

## ANALISIS PENGARUH WATER INGRESS TERHADAP PERTUMBUHAN GAS CO DAN H<sub>2</sub> DALAM PENDINGIN RGTT200K

Sumijanto, Sriyono, Ign.Djoko Irianto, Arifal  
Pusat Teknologi Reaktor Dan Keselamatan Nuklir – BATAN

### ABSTRAK

**ANALISIS PENGARUH WATER INGRESS TERHADAP PERTUMBUHAN GAS CO DAN H<sub>2</sub> DALAM PENDINGIN RGTT200K.** RGTT200K adalah reaktor berpendingin gas temperatur tinggi 200 MW termal kogenerasi yang direncanakan dibangun di Indonesia untuk memenuhi kebutuhan energi nasional. Helium dipilih sebagai media pendingin RGTT200K dikarenakan helium adalah senyawa *inert* dan mempunyai kapasitas panas tinggi. Guna memperoleh keselamatan dan keandalan operasi RGTT200K maka kandungan gas pengotor dalam pendingin harus diupayakan sesuai dengan persyaratan operasi yang telah ditetapkan. *Water ingress* adalah salah satu penyebab meningkatnya kandungan gas pengotor dalam pendingin RGTT200K yang perlu diminimisasi serendah mungkin. Dalam makalah ini dianalisis pengaruh *water ingress* terhadap pertumbuhan gas CO dan H<sub>2</sub> dalam pendingin RGTT200K. Tujuan analisis ini adalah untuk mengetahui pengaruh *water ingress* terhadap kuantitas spesi gas CO dan H<sub>2</sub> dalam pendingin. Data hasil analisis selanjutnya digunakan untuk perancangan sistem yang terkait dengan penekanan proses *water ingress* dalam pendingin RGTT200K. Analisis dilakukan dengan pemodelan reaksi oksidasi grafit dan air pada kondisi temperatur operasi RGTT200K menggunakan perangkat lunak *SuperPro Designer*. Hasil analisis menunjukkan bahwa kenaikan laju *water ingress* dalam pendingin RGTT200K mulai dari 0,005 hingga 0,024 kg/jam akan berdampak terhadap degradasi grafit mulai dari 0,003 hingga 0,016 kg/jam, dan pertumbuhan kuantitas gas CO mulai dari 0,007 hingga 0,037 kg/jam serta gas H<sub>2</sub> mulai dari 0,001 hingga 0,003 kg/jam.

**Kata kunci :** *water ingress*, oksidasi, grafit, keselamatan, gas pengotor, RGTT200K.

### ABSTRACT

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF WATER INGRESS ON THE GROWTH OF CO AND H<sub>2</sub> GASES IN COOLANT OF RGTT200K.** RGTT200K is a high temperature gas-cooled reactor of 200 MW thermal cogeneration to be built in Indonesia to fulfill national energy needs. Helium is chosen as cooling medium of RGTT200K because helium is an inert compound and it has a high heat capacity. To obtain the safety and reliability of RGTT200K's operations the impurities gas content must be pursued in accordance with the specified operating conditions. *Water ingress* is one of the causes of increasing impurities gas content in the coolant of RGTT200K which should be minimized as low as possible. In this paper the effect of *water ingress* on the growth of CO and H<sub>2</sub> gases in the cooling of RGTT200K are analyzed. The purpose of this analysis is to determine the effect of *water ingress* on the quantity of gas species CO and H<sub>2</sub> in coolant. The analysis results data is then used to design the system associated with suppression of the *water ingress* in the coolant of RGTT200K. Analysis is done by modeling the oxidation of graphite and water at the operating temperature conditions using the *Super Pro Designer* software. The analysis shows that the increase of the *water ingress* rate of RGTT200K ranging from 0.005 up to 0.024 kg / h will affect the degradation of graphite ranging from 0.003 up to 0.016 kg / h, and the quantity of CO gas growth ranging from 0.007 up to 0.037 kg / h and H<sub>2</sub> gas ranging from 0.001 up to 0.003 kg / h.

**Keywords:** *water ingress*, graphite oxidation, safety, impurities gas, RGTT200K.

## PENDAHULUAN

Untuk memenuhi kebutuhan energi di Indonesia ke depan pemerintah telah membuat kebijakan di bidang energi, yang memberi peluang dan tantangan terhadap penerapan dan pengembangan reaktor nuklir untuk berperan dalam pasokan energi nasional<sup>[1]</sup>. Terkait dengan hal tersebut maka Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir (PTRKN)-BATAN mengembangkan RGTT200K sebagai salah satu pemasok energi nasional di masa mendatang. RGTT200K adalah reaktor gas temperatur tinggi dengan daya 200 MWth yang dirancang untuk berkontribusi dalam pemenuhan energi listrik dan energi termal untuk industri serta desalinasi. Penggunaan gas helium yang *inert* sebagai pendingin pada reaktor RGTT200K mempunyai berbagai keuntungan, diantaranya mengeliminasi masalah korosi pada struktur sistem dan komponen reaktor yang dapat mengurangi tingkat keandalan operasi reaktor<sup>[2]</sup>.

Berdasarkan pengalaman operasi reaktor temperatur tinggi, bahwa *water ingress* merupakan peristiwa yang peluang kejadiannya cukup besar dalam sistem pendingin, terutama pada saat pemeliharaan atau pun pada saat reaktor beroperasi. Dampak dari peristiwa tersebut akan mengakibatkan terjadinya peningkatan konsentrasi CO dan H<sub>2</sub> dalam pendingin reaktor akibat air berinteraksi dengan grafit<sup>[3]</sup>. Dampak yang ditimbulkan akibat meningkatnya konsentrasi CO dan H<sub>2</sub> terhadap material sangat bergantung pada konsentrasi pengotor dan temperatur helium, dimana interaksi pengotor dengan material mengarah ke

reaksi oksidasi, karburasi atau dekarburasi paduan logam material struktur reaktor<sup>[4][5]</sup>.

Dalam penelitian ini dilakukan analisis pengaruh *water ingress* terhadap pertumbuhan CO dan H<sub>2</sub> dalam pendingin reaktor. Tujuan analisis ini adalah untuk mengetahui pengaruh *water ingress* terhadap pertumbuhan kuantitas spesi gas CO dan H<sub>2</sub> dalam pendingin. Data hasil analisis ini selanjutnya digunakan untuk perancangan sistem yang terkait dengan penekanan proses *water ingress* dalam pendingin RGTT200K. Analisis dilakukan dengan pemodelan reaksi oksidasi grafit dan air pada kondisi temperatur operasi RGTT200K menggunakan perangkat lunak *SuperPro Designer*.

## KONSEP SIKLUS PENDINGIN RGTT200K

Konsep siklus pendingin RGTT200K ditunjukkan pada Gambar 1.

- Unit reaktor terdiri dari teras reaktor.
- Unit konversi daya terdiri dari penukar panas (IHX) dan proses industri, turbin, rekuperator, *precooler* dan proses desalinasi, kompresor, serta generator listrik.

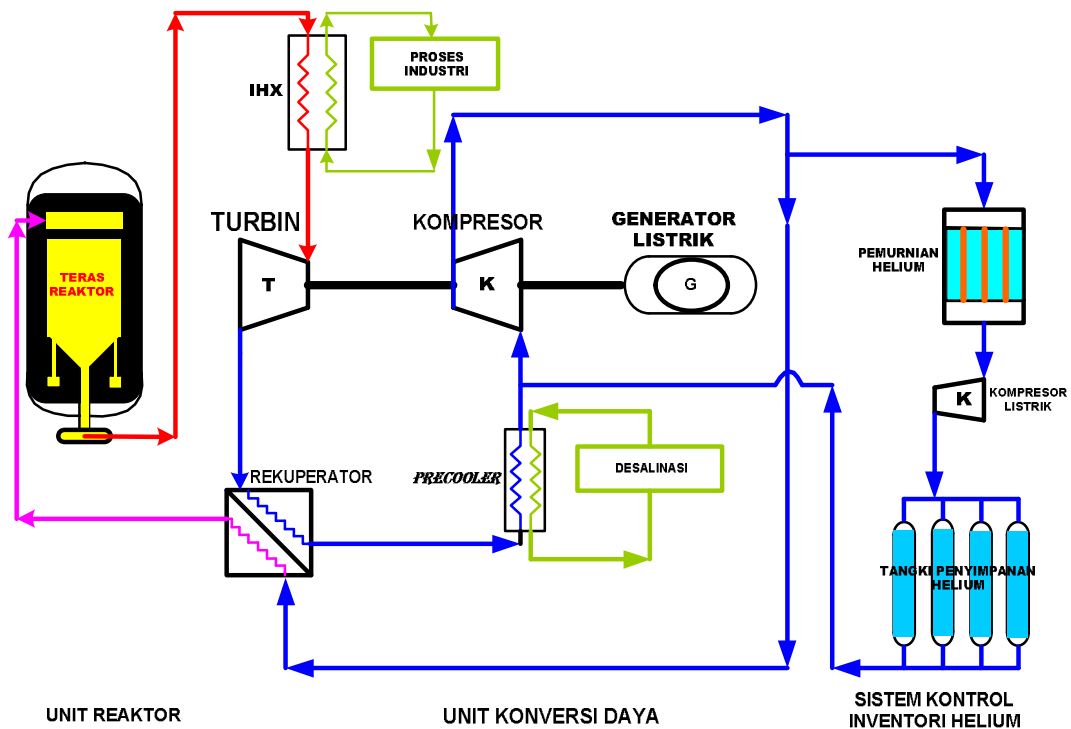
Sistem kontrol inventori helium terdiri dari unit pemurnian helium, kompresor listrik, tangki penyimpanan helium murni.

## MATERIAL TERAS RGTT200K

### Bahan Bakar RGTT200K

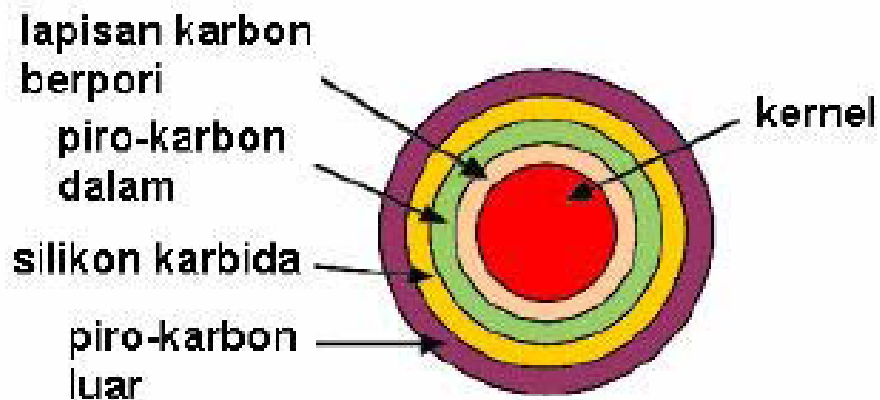
Bahan bakar RGTT200K didesain menggunakan jenis bahan bakar berlapis TRISO yang berbentuk bola (*pebble*). Material bahan bakar (material fisil/kernel) dilapisi

dengan empat lapisan yang terdiri dari lapisan *buffer* produk fisi, lapisan piro-karbon dalam, karbon berpori dengan densitas rendah sebagai silikon karbida dan lapisan piro karbon luar<sup>[6]</sup>.



Gambar 1 : Konsep siklus pendingin RGTT200K

## Bahan bakar partikel TRISO



Gambar 2 : Susunan lapisan bahan bakar berlapis TRISO

## OKSIDASI GRAFIT

Oksidasi grafit oleh air mengikuti reaksi sebagai berikut :



Pengaruh oksidasi terhadap sifat mekanik grafit [7]. Jika grafit mengalami oksidasi secara merata, maka ketebalan grafit akan berkurang sehingga kekuatan mekanis grafit juga akan berkurang terutama *tensile strength* (S) dan *elastic modulus* (E) sesuai dengan persamaan berikut :

$$S/S_0 = \exp^{(-5x)} \quad (2)$$

$$E/E_0 = \exp^{(-6x)} \quad (3)$$

### Laju Oksidasi Grafit

Laju reaksi oksidasi grafit diindikasikan oleh perubahan sejumlah mol grafit yang menghasilkan produk per satuan waktu [8]. Laju reaksi oksidasi sebanding dengan konsentrasi grafit yang dipangkatkan dengan orde reaksinya.

Secara umum persamaan yang menyatakan laju reaksi  $v = \frac{d(A)}{dt}$  sebagai fungsi konsentrasi semua spesies yang ada, termasuk produknya, dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{d(A)}{dt} = k [A]^x \quad (4)$$

dengan,

- [A] = konsentrasi reaktan dalam hal ini grafit atau H<sub>2</sub>O,
- v = kecepatan reaksi
- k = konstanta laju reaksi
- x = orde reaksi

Orde reaksi terhadap suatu komponen merupakan pangkat dari konsentrasi komponen itu dalam hukum laju. Sejumlah energi yang dibutuhkan untuk terjadinya suatu reaksi dinamakan energi pengaktifan (*E<sub>a</sub>*). Laju reaksi meningkat seiring dengan meningkatnya temperatur karena energi kinetik pereaksi rerata dan jumlah molekul yang memiliki *E<sub>a</sub>* minimum meningkat. Energi pengaktifan diperoleh melalui regresi linier yang dihasilkan dari persamaan Arrhenius yang dilogaritmakan dengan memplot 1/K (kelvin<sup>-1</sup>) sebagai sumbu *x* dan ln K sebagai sumbu *y*. Persamaan Arrhenius yang digunakan adalah :

$$k = A e^{-E_a/RT} \quad (5)$$

dengan,

- k = konstanta laju reaksi
- A = faktor frekuensi
- E<sub>a</sub> = energi pengaktifan
- R = tetapan gas universal
- T = temperatur

Persamaan Arrhenius di atas menggambarkan bahwa nilai konstanta laju reaksi (k) dapat dicari melalui nilai faktor frekuensi (A) dengan eksponensial energi aktivasi per tetapan gas universal (R) dan temperatur. Secara garis besar, persamaan empirik ini menggambarkan kebergantungan konstanta laju reaksi terhadap temperatur. Semakin meningkat temperatur reaksi, konstanta laju reaksi akan semakin meningkat dan begitu pula sebaliknya.

## METODOLOGI

Pengaruh laju *water ingress* terhadap pertumbuhan spesi CO dan H<sub>2</sub> dalam pendingin

RGTT200K dihitung melalui proses oksidasi grafit oleh oksidator H<sub>2</sub>O (*water ingress*) dalam teras RGTT200K. Perhitungan proses oksidasi grafit dilakukan melalui simulasi komputasi menggunakan perangkat lunak *Super Pro Designer*. Input data karakteristik pereaksi dan parameter proses oksidasi pada kondisi temperatur operasi dan variabel konsentrasi oksidator dalam pendingin RGTT200K.

Perhitungan pertumbuhan gas CO dan H<sub>2</sub> dalam pendingin RGTT200K dalam proses oksidasi grafit dan air, dilakukan melalui pemodelan kinetika reaksi menggunakan perangkat lunak *SuperPro Designer*. Dalam

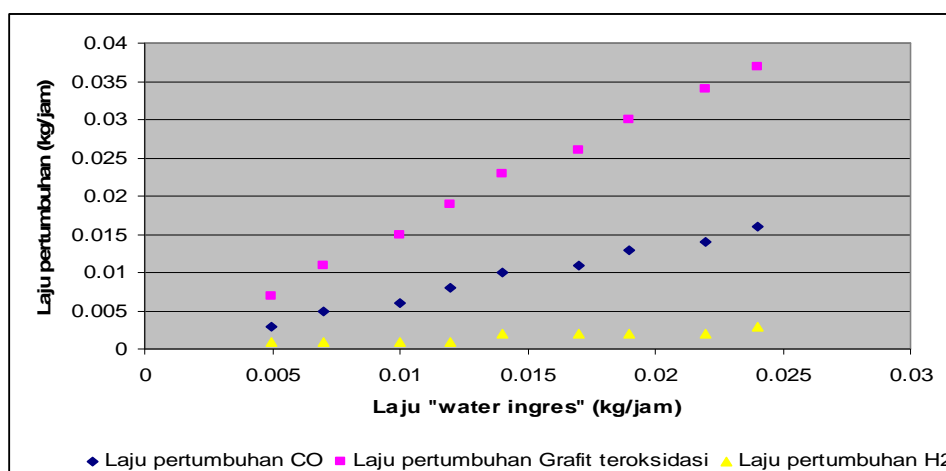
pemodelan ini digunakan *input* reaktan utama berupa campuran gas helium pada laju alir 119,993 kg/jam, grafit pada laju alir 3,600 kg/jam dan H<sub>2</sub>O (*water ingress*) dengan laju alir divariasikan mulai dari 0,005 s/d 0,024 kg/jam, dan temperatur 950 °C. Variasi laju alir H<sub>2</sub>O ini merupakan simulasi potensi *water ingress* yang dimungkinkan terjadi dalam pendingin reaktor.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan *water ingress* terhadap pertumbuhan CO dan H<sub>2</sub> dalam pendingin RGTT200K ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 3.

**Tabel 1 : Hasil perhitungan *water ingress* terhadap pertumbuhan CO dan H<sub>2</sub> dalam pendingin RGTT200K**

No.	Laju water ingress (kg /jam)	Laju Grafit Teroksidasi (kg /jam)	Laju pertumbuhan CO (kg /jam )	Laju pertumbuhan H <sub>2</sub> (kg /jam )	Sisa H <sub>2</sub> O kg/ jam
1.	0,005	0,003	0,007	0,001	0,000
2.	0,007	0,005	0,011	0,001	0,000
3.	0,010	0,006	0,015	0,001	0,000
4.	0,012	0,008	0,019	0,001	0,000
5.	0,014	0,010	0,023	0,002	0,000
6.	0,017	0,011	0,026	0,002	0,000
7.	0,019	0,013	0,030	0,002	0,000
8.	0,022	0,014	0,034	0,002	0,000
9.	0,024	0,016	0,037	0,003	0,000



Gambar 3 : Perhitungan pertumbuhan CO, H<sub>2</sub>, dan grafit teroksidasi dalam pendingin RGTT200K sebagai fungsi laju *water ingress*.

Dari Tabel 1 dan Gambar 3 dapat diketahui bahwa kenaikan laju alir massa *water ingress* dari 0,005 hingga 0,024 kg/jam akan menghasilkan peningkatan laju pembentukan massa spesi CO dalam pendingin dari 0,007 hingga 0,037 kg/jam dan H<sub>2</sub> dari 0,001 hingga 0,003 kg/jam.

Pada kondisi tersebut semua air (H<sub>2</sub>O) secara keseluruhan bereaksi hal ini terlihat pada hasil reaksi dimana air habis. Ini berarti bahwa setelah melewati teras maka semua kandungan air dalam pendingin reaktor akan habis karena bereaksi dengan grafit dan kandungan gas CO dan H<sub>2</sub> dalam pendingin keluar teras meningkat. Dapat dikatakan bahwa kandungan air hanya akan ada pada posisi *water ingress* dimulai sampai pada titik akhir di teras reaktor (keluar teras).

Jika *water ingress* ini berlangsung secara kontinu maka grafit dalam teras juga akan secara terus-menerus terdegradasi dan hal ini akan mempengaruhi integritas struktur teras dan kelongsong bahan bakar bola. Dari gambar 3 terlihat kenaikan *water ingress* menyebabkan jumlah grafit yang teroksidasi meningkat mulai dari 0,003 kg/jam hingga 0,016 kg/jam.

Untuk menurunkan kandungan air dalam pendingin reaktor, diupayakan melalui perancangan sistem mekanik dengan tingkat kebocoran minimal. Selain hal tersebut dapat juga dilakukan melalui sistem pemurnian helium pendingin RGTT200K dimana kapasitas laju pemurniannya harus dapat mengimbangi laju *water ingress*.

## KESIMPULAN

- Kenaikan laju *water ingress* dalam pendingin

RGTT200K mulai dari 0,005 hingga 0,024 kg/jam berdampak pada degradasi grafit mulai dari 0,003 hingga 0,016 kg/jam, dan pertumbuhan kuantitas gas CO mulai dari 0,007 hingga 0,037 kg/jam serta gas H<sub>2</sub> mulai dari 0,001 hingga 0,003 kg/jam.

- *Water ingress* mempunyai dampak yang sangat kompleks dalam sistem pendingin RGTT200K yaitu berpotensi menambah spesi pengotor CO, dan H<sub>2</sub>, dimana spesi ini juga merusak struktur material reaktor.

Langkah yang perlu dilakukan untuk mengatasi *water ingress* adalah perancangan sistem mekanik dalam pendingin dengan tingkat kebocoran minimal, dan perancangan sistem pemurnian helium yang kapasitas laju pemurnian mampu mengatasi laju *water ingress*.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, "Kebijakan Energi Nasional", Peraturan Presiden RI Nomor 5 Tahun 2006.
2. Gastaldi, O, et al "Helium Purification", Proceedings HTR 2006, 3<sup>rd</sup> International Topical Meeting on High Temperature Reactor Technology, Johannesburg, South Africa, 2006.
3. J. Wolters, "Aspect of Water And Air Ingress Accident in HTRs", Institut für Nukleare Sicherheitsforschung Kernforschungsanlage, Jülich, Germany.
4. Demien K, "Material Degradation in High Temperature, The AREVA-NP Corrosion Loop, AREVA-NP Technical Center Le Creusot France", Proceedings HTR 2006 3<sup>rd</sup> International Topical Meeting on High Temperature Reactor Technology, Johannesburg South Africa, 2006.

5. Sumijanto, “Kajian Dampak Gas Pengotor Pendingin Primer Terhadap Integritas Material Struktur RGTT”, *Majalah Ilmiah Teknologi Keselamatan Nuklir Sigma Epsilon*, Volume 14, Nomor 2, Mei 2010.
6. Suwoto dkk, “Analisis Sensitivitas Parametrik Dalam Perhitungan Kritikalitas Sel Kisi Kernel Bahan Bakar RGTT Menggunakan Program Monte Carlo MCNP5”, *Prosiding Seminar Nasional ke - 16 Teknologi Keselamatan PLTN dan Fasilitas Nuklir*, Surabaya 28 Juli 2010.
7. *Graphite Design Handbook*, General Atomics, 1988
8. Espenson JH, “*Chemical Kinetics and Reaction Mechanism*”, 2<sup>rd</sup>, New York: McGraw-Hill, 1968.