

## **ANALISIS UNSUR KERAK PADA PENUKAR PANAS SISI PENDINGIN SEKUNDER REAKTOR RSG GAS DENGAN METODE AAN**

Elisabeth Ratnawati, Diyah Erlina Lestari, Santosa Pujiarta  
PRSG-BATAN

### **ABSTRAK**

**ANALISIS UNSUR KERAK PADA PENUKAR PANAS SISI PENDINGIN SEKUNDER REAKTOR RSG GAS DENGAN METODE AAN.** Penentuan unsur kerak yang melekat pada pipa penukar panas sisi pendingin sekunder reaktor GA.Siwabessy dilakukan untuk mengetahui apakah kerak tersebut terbentuk dari unsur-unsur yang larut dalam air pendingin. Karena itu dilakukan pula analisis terhadap endapan pada kolam air pendingin sekunder, untuk memastikan apakah endapan tersebut memiliki kandungan unsur yang sejenis. Metode yang digunakan adalah metode AAN. Iradiasi dilakukan di fasilitas iradiasi PRSG G.A Siwabessy. Waktu iradiasi 15 detik dan 60 menit. Pencacahan cuplikan pasca iradiasi dilakukan dengan detektor resolusi tinggi HPGe yang digabungkan dengan penganalisis puncak multi saluran. Analisis data dengan perangkat lunak GENIE 2000. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa jenis unsur dalam kerak penukar panas sejenis dengan unsur dalam endapan kolam air pendingin sekunder, yaitu Al, Mg, Mn, Ca, Cr,Fe, Zn, Sc, Na, dan La. Unsur Mg, Mn, dan Ca, berasal dari gabungan unsur-unsur yang larut dalam air pendingin sekunder. Sedangkan Zn kemungkinan berasal dari inhibitor korosi yang mengandung perpaduan unsur zink dan phosphate. Semua unsur yang terdeteksi dapat dihitung konsentrasinya, tetapi konsentrasi Mg, Ca dan Cr memiliki nilai ketidakpastian pengukuran yang tinggi sehingga dianggap tidak akurat. Dapat dikatakan bahwa unsur pembentuk kerak pada penukar panas di sisi pendingin sekunder berasal dari unsur-unsur yang larut dalam air pendingin sekunder, bukan dari material alat penukar panas.

**Kata kunci:** kerak, penukar panas.

### **ABSTRACT**

**SCALE ELEMENTS ANALYSIS ON THE SIDE COOLING SECONDARY OF HEAT EXCHANGER RSG-GAS REACTOR USING NAA METHOD.** *Determination of scale elements attached to the tube side of the heat exchanger reactor secondary cooling GA.Siwabessy was conducted to determine whether scale is formed from the elements of cooling water-soluble. Therefore performed an analysis of sediment the secondary cooling water pool to ensure whether the sediment contains similar elements. The analysis of scale elements and sediment has been done by NAA method. Sample irradiation have been done in the irradiation facility of Multi Purpose Reactor GA Siwabessy. Irradiation time was 15 seconds and 60 minutes. Counting of irradiated samples have been done by high resolution HPGe detector couple to multi channel analyzer. Analyzed have been done by GENIE 200. The results obtained show that the type of scale element in the heat exchanger is similar to the elements in the secondary cooling water pool sediment, that is Al, Mg, Mn, Ca, Cr, Fe, Zn, Sc, Na, and La. The Mg, Mn, Ca, and Al, is likely to come from the combined elements of secondary cooling water soluble, while the Zn element is likely to come from the corrosion inhibitor which contains a blend of zinc and phosphate. All the elements are detected can be calculated concentration, but the concentration of Mg,Ca and Cr have high measurement uncertainty values that are considered inaccurate. It can be said that the scale forming elements on the heat exchanger tube in the secondary cooling side, derived from the elements of secondary cooling water-soluble not of the material of the heat exchange.*

**Keywords :** *scale, heat exchanger*

### **PENDAHULUAN**

Untuk memindahkan panas yang timbul akibat reaksi fisi di teras reaktor, maka reaktor GA. Siwabessy dilengkapi dengan dua sistem pendingin, yaitu pendingin primer dan sekunder. Sistem pendingin primer berguna sebagai pendingin teras

reaktor, sebagai moderator dan dikondisikan terkungkung, dan pendingin sekunder berfungsi untuk menyerap panas dari pendingin primer hingga pelepasan panas ke lingkungan. Sedangkan perpindahan panas terjadi pada alat penukar panas. Penukar panas yang digunakan berjenis sel dan pipa (*shell and tube*), dipasang pada posisi vertical

dengan sambungan untuk air primer dan sekunder pada ujung atas. Air pendingin sekunder mengalir melalui pipa (tube) dan air pendingin primer mengalir disekeliling pipa (shell) dengan arah yang berlawanan.

Dalam periode tertentu akan dilakukan pemeliharaan dan pemeriksaan terhadap sistem penukar panas tersebut untuk memastikan bahwa alat penukar panas reaktor RSG GAS dapat berfungsi dengan baik. Pada tanggal 15 Mei sampai dengan 4 Juni 2013 dilakukan kegiatan pemeliharaan dan pemeriksaan terhadap alat penukar panas (*Heat Exchanger*) JE01 BC02. Dalam proses pelaksanaan kegiatan ini dilakukan pula pembersihan kerak yang menempel pada permukaan sisi *inlet/outlet*. Adanya kerak ini dapat menyebabkan permukaan *bundle tube* mampat dan menyempit. Dari kondisi ini timbul dugaan mengenai penyebab timbulnya kerak pada alat penukar panas, apakah kerak tersebut berasal dari unsur-unsur yang terlarut dalam air pendingin sekunder. Karena itu dilakukan analisis unsur terhadap kerak pada penukar panas dan endapan yang terdapat dalam kolam sistem pendingin sekunder. Diharapkan hasil analisis unsur dapat memberikan gambaran mengenai penyebab terbentuknya kerak pada penukar panas. Metode yang digunakan adalah analisis aktivasi neutron. Penggunaan teknik analisis berkaitan erat dengan pemanfaatan fasilitas iradiasi yang ada di RSG-GAS, disamping karena metode ini memiliki sensitivitas yang relatif tinggi dan didukung dengan kemampuan analisis multi unsur secara simultan.

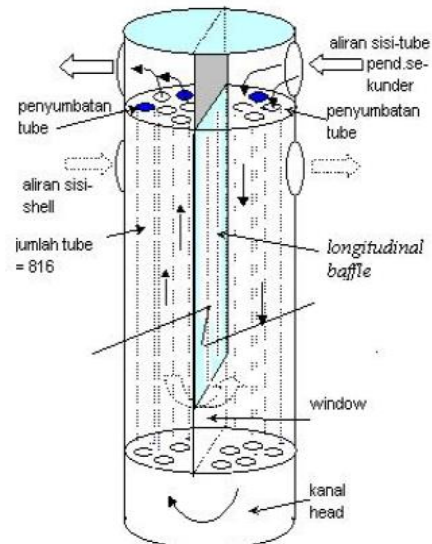
## DASAR TEORI

Alat penukar panas merupakan alat untuk memindahkan panas yang terjadi akibat reaksi fisi didalam teras reaktor, dengan cara memindahkan panas dari sistem pendingin primer pada sistem pendingin sekunder. Untuk memindahkan panas yang terjadi pada sistem primer ke sistem sekunder, reaktor RSG GAS memiliki dua alat penukar panas yaitu JE-01 BC-01 dan JE01 BC-02. Masing-masing penukar panas ini disiapkan untuk memindahkan 50% dari beban total pemindahan panas primer pada operasi reaktor dengan daya penuh. (30MW). Kedua penukar panas berjenis sel dan pipa (*shell and tube*). Air sekunder mengalir melalui pipa-pipa dan air pendingin primer mengalir di sekeliling pipa-pipa pada sisi sel dengan arah berlawanan. Bundel pipa dan tabung penukar panas terbuat dari baja tahan karat berdaya tahan tinggi terhadap korosi<sup>(1)</sup>. Untuk

mengatasi timbulnya deposit atau kerak pada sisi-pipa, maka bola-bola spon dilewatkan bersama air pendingin sekunder pada sisi-pipa. Kurang lebih sebanyak 50 bola disirkulasikan untuk satu unit penukar kalor. Untuk menghindari lepasnya zat radioaktif ke pendingin sekunder maka dirancang bahwa tekanan aliran pada sisi-*shell* lebih rendah dari sisi-pipa (*tube*). Disain Penukar Panas RSG-GAS adalah sebagai berikut<sup>(1)</sup>:

Sisi shell : Air panas primer  
 Sisi tube : Air dingin sekunder  
 Fasa pendingin : Air-air  
 Diameter pipa ID/OD : 22mm, 23 mm  
 Jumlah pipa per pass : 816 batang pipa  
 Panjang pipa : 7410 mm  
 Kapasitas tiap penukar panas : 16200 kW  
 Luas perpindahan panas : 780 m<sup>2</sup>  
 Diameter luas sel : 1.300 mm  
 Panjang keseluruhan : ± 9.000 mm

Kegiatan pemeliharaan alat penukar panas (*Heat Exchanger*) JE01 BC02 yang dilakukan dalam periode tertentu meliputi pemeriksaan secara visual dan pemeriksaan menggunakan NDT dengan metode *Eddy Current* untuk mengetahui tingkat penipisan tube penukar panas. Pada pelaksanaannya, dilakukan pula pembersihan pada beberapa buah tube yang mampat dan menyempit, sehingga permukaan bundel menjadi bersih dan alat penukar panas layak untuk dioperasikan<sup>(2)</sup>. Gambar 1 menunjukkan penampang penukar panas RSG-GAS.



Gambar 1: Penampang penukar panas RSG-GAS

### Sistem Pendingin

Sistem pendingin reaktor adalah suatu sistem penyerapan panas/kalor melalui media fluida pendingin dari tempat terjadinya reaksi fisi yaitu didalam teras reaktor hingga pelepasan panas ke lingkungan. Secara umum sistem pendingin di RSG-GAS dibagi menjadi dua bagian besar yaitu sistem pendingin primer dan sistem pendingin sekunder. Sebagai medium pembawa panas pada sistem pendingin sekunder digunakan air yang berasal dari penyedia air setempat (PAM Puspipstek) tanpa pengolahan lebih lanjut. Berikut adalah spesifikasi kualitas air pendingin sekunder<sup>(1)</sup>.

PH	6,5 – 8
Konduktivitas normal	950 $\mu$ s/cm
Konduktivitas maks	1500 $\mu$ s/cm
Kalsium sebagai CaCO <sub>3</sub> maks	280 ppm
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> maks	320 ppm
Hardness total maks	480 ppm
Fe total maks	1 ppm
Cl- maks	1775,5 ppm
Laju korosi maks	3 mpy

Dalam sistem pendingin sekunder, kerak terbentuk oleh unsur-unsur yang larut dalam air pendingin. Komponen khas kerak yang dijumpai pada sistem air pendingin sekunder adalah Kalsium karbonat, Kalsium dan seng Fosfat, Kalsium Sulfat, Silika dan Magnesim Silikat<sup>(3)</sup>.

### Teknik AAN

Teknik aktivasi neutron merupakan teknik analisis yang memanfaatkan berkas neutron, partikel bermuatan atau foton, yang masing-masing dihasilkan di dalam suatu reaktor, siklotron atau sejenisnya. Metode analisis aktivasi neutron didasarkan pada reaksi penangkapan neutron thermal oleh target melalui reaksi (n, $\gamma$ )<sup>(4)</sup>. Neutron thermal diabsorpsi oleh inti target dan menghasilkan inti baru dan neutron baru yang bersifat tidak stabil. Inti ini selanjutnya cenderung akan mencapai keadaan setimbang (stabil) dengan melepaskan kelebihan energinya melalui transisi isomerik, atau melalui peluruhan  $\gamma^-$  atau  $\gamma^+$  yang umumnya diikuti pula oleh pancaran sinar- $\gamma$ . Sinar- $\gamma$  yang dipancarkan pada umumnya bersifat karakteristik untuk suatu radionuklida tertentu, dan sifat ini digunakan untuk mengidentifikasi suatu radionuklida hasil aktivasi. Berdasarkan fenomena ini, maka dimungkinkan untuk menentukan unsur yang terkandung dalam suatu benda, baik secara kualitatif maupun kuantitatif secara simultan tanpa dipengaruhi oleh sifat-sifat kimia dari cuplikan.

### Pengukuran Sinar Gamma

Peralatan yang digunakan untuk mengukur sinar gamma dari cuplikan radioaktif umumnya terdiri atas detektor semikonduktor, rangkaian elektronik, *personal computer* (PC), dan MCA

(*multichannel analyser*). Detektor yang digunakan adalah detektor germanium kemurnian tinggi (*High Pure Germanium/HPGe*) dengan jenis koaxial yang dapat digunakan untuk mengukur sinar gamma dengan kisaran energi antara 60keV sampai 3 MeV. Yang perlu dilakukan dalam pemilihan detektor adalah resolusi dan efisiensi. Resolusi detektor untuk mengukur kemampuan pemisahan *peak/puncak* yang berdekatan dalam spektrum. Secara umum resolusi detektor dinyatakan dalam *full width at half maximum* (FWHM) pada energi 122 keV photopeak dari Co-57 dan 1332 keV photopeak dari Co-60. Detektor dengan resolusi 1.0 keV pada energi 122 keV dan 1,8 keV pada energi 1332 keV dan efisiensi berkisar 15-30 % dianggap cukup bagus.

### Perhitungan konsentrasi suatu unsur dalam AAN

Dalam metode komparatif AAN, kuantitas unsur dalam analit berbanding lurus dengan sinyal yang diukur oleh detektor, yaitu laju pencacahan radiasi yang spesifik untuk nuklida yang akan ditentukan. Pada metode ini, sejumlah masa unsur yang diketahui jumlahnya ( $W_s$ ) diirradiasi bersama-sama dengan sampel yang akan ditentukan kuantitas unturnya. Keduanya baik sampel maupun standar, selanjutnya dicacah secara berurutan pada posisi geometri pencacahan yang sama. Formulasi untuk menghitung kuantitas unsur dalam sampel adalah sebagai berikut :

$$Cu = \frac{(Np)_{cuplikan}}{(Np)_{standar}} \times W_{s\text{ standar}}$$

dengan :

- Cu : konstr. analit dalam sampel
- (Np)<sub>cuplikan</sub> : luas puncak cuplikan
- (Np)<sub>standar</sub> : luas puncak standar
- W<sub>standar</sub> : berat unsur standar

### TATA KERJA

Metode penelitian ini dibuat dengan tahapan-tahapan sebagai berikut :

**1. Pengambilan cuplikan:** Kerak diambil dengan cara melepaskan kerak/endapan yang menempel pada permukaan sisi tube alat penukar panas (sisi aliran air sistem pendingin sekunder). Dan endapan diambil dari kolam pendingin sekunder.

**2. Preparasi sampel dan unsur standard:** Kerak dari alat penukar panas dan endapan dari kolam pendingin sekunder beserta bahan acuan standard SRM 2780, *Hard Rock Mine Waste*<sup>(4)</sup>, ditimbang seberat  $\pm 130$  mg, masing masing dibuat duplo, dimasukkan dalam *vial* polietilen yang telah direndam dalam larutan HNO<sub>3</sub> dengan perbandingan 1:1 selama 24 jam kemudian dibilas dengan aquadest dan acetone. Hal ini dilakukan untuk

menghilangkan pengotor yang kemungkinan menempel pada vial tersebut. Selanjutnya baik cuplikan maupun bahan standard yang telah dimasukkan dalam vial polietilen, dimasukkan dalam kapsul iradiasi.

**3. Iradiasi neutron:** Iradiasi dilakukan di fasilitas iradiasi rabbit sistem RSG-GAS dengan fluks neutron  $3,5 \times 10^{13} \text{ n.cm}^{-2} \cdot \text{s}$ . selama 1 jam untuk penentuan unsur-unsur dengan waktu paruh panjang dan 1 menit untuk radionuklida yang memiliki waktu paruh pendek.

**4. Pengukuran sinar  $\gamma$  :** Pada analisis dengan metode AAN komparatif, untuk pengukuran energi sinar- $\gamma$  dilakukan dengan spektrometri gamma menggunakan detektor HPGe. Berdasarkan hasil pengukuran akan diperoleh spektrum energi sinar- $\gamma$  dan intensitas unsur-unsur yang terkandung dalam cuplikan yang teraktivasi.

**5. Analisis kualitatif dan kuantitatif :** Analisis kualitatif dilakukan untuk mengidentifikasi unsur-unsur yang terkandung dalam cuplikan. Sedangkan analisis kuantitatif dilakukan dengan metode komparatif yaitu dengan membandingkan antara luas puncak dari cuplikan dibagi dengan luas puncak standar.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis kualitatif terhadap kerak yang menempel pada *tube* penukar panas dapat teridentifikasi beberapa jenis nuklida. Pada iradiasi dengan waktu pendek (15 detik) terdeteksi Al-28, Mg-27, Mn-56, Ca-49, sedangkan pada iradiasi dengan waktu 1 jam dapat terdeteksi nuklida Cr-51, Fe-59, Zn-65, Sc-46, Na-24, La-140. Untuk memperkuat dugaan bahwa kerak berasal dari unsur-unsur yang terlarut dalam air pendingin sekunder maka dilakukan pula analisis terhadap endapan yang diambil dari kolam pendingin sekunder. Dari hasil analisis kualitatif terhadap endapan yang diambil dari kolam pendingin sekunder, terdeteksi pula nuklida yang sama. Sistem pendingin sekunder

merupakan suatu sistem terbuka yang berfungsi untuk membuang panas yang ditimbulkan oleh sistem primer ke lingkungan. Jika dilihat dari spesifikasi air pendingin sekunder, maka unsur-unsur Mg, Mn, Na, Ca, Fe memang ada dalam air pendingin sekunder<sup>(1)</sup>. Sedangkan Zn berasal dari inhibitor korosi yang mengandung perpaduan unsur zink dan phosphate. Chromium yang terdapat dalam cuplikan kerak maupun endapan kolam pendingin sekunder kemungkinan berasal dari pengotor yang terlarut dalam air pendingin sekunder, karena sebelum melalui tube penukar panas, air pendingin ini melalui pipa dan katup pendingin sekunder yang berada diluar gedung reaktor. Dalam sistem pendingin, kerak terbentuk karena unsur kimia yang larut dalam air memiliki kondisi yang terlalu jenuh. Kondisi larutan lewat jenuh membuat beberapa molekul akan bergabung membentuk inti kristal. Kristal-kristal ini memiliki muatan ion lebih rendah dan cenderung menggumpal sehingga membentuk kerak. Aluminium yang terdapat dalam endapan air pendingin ini kemungkinan berasal dari aluminat yang biasanya digunakan sebagai koagulan bahan penjernihan air. Karena air pendingin sekunder diambil dari air yang dihasilkan oleh penjernihan air Puspipstek. Sedangkan aluminium yang terdeteksi dalam cuplikan kerak penukar panas diduga berasal dari peralatan pembersih mekanik berupa pipa aluminium, yang digunakan untuk melepaskan kerak dari tube penukar panas<sup>(2)</sup>, sehingga ada kemungkinan kerak yang diambil tercampur dengan material pipa tersebut. Tidak semua unsur pembentuk kerak dapat terdeteksi dengan metode AAN. Misalnya silika yang dikatakan sebagai salah satu senyawa pembentuk kerak<sup>(3)</sup>, tidak dapat terdeteksi dengan metode ini, karena memiliki keboleh jadian yang kecil pada reaksi dengan menggunakan neutron thermal<sup>(4)</sup>. Secara keseluruhan hasil pengukuran secara kualitatif terhadap kerak penukar panas dan endapan pada kolam pendingin sekunder dicantumkan pada Tabel 1.

Tabel 1: Hasil analisis kualitatif terhadap kerak alat penukar panas dan endapan kolam pendingin sekunder

JENIS NUKLIDA Kerak penukar panas	ENERGI (keV)	JENIS NUKLIDA Endapan kolam pendingin sekunder	ENERGI (keV)
Al-28	1778.99*	Al-28	1778.99*
Mg-27	843.76 1014.43*	Mg-27	843.76 1014.43*
Mn-56	846.76 1810.72* 2113.05	Mn-56	846.76 1810.72* 2113.05
Ca-49	3084.54* 4072.00	Ca-49	3084.54* 4072.00

Tabel 1. Lanjutan

JENIS NUKLIDA Kerak penukar panas	ENERGI (keV)	JENIS NUKLIDA Endapan kolam pendingin sekunder	ENERGI (keV)
Cr-51	320.08*	Cr-51	320.08*
Fe-59	142.65 192.35 1099.25* 1291.60	Fe-59	142.65 192.35 1099.25* 1291.60
Zn-65	1115.55*	Zn-65	1115.55*
Sc-46	889.38* 1120.55	Sc-46	889.38* 1120.55
Na-24	1368.60* 2754.00	Na-24	1368.60* 2754.00
La-140	328.76 432.49 487.02 751.64 815.77 867.85 919.55 925.19 1596.21*	La-140	328.76 432.49 487.02 751.64 815.77 867.85 919.55 925.19 1596.21*

Berdasarkan hasil perhitungan konsentrasi terhadap semua unsur yang terdeteksi dalam kerak penukar panas dan endapan kolam pendingin sekunder, diketahui bahwa konsentrasi untuk beberapa nuklida yaitu Mg, Ca dan Cr tidak dapat ditampilkan karena memiliki nilai ketidak pastian pengukuran yang tinggi (>10%) sehingga dianggap tidak akurat. Dalam analisis kuantitatif dengan menggunakan metode aktivasi neutron, ada beberapa faktor penyumbang nilai ketidakpastian pengukuran antara lain pada saat penimbangan, statistik pencacahan, umur paro nuklida dan waktu peluruhan cuplikan pasca iradiasi.

Kandungan aluminium dalam cuplikan kerak penukar panas dan endapan kolam pendingin sekunder terlihat cukup dominan. ( $\pm 55\%$  dan  $\pm 16\%$ ). Hal ini dapat terjadi karena aluminat yang biasanya digunakan sebagai koagulan bahan penjernih air kemungkinan besar terdapat dalam endapan kolam pendingin reaktor. Selain itu pada saat dilakukan pembersihan kerak dari *tube* penukar panas

digunakan pipa aluminium, sehingga ada kemungkinan kerak tercampur dengan material pipa tersebut. Disamping aluminium, konsentrasi zink juga cukup tinggi pada cupklikan kerak penukar panas ( $\pm 4,4\%$ ) dan endapan kolam pendingin sekunder ( $\pm 1,3\%$ ). Hal ini dimungkinkan terjadi karena secara periodik, air pendingin sekunder diberi penambahan inhibitor korosi yang mengandung perpaduan unsur zink dan phosphate secara periodik kedalam air pendingin sekunder.

Dari hasil analisis ini dapat dikatakan bahwa kerak yang menempel pada *tube* penukar panas terbentuk dari unsur-unsur yang terlarut dalam air pendingin sekunder, bukan dari material pipa penukar panas itu sendiri. Karena bundel pipa dan tabung penukar panas terbuat dari baja tahan karat yang memiliki daya tahan tinggi terhadap korosi dan memiliki ikatan yang kuat terhadap unsur-unsur pembentuknya. Hasil analisis kuantitatif terhadap kerak sistem penukar panas maupun endapan kolam pendingin sekunder dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2: Hasil analisis kuantitatif terhadap kerak alat penukar panas dan endapan kolam pendingin sekunder

Jenis unsur	Kerak pada alat penukar panas	Endapan kolam pendingin sekunder
	Konsentrasi (ppm)	Konsentrasi (ppm)
<b>Al</b>	553.342,39 ± 8.405,17	162.489,25 ± 888,22
<b>Mn</b>	926,12 ± 94,61	2.831,84 ± 239,92
<b>Fe</b>	9.997,83 ± 857,31	50.026,58 ± 1.637,01
<b>Zn</b>	44.466,27 ± 696,54	13.147,79 ± 211,05
<b>Sc</b>	1,08 ± 0,14	3,28 ± 0,10
<b>Na</b>	734,83 ± 3,50	2.246,45 ± 70,58
<b>La</b>	4,00 ± 0,17	7,29 ± 0,20

### KESIMPULAN

Dari analisis unsur kerak pada alat penukar panas RSG-GAS dengan menggunakan metode analisis aktivasi neutron dapat disimpulkan bahwa kerak yang terbentuk berasal dari unsur-unsur yang terlarut dalam air pendingin sekunder, bukan dari material alat penukar panas.

### DAFTAR PUSTAKA

1. BATAN, Laporan Analisis Keselamatan (LAK) RSG-GAS, bab 6 rev 10.1, 2011.
2. SANTOSA PUJIARTA, Laporan Kegiatan Pemeliharaan Dan Pemeriksaan Alat Penukar Panas (JE01BC02) RSG GAS Pada Sisi Pendingin Sekunder, PRSG, 2013
3. Anonim, "Kurita Handbook of Water Treatment, Cooling Water".
4. IAEA-TECDOC-564, "Practical Aspects of Operating a Neutron Activation Analysis Laboratory", a technical document issued by the IAEA, Vienna 1990.
5. NIST, "Certificate of Analysis Standard Reference Material 2780 *Hard Rock Mine Waste*", Gaithersburg, MD 20899, Certificate Issue date January 31, 2003.