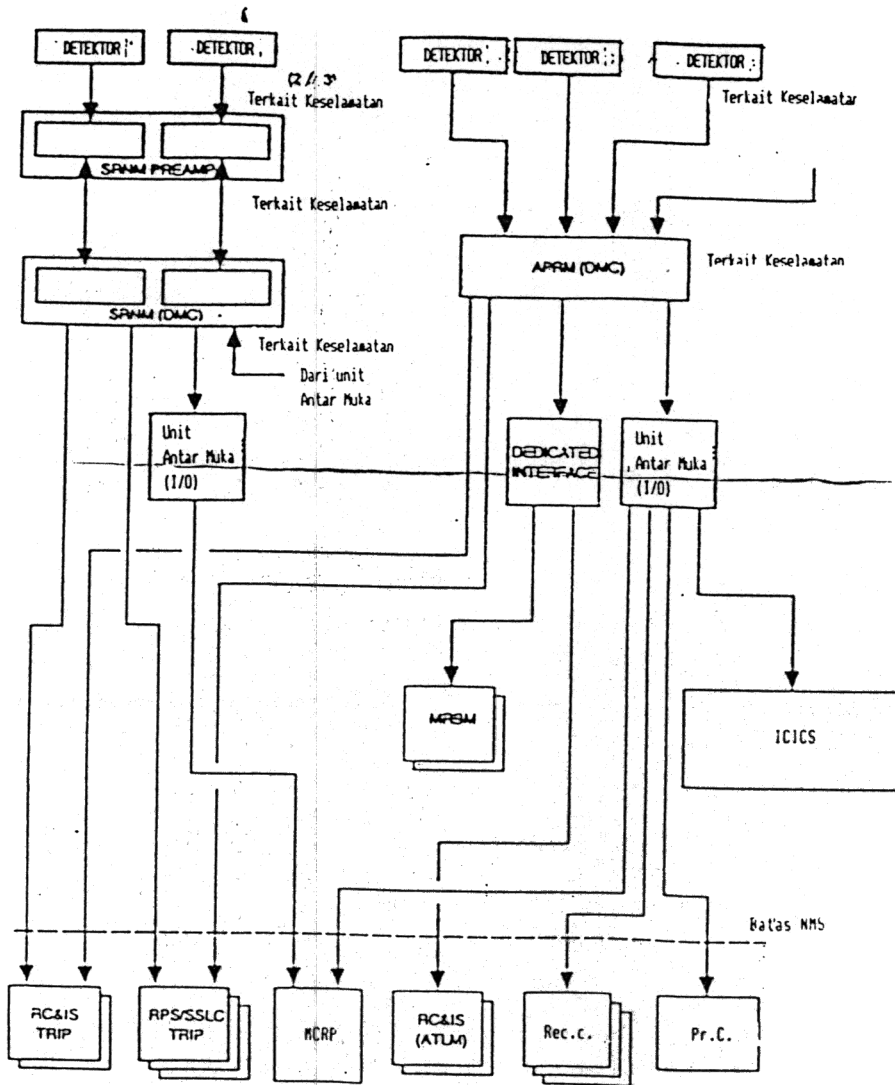
Gambar 2. Daerah Operasi SRNM, LPRM dan APRM



Gambar 3. Konfigurasi teras dengan berbagai lokasi monitor



Gambar 4. Konfigurasi aksial LPRM dalam Teras



Keterangan:

- ICICS = Sistem kalibrasi instrumentasi teras
- MCRP = Panel ruang kendali utama
- Rec.C = Kendali sirkulasi
- Pr.C. = Komputer proses
- MRBM = Monitoring unit batang kendali saluran ganda

Gambar 5 Konfigurasi dasar pada jenis-jenis pembagian sistem monitor neutron.