

## PENGUKURAN FAKTOR KOMPENSASI DETEKTOR RENTANG DAYA KNK 50 UNTUK TERAS RSG-GAS

A.Mariatmo, Ir. Edison dan Heri Prijanto

### ABSTRAK

**PENGUKURAN FAKTOR KOMPENSASI DETEKTOR RENTANG DAYA KNK 50 UNTUK TERAS RSG-GAS.** Telah dilakukan pengukuran faktor kompensasi detektor neutron rentang daya KNK 50 yang dipasang disekitar teras RSG-GAS. Pengukuran ini diperlukan untuk memeriksa kinerja bagian kompensasi dari detektor setelah beroperasi selama lebih dari satu tahun. Ketika reaktor sedang beroperasi, teras reaktor tidak hanya memancarkan neutron tetapi juga sinar gamma yang akan menyumbang pada sinyal arus detektor. Faktor kompensasi ini menunjukkan kemampuan detektor untuk menetralkan pengaruh sinar gamma sehingga sebagaimana desainnya detektor ini seharusnya hanya mengukur neutron saja. Pengukuran ini dilakukan pada dua buah detektor rentang daya KNK 50 terpasang setelah sehari reaktor shut down. Elektrode positif kamar sensitif neutron dan gamma diberi tegangan positif yang tetap, sedangkan elektrode negatif kamar kompensasi diberi tegangan negatif yang bervariasi. Untuk setiap variasi tegangan negatif, arus yang dihasilkan pada elektrode sinyal diukur dan dicatat. Akhirnya diperoleh arus minimum yang dihasilkan. Faktor kompensasi detektor adalah prosentase arus minimum ini terhadap arus mula-mula ketika tegangan negatif nol. Dari hasil pengukuran yang dilakukan, detektor JKT03 CX831 memiliki faktor kompensasi 0,45% dan detector JKT03 CX841 memiliki faktor kompensasi 0,41%. Kedua hal ini berada dibawah batas spesifikasi 2%<sup>[3\*]</sup> sehingga kemampuan kompensasi gamma kedua detector tersebut dinyatakan masih baik.

### ABSTRACT

**THE MEASUREMENTS OF COMPENSATION FACTORS OF THE KNK 50 POWER RANGE DETECTORS FOR THE RSG-GAS'S CORE.** It has been implemented the measurement of compensation factors on the KNK 50 power range neutron detectors installed around the RAG-GAS core. The measurements are needed to check performance of the compensating part of the detectors after they are used for more than a year. While the reactor are in operation, the core produce neutrons and also gamma rays other which will contribute to current signal of the detectors. The compensation facto rindicate capability of the detectors to neutralize of effect of gamma radiations affect so as its design, that it only measures neutrons. The measurements were performed on two installed KNK 50 power range detector one day after reactor shutdown. The constant positive voltage is applied to the positive electrodes of the neutron and gamma sensitive chambers. While varied negative voltages were applied to the negative electrodes of compensation chamber. For each variation of negative voltage applied, the resulting current at the signal electrode was measured and noted. Eventually, the minimum resulting currents are measured and noted. The compensation factor of the detector is the percentage of the minimum resulting current at the signal electrode to the resulting current when the negative electrode was grounded. The results of measurements of the detector JKT 03 CX 831 has a compensation factor of 0.45% and a detector JKT03 CX841 has a compensation factor of 0.41%. Both of these detectors is within the specification limits 2%<sup>[3\*]</sup> so that the ability of the gamma compensation detector is functioning properly.

## PENDAHULUAN

Selama reaktor beroperasi dapat saja terjadi peristiwa yang tidak diinginkan berupa kecelakaan termasuk kesalahan operasi dan kegagalan fungsi struktur, sistem atau komponen (SSK) yang menjurus kepada timbulnya dampak radiasi atau paparan radiasi yang melampaui batas keselamatan. Untuk mencegah atau membatasi dampak kecelakaan, RSG-GAS dilengkapi dengan sistem proteksi reaktor. Salah satu kecelakaan yang dipostulasikan dalam laporan analisis keselamatan RSG-GAS adalah kecelakaan reaktivitas. Kecelakaan reaktivitas pada daerah daya dideteksi menggunakan empat buah pengukur fluks neutron bersama-sama dengan tiga buah pengukur laju dosis gamma di dalam sistem pendingin primer. Untuk keperluan ini digunakan empat buah detektor neutron yang masing-masingnya dipasang sepanjang teras pada sudut luar reflektor beryllium. Tugas dari pengukur tersebut adalah :

1. Memantau teras reaktor dalam hal daya terlalu tinggi
2. Memantau teras reaktor dalam hal beban tidak setimbang secara azimuth terlalu tinggi.
3. Memantau teras dalam hal penyumbatan kanal pendingin.

Karena dalam teras reaktor, selain neutron terdapat juga radiasi lain terutama sinar gamma, maka untuk mengukur neutron digunakan kamar ion terkompensasi sehingga prosentase sinyal yang dihasilkan oleh sinar gamma lebih kecil dari 2 persen. Untuk mengukur kemampuan detektor dalam mengkompensasi sinar gamma dibawah ini akan dibahas mengenai pengukuran arus yang dihasilkan detektor yang terpapar sinar gamma pada berbagai variasi tegangan yang diaplikasikan pada elektrode negatif. Kemudian dibuat kurva arus terhadap tegangan dan akhirnya dapat dihitung prosentase arus yang tersisa terhadap arus yang dihasilkan ketika detektor sama sekali tidak mengkompensasi gamma.

## DESKRIPSI DETEKTOR KAMAR ION TERKOMPENSASI

### Interaksi radiasi

Operasi detektor radiasi pada dasarnya bergantung pada cara radiasi yang dideteksi berinteraksi dengan materi detektor. Interaksi yang terjadi ketika partikel berat bermuatan seperti partikel alpha bertumbukan dengan zat utamanya melalui gaya coulomb diantara muatan positifnya dengan muatan negatif elektron orbital. Hasil dari tumbukan partikel alpha dengan atom zat dapat mengakibatkan elektron dari atom zat tersebut tereksitasi atau bahkan elektron tersebut sepenuhnya terlepas dari atom absorber (ionisasi). Karena energi partikel alpha besar maka interaksi berlangsung sepanjang jejaknya menembus absorber sampai energinya habis dan terhenti. Pasangan ion berupa elektron bebas dan ion positif dari atom zat yang ditumbuk dan melepaskan elektron mempunyai kecenderungan untuk berekombinasi membentuk atom neutral. Demikian pula dengan elektron cepat, mekanisme yang sama seperti interaksi partikel alpha berlangsung dalam absorber namun demikian jejaknya lebih pendek dan berliku karena masanya ringan.

Untuk sinar gamma, meskipun banyak sekali mekanisme interaksinya dalam zat, hanya tiga jenis yang memegang peran penting dalam pengukuran radiasi, yaitu :

- Serapan foto elektrik. Dalam proses serapan fotoelektrik, foton gamma berinteraksi dengan atom absorber dan sepenuhnya menghilang. Sebagai penggantinya, sebuah elektron dilepaskan dari salah satu kulit atom absorber dan menghasilkan atom absorber yang terionisasi.
- Hamburan Compton. Proses interaksi ini berlangsung antara foton sinar gamma penumbuk dan sebuah elektron dalam zat absorber. Ini merupakan mekanisme interaksi yang mendominasi untuk energi sinar gamma yang berasal dari sumber radioisotop. Dalam hamburan Compton, photon sinar gamma yang datang

dibelokkan dan memindahkan sebagian energinya kepada elektron. Setelah interaksi, elektron dapat tereksitasi atau sepenuhnya terlepas dari atom absorber.

- Produksi Pasangan. Mekanisme interaksi ini menghasilkan pasangan elektron-positron untuk energi sinar gamma beberapa MeV.

Selanjutnya interaksi neutron lambat yang sangat penting adalah reaksi yang disebabkan oleh neutron seperti reaksi (n,α), (n,p) dan (n, fisi). Reaksi ini menghasilkan radiasi sekunder dengan energi yang cukup untuk dideteksi secara langsung.

### Detektor Radiasi

Untuk kepentingan tulisan ini, hanya detektor kamar ionisasi dan detektor neutron kamar ion terkompensasi (*Compensated Ion Chamber*) saja yang dibahas. Agar detektor dapat memberikan respon, radiasi harus berinteraksi melalui salah satu mekanisme di atas. Waktu interaksi sesungguhnya sangat kecil, sedemikian kecilnya sehingga untuk keperluan praktis waktu ini dianggap seketika.

Hasil bersih dari interaksi radiasi dalam kebanyakan detektor adalah kemunculan sejumlah muatan yang terdapat dalam volume aktif detektor. Selanjutnya muatan ini harus dikumpulkan untuk membentuk sinyal listrik. Pengumpulan muatan dilakukan dengan pemberian medan listrik di dalam detektor, yang mengakibatkan muatan listrik positif dan negatif yang dihasilkan oleh radiasi mengalir dalam arah yang berlawanan. Waktu yang dibutuhkan muatan untuk tiba pada elektrode pengumpul bervariasi antara satu detektor dengan detektor lain mulai dari beberapa nanodetik sampai beberapa milidetik.

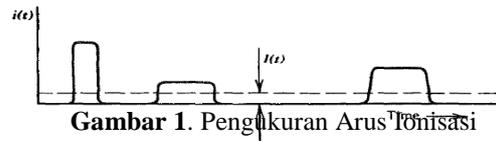
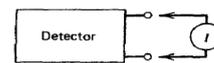
### Detektor Beroperasi Dengan Mode Arus

Secara umum, terdapat tiga mode operasi detektor radiasi yaitu : mode pulsa, mode arus dan mode tegangan kuadrat rata-rata. Dalam mode operasi pulsa, instrumentasi pengukuran dirancang untuk mengukur

kuanta radiasi yang berinteraksi di dalam detektor. Muatan total yang terkumpul diukur karena energi yang dilepaskan sebanding dengan muatan ini. Semua detektor yang digunakan untuk mengukur energi kuant individu harus dioperasikan dalam mode pulsa.

Pada laju interaksi yang sangat tinggi, operasi mode pulsa menjadi tidak praktis atau bahkan tak mungkin. Waktu diantara kejadian-kejadian berdampingan dapat menjadi sangat singkat untuk melaksanakan analisis yang memadai, atau pulsa-pulsa dapat saling tumpang tindih. Dalam hal ini digunakan mode operasi arus seperti dijelaskan di bawah ini.

Peralatan pengukur arus berupa picoammeter dihubungkan kepada terminal output detektor seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Jika peralatan pengukur mempunyai waktu respon tetap  $T$  maka sinyal yang terukur dari deretan interaksi akan menjadi arus bergantung waktu dan dirumuskan sebagai berikut :

$$I(t) = \frac{1}{T} \int_{t-T}^t i(t') dt'$$

Karena waktu respon  $T$  relatif panjang dibandingkan dengan waktu rata-rata antara pulsa arus individu, akibatnya perlengkapan merata-ratakan banyak fluktuasi arus individu sehingga mengukur arus rata-rata. Arus rata-rata ini bergantung pada hasil kali dari laju interaksi dan muatan per interaksi dan dirumuskan sebagai berikut:

$$I_o = rQ$$

$I_o$  = Arus rata-rata

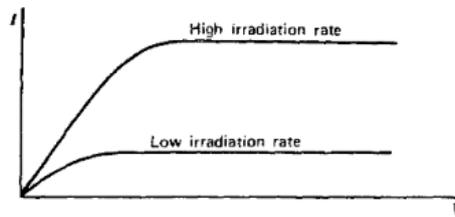
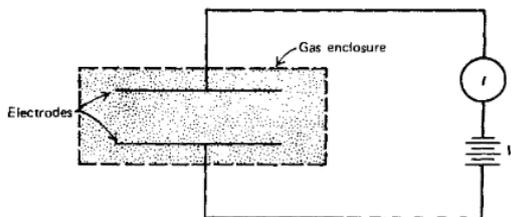
$r$  = Laju kejadian

$Q$  = Muatan yang diproduksi per interaksi

### Kamar Ionisasi

Detektor isian gas merupakan detektor yang paling sering digunakan untuk mengukur radiasi. Prinsip kerja detektor isian gas didasarkan pada pengaruh yang ditimbulkan ketika radiasi melalui gas. Mode utama interaksi melibatkan ionisasi dan eksitasi molekul-molekul gas sepanjang jejak radiasi. Ada beberapa jenis detektor yang termasuk dalam kelompok detektor isian gas yaitu: kamar ionisasi, *proportional counter* dan tabung Geiger. Untuk kepentingan tulisan ini akan dibahas detektor kamar ionisasi saja.

Operasi normal detektor kamar ionisasi didasarkan pada pengumpulan semua muatan yang dihasilkan oleh ionisasi langsung dalam gas melalui penggunaan medan listrik. Detektor ini terdiri dari dua elektroda yaitu elektroda positif dan elektroda negatif, serta berisi gas di antara kedua elektrodanya seperti ditunjukkan dalam Gambar.2. Elektroda positif disebut sebagai anoda, yang dihubungkan ke kutub listrik positif, sedangkan elektroda negatif disebut sebagai katoda, yang dihubungkan ke kutub negatif. Kebanyakan detektor ini berbentuk silinder dengan sumbu yang berfungsi sebagai anoda dan dinding silindernya sebagai katoda sebagaimana berikut.



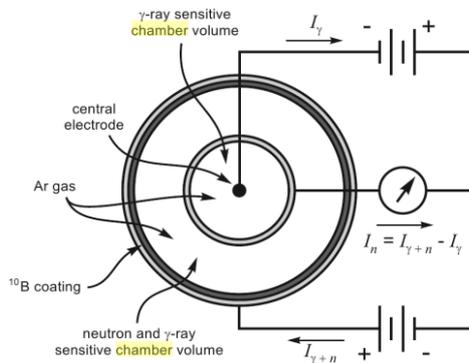
**Gambar 2.** Komponen Utama Kamar Ionisasi dan Karakteristik Arus-Tegangan

Radiasi yang memasuki detektor akan mengionisasi gas dan menghasilkan ion-ion positif dan ion-ion negatif (elektron). Jumlah ion yang dihasilkan tersebut sebanding dengan energi radiasi dan berbanding terbalik dengan energi ionisasi gas. Energi ionisasi gas berkisar dari 25 eV s.d. 40 eV. Akibat adanya medan listrik yang diberikan oleh pasangan anoda dan katoda, ion-ion positif yang dihasilkan akan bergerak kearah katoda dan sebaliknya elektron akan bergerak menuju ke anoda. Dalam kamar ionisasi, tegangan yang diaplikasikan diatur sehingga rekombinasi antara elektron dan ion positif diabaikan tetapi ion primer yang dihasilkan tidak dapat mengakibatkan ionisasi baru selama pergerakannya.

### Detektor Neutron CIC

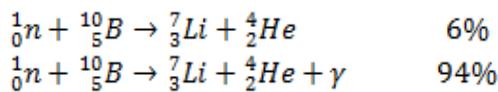
Dalam zat, neutron tidak dapat berinteraksi melalui gaya Coulomb karena neutron tidak mempunyai muatan. Meskipun reaksi yang dialami neutron dalam zat berbeda-beda bergantung energi neutron, dalam hal ini yang dibahas hanya neutron termal saja. Interaksi neutron termal untuk kepentingan deteksi adalah reaksi yang disebabkan neutron yang dapat menghasilkan radiasi sekunder dengan energi yang cukup untuk dideteksi secara langsung. Hasil reaksi yang mungkin adalah partikel berat bermuatan seperti : inti *recoil*, proton, partikel alpha dan *fragment* fisi. Setiap jenis detektor neutron melibatkan kombinasi dari materi target yang didesain untuk

menghasilkan partikel berat bermuatan bersama-sama dengan salah satu detektor radiasi lain yang dibahas pada bagian terdahulu. Pada tulisan ini, hanya akan dibahas mengenai detektor neutron *Compensated Ion Chamber* (CIC). Pada saat reaktor beroperasi pada daya tinggi, paparan sinar gamma dan paparan neutron tinggi. Oleh karena itu, untuk memberikan hasil pengukuran kerapatan fluks neutron yang tepat, pengaruh gamma pada hasil pengukuran harus diminimalisir. Detektor yang dapat melakukan ini adalah detektor CIC. Skema detektor CIC ditunjukkan pada Gambar.3.



Gambar 3. Diagram Skematik CIC

Detektor terdiri dari dua kamar ionisasi yang konsentris. Satu kamar terletak pada bagian luar dan satu kamar lain pada bagian dalam. Dinding luar kamar bagian luar dilapisi dengan boron sehingga neutron termal yang datang ditangkap oleh boron dengan reaksi :



Partikel alpha dan  ${}^7Li$  diemisikan dari titik penangkapan neutron dalam arah yang berlawanan, sehingga salah satu dari partikel ini akan masuk ke dalam kamar ionisasi

bagian luar dan mengalami interaksi dengan gas isian.

Foton gamma yang datang menuju ke dalam kamar juga akan mengalami interaksi dengan gas isian seperti yang terjadi pada kamar ionisasi. Karena jejak foton gamma panjang maka foton gamma akan memasuki kedua kamar dan berinteraksi dengan gas isian dalam kedua kamar tersebut. Kedua kamar dibuat sedemikian hingga ketika foton gamma datang, arus yang dibangkitkan kamar bagian luar mengalir melalui pengukur arus tepat sama dengan arus berlawanan arah yang dihasilkan oleh kamar bagian dalam. Dengan demikian, jika neutron dan foton gamma memasuki detektor, maka arus yang dihasilkan oleh tabung luar oleh tumbukan neutron dan gamma yang melalui pengukur arus  $I_{n+\gamma}$  akan dikurangi oleh arus berlawanan akibat foton gamma yang memasuki kamar bagian dalam  $I_\gamma$ . Dengan demikian, arus yang terukur oleh pengukur arus hanya berasal dari tumbukan neutron saja  $I_n$ .

### Detektor Neutron Untuk Pengukuran Fluks Neutron Rentang Daya Teras RSG-GAS

Untuk mengukur fluks neutron rentang daya teras RSG-GAS, digunakan empat buah detektor CIC jenis KNK50. Masing-masing detektor dipasang di luar teras pada sudut luar reflektor berilium. Gambar detektor CIC jenis KNK50 ditunjukkan pada Gambar. 4.



Gambar 4. Detektor CIC jenis KNK50

Bagian sensitif neutron dari sistem pengukuran dibentuk oleh elektrode sinyal (S) dan elektrode tegangan tinggi yang mengelilinginya (U). Neutron termal yang datang ditangkap oleh  $^{10}\text{B}$  dalam lapisan boron pada sisi dalam elektrode tegangan tinggi (U). Proses nuklir  $^{10}\text{B}(n,\alpha)^7\text{Li}$  mengkonversi neutron menjadi inti Lithium ( $^7\text{Li}$ ) dan partikel alpha ( $\alpha$ ).

Partikel alpha atau inti Lithium ( $^7\text{Li}$ ) yang memasuki gas isian melalui lapisan boron ke arah bagian kamar sensitif neutron akan menghasilkan jejak ionisasi di bagian dalam gas isian. Akibat medan listrik yang dihasilkan dari perbedaan potensial +800 V DC di antara elektrode tegangan tinggi (U) dan elektrode sinyal (S), pembawa muatan positif bergerak menuju elektrode sinyal (S) dan pembawa muatan negatif ke elektrode tegangan tinggi (U). Jika fluks neutron yang mengenai detektor cukup besar maka arus searah yang dihasilkan dapat diukur dengan transducer pengukur yang terhubung pada elektrode sinyal.

Jika terdapat sinar gamma maka arus tambahan akan dihasilkan oleh interaksi foton dengan gas isian. Arus tambahan ini dapat dinetralkan oleh bagian kompensasi detektor. Bagian kompensasi detektor terdiri dari elektrode kompensasi (K) dan elektrode sinyal (S) yang mengelilinginya. Karena daerah ini tidak memiliki bagian sensitif neutron, maka daerah ini hanya sensitif terhadap sinar gamma.

Elektrode kompensasi (K) didesain sedemikian hingga kurva saturasi karakteristik tidak ideal, yaitu arus bertambah dengan bertambahnya tegangan tinggi yang diberikan tidak seperti halnya dengan arus ionisasi saturasi konstan dalam rentang tegangan tertentu. Akibatnya, kompensasi gamma detektor dapat diatur dengan merubah tegangan pada elektrode K dalam daerah diantara -10 V DC dan -500 V DC.

Karena masing-masing bagian dari detektor (terkompensasi, tidak terkompensasi) menggunakan elektrode sinyal yang sama, arus yang dihasilkan oleh radiasi

gamma di bagian dalam volume sensitif neutron (diantara elektrode U dan S) hampir secara keseluruhan dinetralkan (lihat diagram rangkaian Gambar 3). Perbandingan antara arus minimum yang dihasilkan detektor yang terpapar hanya oleh gamma ketika tegangan negatif diatur dengan arus ketika elektrode kompensasi digroundkan disebut dengan faktor kompensasi:

$$F_k = \frac{I_s}{I_{k \text{ ground}}}$$

$I_s$  : Arus minimum ketika tegangan negatif pada elektrode kompensasi diatur.

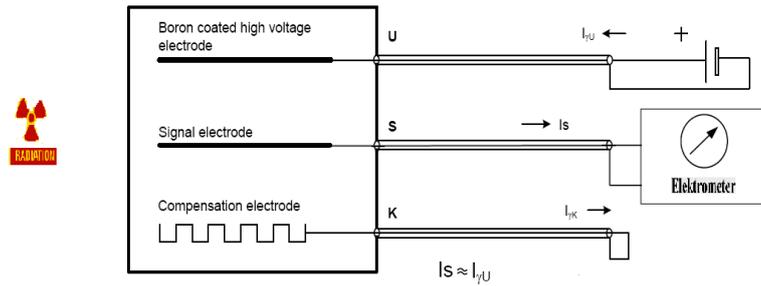
$I_{k \text{ ground}}$  : Arus yang dihasilkan ketika elektrode kompensasi digroundkan

$F_k$  : Faktor Kompensasi

## PENGUKURAN FAKTOR KOMPENSASI DETEKTOR KNK50

Pengukuran kemampuan kompensasi detektor neutron rentang daya dilakukan pada detektor yang terpasang pada tabung pengarah kanal pengukur JKT03 CX831 dan JKT03 CX841. Posisi tabung pengarah detektor di sekitar teras diperlihatkan dalam Gambar 8. Tes kompensasi mengharuskan adanya radiasi gamma yang cukup tetapi tidak ada neutron yang mengenai detektor. Oleh karena itu pengukuran dilakukan kira-kira satu hari setelah reaktor shutdown. Tes kompensasi dilaksanakan sesuai langkah berikut:

1. Elektrode kompensasi dihubungkan ke ground dan tegangan operasi +800 V DC diberikan kepada elektrode tegangan tinggi (U). Arus yang dihasilkan ( $I_{k \text{ ground}}$ ) pada elektrode sinyal (S) diukur dan dicatat.
2. Berikan tegangan negatif yang bervariasi pada elektrode kompensasi K (maksimum -500 V) kemudian untuk setiap tegangan negatif, arus diukur dan dicatat. Tegangan kompensasi harus diukur sampai arus sinyal terukur lebih kecil dari 2%  $I_{k \text{ ground}}$ .



$I_s$  : measured signal current  
 $I_{U}$  : current caused by gamma radiation in the measuring volume  
 $I_{K}$  : current caused by gamma radiation in the compensation volume

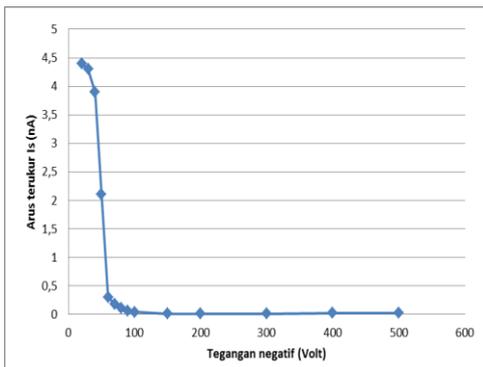
Gambar 5. Diagram Skematik Pengukuran Kompensasi

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

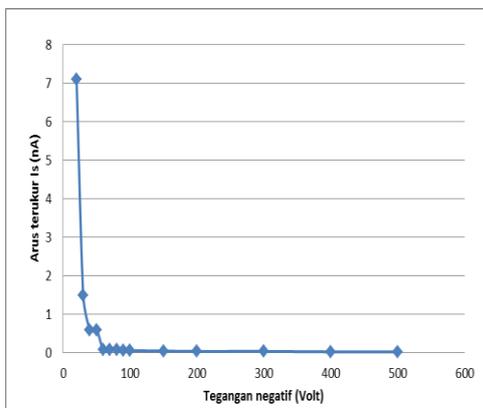
Hasil pengukuran arus kedua detektor untuk berbagai variasi tegangan negatif yang

diaplikasikan pada elektrode kompensasi diperlihatkan dalam Tabel 1. dan diplot pada kurva dalam Gambar 6. dan Gambar 7.

Tabel 1. Hasil pengukuran kompensasi detektor knk 50 Tanggal Pengukuran : 24 Januari, 2016			
Redundansi JKT03 CX831 [SN F1450150]		Redundansi JKT03 CX841 [SN F14501148]	
K grounded, U = 800 V, $I_{k, ground} = 4.4 \text{ nA}$		K grounded, U = 800 V, $I_{k, ground} = 7.34 \text{ nA}$	
K	$I_s$	K	$I_s$
-20 V	4.4 nA	-20 V	7.10 nA
-30 V	4.3 nA	-30 V	1.5 nA
-40 V	3.9 nA	-40 V	0.6 nA
-50 V	2.1 nA	-50 V	0.6 nA
-60 V	0.3 nA	-60 V	0.08 nA
-70 V	0.18 nA	-70 V	0.08 nA
-80 V	0.11 nA	-80 V	0.08 nA
-90 V	0.06 nA	-90 V	0.06 nA
-100 V	0.04 nA	-100 V	0.06 nA
-150 V	0.005 nA	-150 V	0.05 nA
-200 V	0.01 nA	-200 V	0.04 nA
-300 V	0.01 nA	-300 V	0.04 nA
-400 V	0.02 nA	-400 V	0.03 nA
-500 V	0.02 nA	-500 V	0.03 nA
$I_s = 0.02 \text{ nA} ;$ Faktor Kompensasi = $\frac{I_s}{I_{k, ground}} = \frac{0.02}{4.4}$ $= 0.45 \% < 2 \%$		$I_s = 0.03 \text{ nA} ;$ Faktor Kompensasi = $\frac{I_s}{I_{k, ground}} = \frac{0.03}{7.34}$ $= 0.41 \% < 2 \%$	



Gambar 6. Kurva kompensasi JKT03 CX831



Gambar 6. Kurva kompensasi JKT03 CX841

Dari kedua kurva diperlihatkan bahwa arus yang dihasilkan detektor menurun dengan naiknya tegangan negatif yang diberikan pada elektrode kompensasi. Dengan demikian elektrode kompensasi dengan sempurna menetralkan arus yang dihasilkan elektrode positif. Sampai akhirnya arus elektrode sinyal tetap tidak berubah ketika tegangan negatif

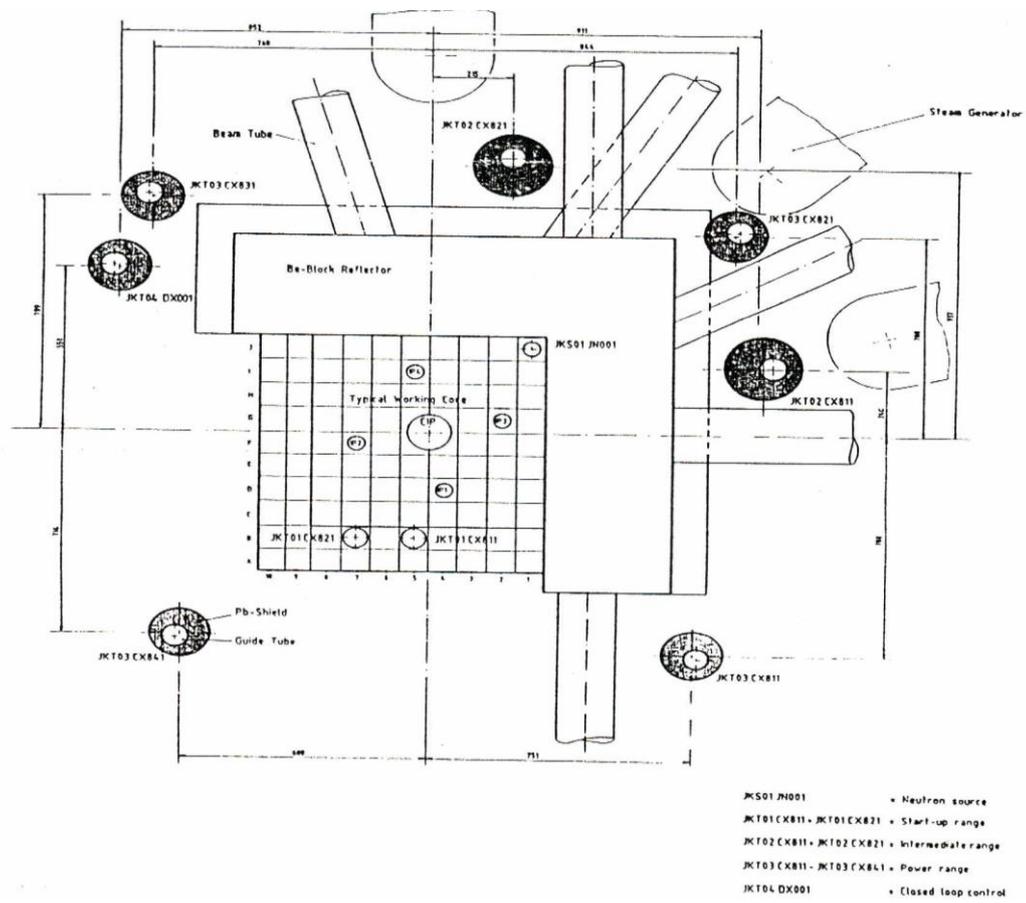
divariasi menurun dan arus tersisa ini lebih kecil dari 2 % seperti yang dipersyaratkan. Dari tabel diperoleh Faktor Kompensasi untuk detektor JKT03 CX831 sebesar 0,45 %, sedangkan untuk JKT03 CX841 sebesar 0,41 %. Faktor kompensasi JKT03 CX831 dan JKT03 CX841 lebih kecil dari 2 %.

## KESIMPULAN

Kedua detektor yang terpasang pada kanal pengukur JKT03 CX831 dan JKT03 CX841 masih baik kinerjanya dalam mengkompensasi gamma. Hal ini ditunjukkan dengan nilai Faktor Kompensasi masing-masing sebesar 0,45 % dan 0,41 %. Kedua nilai ini berada dibawah batas spesifikasi 2 %.

## ACUAN

1. **J. KENNETH SHULTIS, E.F, RICHARD**, *Fundamental of Nuclear Science and Engineering*, CRC Press, 2008
2. **KNOLL, GLENN F**, *Radiation Detection And Measurement*, John Willey & Sons, Inc, 2000
3. **MIRION TECHNOLOGIES, USER MANUAL**, *Compensated Neutron Ionization Chamber KNK 50, Edition 2*, 2014
4. **INTERATOM, MPR 30, System Description, Neutron Flux Measurement System**, 1987
5. **INTERATOM, MPR 30, System Description, Reactor Protection System**, 1987
6. **PRSG, Laporan Analisis Keselamatan Rev 10**, 2014



Gambar 8. Susunan Instalasi Detektor Rentang Daya di Sekitar Teras