

## **ANALISIS DAN PEMODELAN *CYCLONE SEPARATOR* SEBAGAI *PREFILTER* DEBU KARBON PADA SISTEM PEMURNIAN HELIUM REAKTOR RGTT200K**

**Sriyono**

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir (PTRKN) – BATAN  
Kawasan PUSPIPTEK Gd. 80, Serpong, Tangerang Selatan, BANTEN.  
Telp.: 62-21-7560912, Fax.: 62-21-7560913, Kode Pos : 15310  
email: [zriyono@batan.go.id](mailto:zriyono@batan.go.id)

### **ABSTRAK**

**ANALISIS DAN PEMODELAN *CYCLONE SEPARATOR* SEBAGAI *PREFILTER* DEBU KARBON PADA SISTEM PEMURNIAN HELIUM REAKTOR RGTT200K.** Debu karbon yang timbul akibat gesekan bola-bola bahan bakar di teras reaktor RGTT200K mempunyai ukuran bervariasi, yaitu antara 0,1 mikron sampai dengan 10 mikron. Debu karbon berukuran lebih dari 1 mikron apabila langsung disaring dengan filter HEPA maka akan memudahkan filter mengalami sumbatan atau *blockage* sehingga memperpendek umur pakai HEPA. Hal ini secara teknis dan ekonomis sangat merugikan. Untuk mengantisipasi permasalahan ini maka dirancanglah sebuah *Cyclone Separator* sebagai *prefilter* untuk memisahkan terlebih dahulu partikel berukuran lebih dari 1 mikron, yang ditempatkan pada aliran sebelum masuk ke filter HEPA. *Cyclone separator* dimodelkan dengan metode *Koch* dan *Licht* menggunakan *software* CHEMCAD. Efisiensi proses pemisahan dan distribusi partikel dianalisis dalam penelitian ini. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui distribusi partikel debu karbon setelah melewati *Cyclone Separator* pada aliran sebelum HEPA. Aliran helium masuk ke *Cyclone separator* dikondisikan pada tekanan 5 bar, temperatur 116 °C dan laju alir 1,2 kg/s. Distribusi partikel debu karbon pada aliran *inlet* ini adalah 35% berukuran  $\geq 1$  mikron berdasarkan pengalaman pengoperasian AVR (*Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor, pebble bed reactor*) di Jerman. Berdasarkan hasil analisis disimpulkan bahwa 71,8% partikel besar ( $\geq 1$  mikron) terpisahkan dan dibuang melalui *dust hopper*, sedangkan pada *outlet Cyclone* (aliran gas bersih) terdapat pertambahan partikel kecil ( $< 1$  mikron) sebesar 11,4%. Penambahan ini dikarenakan adanya proses tumbukan antar partikel ataupun tumbukan partikel debu dengan dinding *Cyclone*. Pada akhir proses filtrasi Sistem Pemurnian Helium yang dilakukan dengan *Cyclone* dan filter HEPA terdapat 99,01% debu karbon sudah terambil.

**Kata kunci:** *prefilter*, debu karbon, *Cyclone Separator*, pemurnian helium, RGTT200K

### **ABSTRACT**

**MODELING AND ANALYSIS OF *CYCLONE SEPARATOR* AS CARBON DUST PRE FILTER OF HELIUM PURIFICATION SYSTEM OF RGTT200K REACTOR.** Carbon dust which generated from RGTT200K reactor core caused by sphere fuels friction varies from 0.1 micron to 10 microns. When carbon dust particle size is larger than 1 micron and directly filtered by HEPA, it would enhance the filter blockage thus shorten its lifetime. It is technically and economically very harmful. To anticipate these problems, *Cyclone Separator* is designed as a pre filter and placed on the stream before entering the HEPA. The purpose of this modeling is to determine the filtration efficiency of carbon dust when *Cyclone Separator* is added to the flow before the HEPA. *Cyclone separator* is modeled with *Koch* and *Licht* model by using CHEMCAD software. The particle distribution and separation process efficiency was analyzed in this research. The aimed of this research is to understand the particle distribution after passing *Cyclone*. Helium flows into *Cyclone Separator* is conditioned on the pressure of 5 bar, 116 °C and flow rate 1.2 kg/s. Carbon dust particle distribution in the inlet stream is 35% larger than 1 micron appropriate to the AVR (*Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor, pebble bed reactor*) operational experiences. Based on the analysis it can be concluded that 71.8% of large particle ( $\geq 1$  microns) is separated and is discharged through the *dust hopper*, while the smaller size particle ( $< 1$  micron) at the other outlet stream is increase to 11.4%. This addition is due to inter-particle collisions and dust particle crash to the inner *Cyclone* wall. At the end of filtration at Helium Purification System (HPS) both of *Cyclone* and HEPA filtering, almost 99.01% carbon dust is cleaned.

**Keywords:** *pre filter*, carbon dust, *Cyclone Separator*, helium purification, RGTT200K

## PENDAHULUAN

RGTT200K adalah reaktor gas temperatur tinggi berdaya 200 MW termal yang didesain untuk kogenerasi. Reaktor ini didesain menggunakan bahan bakar berbentuk *pebble* (bola) dengan dilapisi TRISO (*Triple Isotropic Carbon Coated*)<sup>[1]</sup>. Pada saat reaktor beroperasi normal, bahan bakar di teras teraliri oleh pendingin helium dengan kecepatan tinggi (120 kg/s), mengakibatkan bola-bola bahan bakar saling bergesekan. Gesekan tersebut akan mengakibatkan sebagian pelapis karbon terkikis dan terbawa ke aliran pendingin helium<sup>[2]</sup>.

Berdasarkan pengalaman pengoperasian AVR (*Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor*) di Jerman (reaktor HTGR yang juga berbahan bakar *pebble*), ukuran debu karbon yang dihasilkan bervariasi dari 0,1 mikron sampai dengan 10 mikron<sup>[3]</sup>. Debu karbon ini terbawa aliran helium dan menyebar ke seluruh sistem pendingin. Distribusi debu pada sistem pendingin sangat tergantung pada ukuran partikel. Debu ukuran kecil dibawah 1 mikron akan ikut ke dalam aliran, sedangkan debu dengan ukuran lebih dari 1 mikron akan mudah mengendap pada permukaan pipa atau komponen reaktor (Turbin, Pompa, *Compressor*, *Intermediate Heat Exchanger*, *Recuperator* dll.) karena fenomena presipitasi gravitasi (terendapkan akibat adanya gravitasi)<sup>[3,4]</sup>.

Debu karbon dalam aliran pendingin harus diantisipasi karena apabila debu karbon terendapkan dan terakumulasi di permukaan pipa atau di dalam komponen akan mengurangi kemampuan perpindahan panas. Selain itu debu karbon yang terbawa di aliran pendingin juga memungkinkan berdampak pada adanya korosi erosi yang mengakibatkan penipisan pipa (*thinning*)<sup>[4]</sup>.

Pada desain reaktor RGTT200K, debu karbon dibersihkan dalam Sistem Pemurnian Helium (SPH) dengan menggunakan filter HEPA secara terus-menerus. Sistem ini akan mengambil 1% dari aliran utama sehingga sekitar 1,2 kg/detik setiap saat aliran dimurnikan. Pada makalah sebelumnya telah dilakukan analisis proses filtrasi dengan filter HEPA tetapi pada makalah tersebut belum mempertimbangkan adanya dampak partikel berukuran besar (> 1 mikron) yang masuk ke aliran pendingin<sup>[5]</sup>.

Efisiensi dan umur pakai filter HEPA sangat dipengaruhi oleh ukuran partikel debu yang akan disaring. Pada kondisi lingkungan udara normal, umur HEPA sekitar 3-4 tahun. Apabila ukuran debu karbon yang disaring jauh melebihi porositas HEPA, maka akan memperpendek umur pakai HEPA. Hal ini secara teknis maupun ekonomis sangat tidak menguntungkan. Agar umur pakai HEPA lebih optimal sesuai dengan desainnya maka perlu dipasang sebuah *Cyclone Separator* pada aliran sebelum masuk ke filter HEPA. *Cyclone Separator* ini berfungsi sebagai *prefilter*. Tujuan digunakannya *Cyclone Separator* ini adalah untuk mengambil terlebih dahulu debu karbon yang berukuran besar sehingga penyumbatan (*blockage*) porositas HEPA dapat diantisipasi. Pada desain reaktor PBMR (*Pebble Bed Modular Reactor*) Afrika Selatan, *Cyclone Separator* juga digunakan sebagai *prefilter* debu karbon pada Sistem Pemurnian Pendinginnya<sup>[6]</sup>.

Makalah ini menyajikan hasil analisis dan pemodelan sistem filtrasi dengan penambahan sebuah *Cyclone Separator* pada aliran sebelum masuk filter HEPA dengan *software* CHEMCAD<sup>[7]</sup>. Dimensi *Cyclone Separator* dirancang menyesuaikan parameter aliran masuk ke SPH yaitu tekanan

5 MPa (50 bar, 1 MPa setara dengan 10 bar), temperatur 116°C dan laju alir 1,2 kg/s. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui distribusi ukuran partikel dan mengetahui efektifitas pengambilan debu karbon berukuran besar setelah ditambahkan *Cyclone Separator* pada aliran inlet SPH.

## LANDASAN TEORI

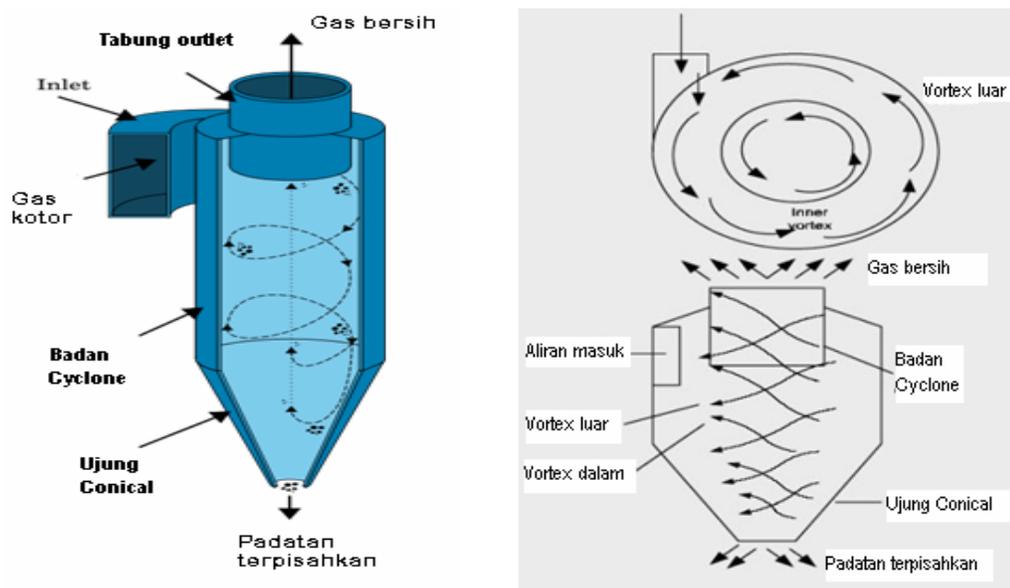
### Prinsip Kerja *Cyclone Separator*

*Cyclone Separator* adalah unit operasi *dust collector* yang menggunakan prinsip kerja gaya sentrifugal digunakan untuk memisahkan gas dan material/debu yang terbawa dalam aliran. *Cyclone Separator* lebih efisien jika bekerja pada tekanan rendah. *Cyclone* atau *centrifugal separator* terdiri dari 3 bagian yaitu<sup>[8]</sup>:

1. Badan berbentuk silinder vertikal dengan bagian bawah berbentuk corong (*conical*),
2. Pipa *inlet* tangensial gas/fluida,
3. Pipa *outlet* pada bagian bawah untuk mengeluarkan partikulat hasil pemisahan, dan pipa *outlet* gas pada bagian atas untuk mengalirkan gas bersih.

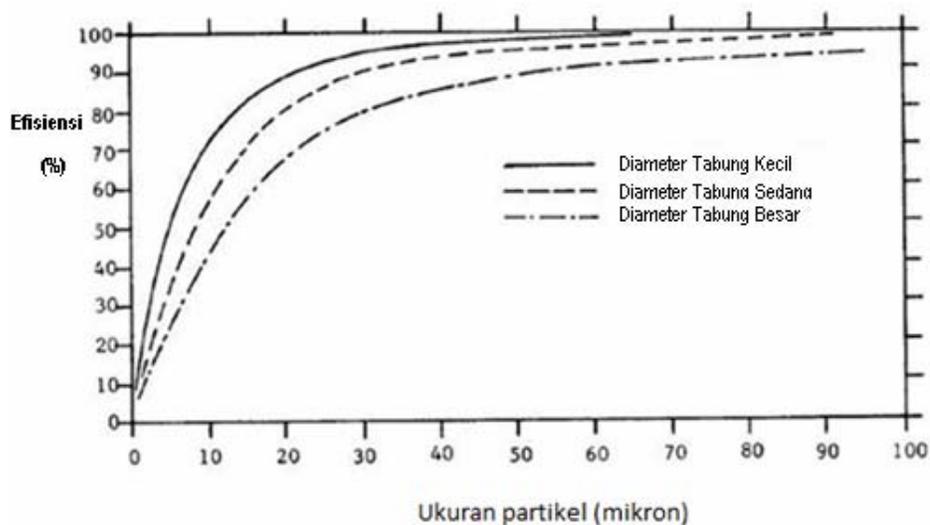
Prinsip aliran pada *Cyclone Separator* ini ditunjukkan pada Gambar 1<sup>[8]</sup>.

Bentuk kerucut *cyclone* menginduksikan aliran gas atau fluida untuk berputar, menciptakan *vortex*, sehingga material padatan akan terpisah ke dasar kerucut, sedangkan udara bersih akan kembali mengalir ke atas melalui pusat *Cyclone*. Efektifitas pemisahan pada *Cyclone* sangat dipengaruhi oleh massa jenis dan ukuran partikel yang terbawa dalam aliran fluida. Gaya sentrifugal timbul saat partikulat di dalam udara masuk ke puncak kolektor silindris pada suatu sudut dan diputar dengan cepat mengarah ke bawah seperti pusaran air. Aliran udara mengalir secara melingkar dan partikulat yang lebih berat mengarah ke bawah setelah menabrak ke dinding *Cyclone*, dan meluncur ke bawah ke ujung corong *conical* yang disebut dengan *dust hopper*.



Gambar 1. Prinsip kerja *Cyclone Separator*<sup>[9]</sup>

*Cyclone separator* sangat cocok untuk memisahkan material yang terbawa oleh aliran gas, dengan diameter material < 10 mikron. Hubungan efisiensi *Cyclone* dengan ukuran partikel debu dapat dilihat pada Gambar 2<sup>[8,9]</sup>.



**Gambar 2. Hubungan diameter partikel debu terhadap efisiensi pemisahan pada *Cyclone Separator***<sup>[8,9]</sup>

Berdasarkan Hukum *Stokes*, efisiensi pemisahan partikel padatan pada *Cyclone Separator* tergantung pada beberapa parameter, antara lain adalah:

1. Ukuran partikel. Semakin besar ukuran partikel, maka efisiensi *Cyclone* akan semakin meningkat karena diameter partikel berbanding lurus dengan *terminal settling velocity* (kecepatan partikel berhenti bergerak)
3. Diameter *Cyclone*. Diameter *Cyclone* berbanding terbalik dengan gaya sentrifugal, sehingga semakin kecil diameter *Cyclone* maka semakin besar efisiensinya. Apabila laju fluida gas sangat besar, bukan diameter *Cyclone* yang diperbesar tetapi jumlah *Cyclone* yang diperbanyak secara paralel. Dengan membagi aliran utama menjadi beberapa aliran, dan pada setiap aliran dipasang *Cyclone Separator* dengan diameter yang kecil (optimal) maka akan didapatkan efisiensi pemisahan yang lebih besar. Hal ini jauh lebih efisien dibandingkan memasang sebuah *Cyclone* berdiameter besar pada satu aliran masuk.
4. Viskositas gas. Semakin besar viskositas gas yang mengalir pada *inlet Cyclone* maka efisiensi *Cyclone* semakin kecil.
5. Densitas partikel. Semakin besar densitas partikel maka akan semakin besar efisiensi *Cyclone*. Partikel dengan densitas yang besar akan mudah jatuh karena adanya gravitasi bumi.
6. *Dust loading* (jumlah partikel debu dalam gas). Semakin banyak *dust loading* maka akan semakin baik efisiensi karena kemungkinan terjadinya tumbukan antar partikel semakin besar.
7. *Inlet velocity* (kecepatan masuk gas), Semakin besar *inlet velocity* maka akan semakin besar efisiensi *Cyclone*, karena memudahkan partikel yang terbawa bertumbukan dengan dinding *Cyclone* sehingga debu mudah masuk ke dalam *dust hopper*.

### Gaya Sentrifugal ( $F_c$ )

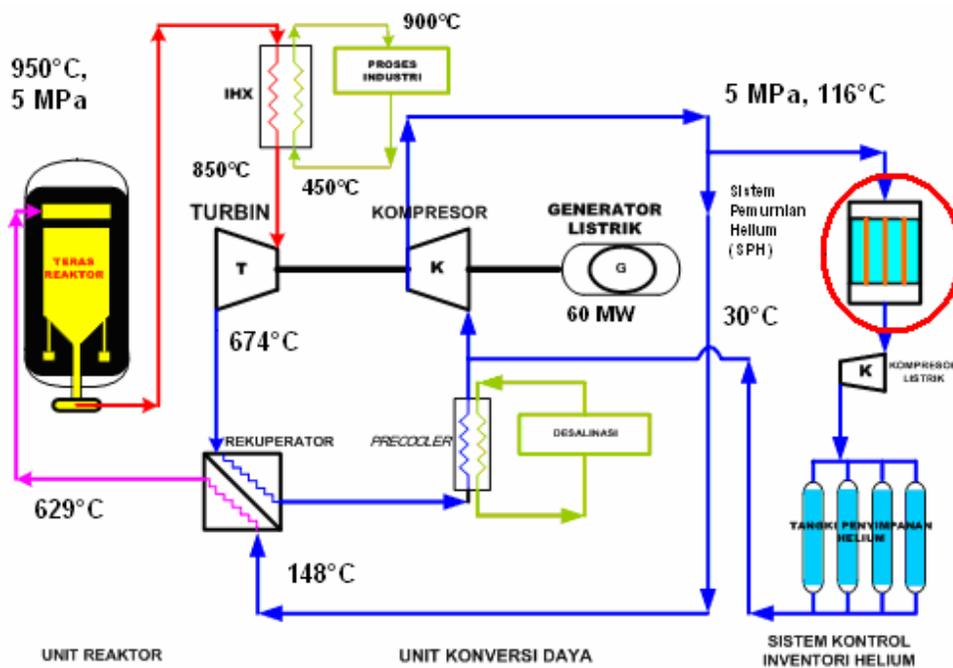
Pemisahan debu pada *Cyclone Separator* sangat dipengaruhi oleh besar/kecilnya gaya sentrifugal ( $F_c$ ). Kecepatan pengendapan partikel dalam gas dapat dipercepat jika gaya sentrifugal ( $F_c$ ) lebih besar dari gaya gravitasi ( $g$ ). Di dalam *Cyclone*, gas diumpankan secara tangensial ke dalam *Vessel* silinder dengan kecepatan tertentu. Debu padatan menumbuk dinding, kemudian bergerak turun menuju ke dasar *Vessel* terpisah dari arus gas dan material debu akan terkumpul diujung *Vessel* untuk dibuang. Gas bersih akan keluar pada bagian atas tengah *Vessel*.

*Cyclone Separator* ini sangat efektif jika gas berisi material yang sebagian besar berukuran kurang dari 10 mikron. *Cyclone* paling banyak digunakan sebagai separator (pemisah). Karena gerakan memutar gas dalam *Cyclone* yang muncul akibat pemasukan tangensial dan tidak ada tambahan energi yang dimasukkan maka tidak ada *vorteks*. Ada beberapa kajian tentang *flow pattern* dalam *Cyclone*<sup>[9]</sup>.

*Cyclone Separator* harus dirancang dengan membuat gaya sentrifugal lebih besar dari gaya friksi. Oleh karena itu, kecepatan tangensial harus tinggi dan kecepatan radial harus sekecil mungkin. Persamaan untuk menghitung kecepatan berhentinya debu karbon berdasarkan Hukum *Stokes* adalah sebagai berikut<sup>[9,10]</sup>:

$$V_{\downarrow tR} = (D_p \hat{p}^2 2g(\rho_p - \rho) V_{\downarrow} \tan^2 2) / (18\mu \cdot g \cdot r) \dots\dots\dots(1)$$

dengan :  $V_{\downarrow tR}$  = terminal radial velocity,  $D_p$  = diameter partikel,  $g$  = konstanta gravitasi,  $\rho_p$  = densitas partikel,  $\rho$  = densitas fluida,  $\mu$  = viskositas fluida,  $V_{\downarrow}$  = kecepatan tangensial,  $r$  = jari-jari *Cyclone*



Gambar 3. Sistem konversi energi reaktor RGTT200K dengan Sistem Pemurnian Helium (SPH)

## METODOLOGI

Aliran utama pendingin primer yang keluar dari teras reaktor RGTT200K mempunyai laju alir massa sebesar 120 kg/detik, tekanan 5 MPa (50 bar), dan temperatur 950°C. Aliran ini akan dimanfaatkan sebagai pemasok panas pada proses produksi hidrogen, pembangkit energi listrik, dan proses desalinasi. Sistem konversi energi reaktor RGTT200K ditunjukkan pada Gambar 3.

Laju alir *inlet* sistem kontrol kimia helium adalah 1% (1,2 kg/s) dari laju alir pendingin primer sebesar 120 kg/s. Sisa aliran (99%) akan kembali ke teras. Dengan laju alir sebesar 1% ini dirancang mampu mempertahankan kemurnian helium pendingin primer. Aliran fluida masuk sistem kontrol kimia helium diambil dari titik keluar kompresor dengan temperature 116°C dan tekanan 5,0 Mpa (50 bar). Kondisi ini diambil pada tekanan pendingin yang tinggi namun suhunya cukup rendah. Tekanan ini dirancang mampu melawan *pressure drop* yang terjadi dalam sistem. Nilai 1% ditentukan berdasarkan asumsi bahwa laju alir pengotor (*impurities*) helium yang terjadi karena *air/water ingress* jauh lebih kecil dari 1%, sehingga laju alir tersebut sudah memadai untuk memurnikan helium dari pengotor yang terjadi pada sistem pendingin RGTT200K. Hasil pemurnian akan disimpan pada tangki-tangki penyimpanan helium, dan diinjeksikan kembali ke pendingin melalui *inlet* kompresor.

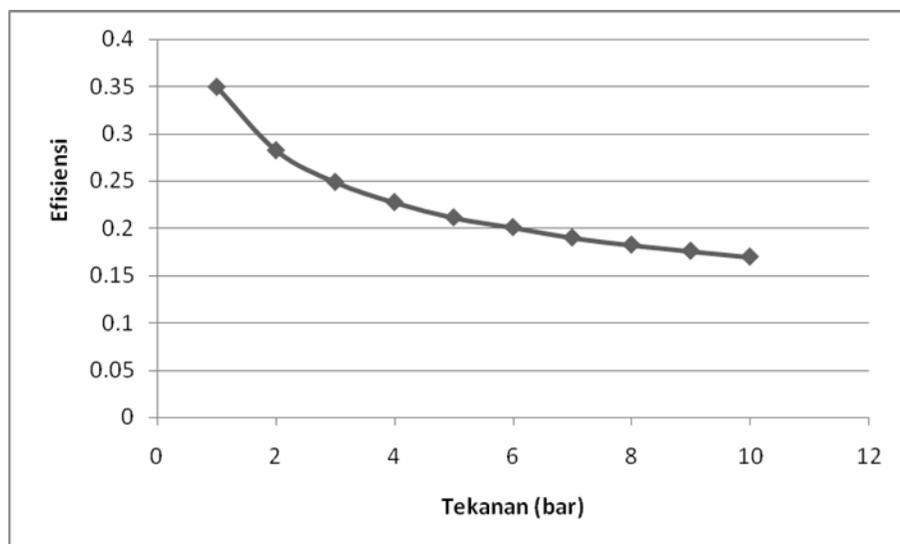
*Cyclone Separator* dimodelkan dengan menggunakan software CHEMCAD, diletakkan pada aliran sebelum *inlet* ke filter HEPA SPH. Distribusi ukuran partikel debu karbon, 35% berukuran  $\geq 1$  mikron sesuai pengalaman pengoperasian AVR di Jerman yang juga menggunakan bahan bakar *pebble*. Distribusi partikel debu karbon pada *inlet Cyclone* diasumsikan terdiri dari debu berukuran 0,1 mikron, 0,3 mikron, 0,5 mikron, 1,0 mikron, 5,0 mikron dan 10,0 mikron. Distribusi partikel debu dibawah 1 mikron sebanyak 65% sedangkan distribusi debu berukuran  $\geq 1$  mikron sebanyak 35 % (fraksi berat partikel 1 mikron sebanyak 0,15; fraksi berat partikel 5 mikron sebanyak 0,1; dan fraksi berat partikel 10 mikron sebanyak 0,1).

Model *Cyclone* yang digunakan adalah *Koch* dan *Licht*<sup>[8]</sup>. Metode ini digunakan dengan asumsi bahwa kecepatan tangensial partikel debu dan gas helium adalah sama, dan kecepatan tangensial aliran gas *inlet* sangat tergantung pada radius *Cyclone*. Diameter *Cyclone* 0,5 meter, dibuat tidak besar, karena semakin kecil *Cyclone* maka efisiensi pemisahan semakin besar pula. *Cyclone* sangat cocok beroperasi pada tekanan dan temperatur rendah.

Hasil pemodelan proses pemisahan debu karbon berukuran besar ( $\geq 1$  mikron) dengan *prefilter Cyclone Separator* pada aliran masuk SPH ditunjukkan dalam Gambar 4. Komponen-komponen sistem yang dimodelkan adalah *Divider*, *Heat Exchanger (HE)*, *Expander*, *Cyclone Separator*, *Filter HEPA*, dan *Mixer*. *Heat Exchanger* digunakan untuk menurunkan temperatur, *Expander* digunakan untuk menurunkan tekanan dari 50 bar ke 5 bar, *Cyclone Separator* digunakan sebagai *prefilter*, *Divider* digunakan untuk membagi aliran, sedangkan *Mixer* digunakan untuk mencampur aliran.

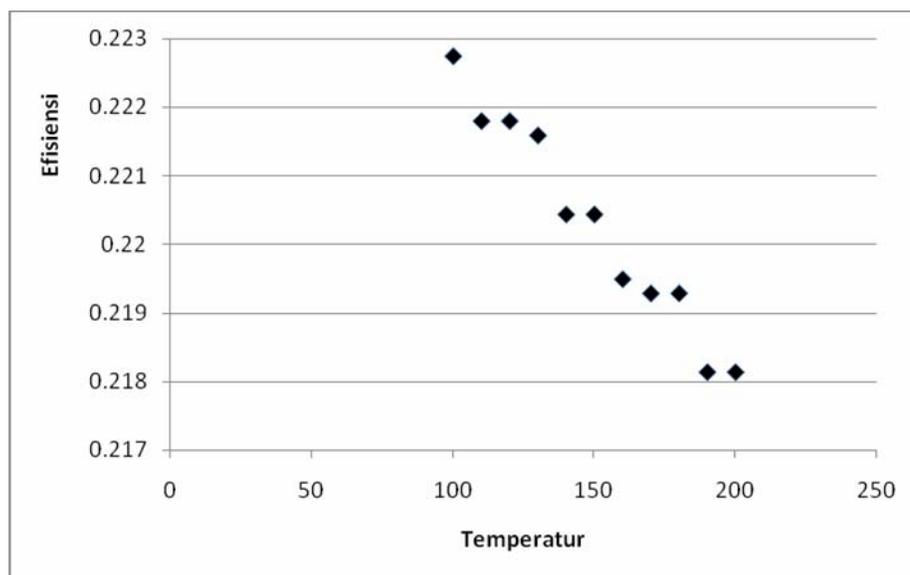
Berdasarkan Hukum *Stokes* diketahui bahwa semakin kecil tekanan maka efisiensi pemisahan semakin besar. Nilai 5 bar diambil, berdasarkan rasio maksimum penurunan tekanan yang dapat dilakukan oleh *Expander*.





**Gambar 5. Pengaruh tekanan inlet terhadap efisiensi pemisahan pada Cyclone**

Pada pemodelan ini, pengaruh temperatur terhadap efisiensi pemisahan *Cyclone* juga diamati. Temperatur aliran masuk ke *Cyclone* diperkirakan adalah 116°C, sesuai desain reaktor RGTT200K. Hasil pengamatan pengaruh temperatur terhadap efisiensi pemisahan ditunjukkan pada Gambar 6. Pada temperatur rendah, efisiensi pemisahan lebih besar dibandingkan pada temperatur tinggi, hal ini diakibatkan oleh perubahan viskositas gas helium. Pada temperatur tinggi, viskositas gas helium menjadi lebih besar sehingga mengakibatkan efisiensi pemisahan menjadi lebih rendah, sesuai teori yang dikemukakan oleh Parker dkk<sup>[13]</sup>.



**Gambar 6. Pengaruh temperatur terhadap efisiensi Cyclone**

*Cyclone* adalah alat pemisah padatan debu karbon yang cocok digunakan untuk memisahkan debu karbon berukuran  $\geq 1$  mikron. Distribusi partikel sebelum dan setelah memasuki *Cyclone Separator* ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1. Distribusi ukuran partikel pada aliran inlet, dan 2 buah outlet Cyclone**

Ukuran partikel debu karbon (mikron)	Aliran inlet SPH / Stream No. 1 (fraksi berat)	Aliran dust hopper Cyclone / Stream No. 18 (fraksi berat)	Aliran helium bersih setelah Cyclone / Stream No. 19 (fraksi berat)
0,10	0,3	0,07518	0,36934
0,30	0,2	0,10177	0,23030
0,50	0,15	0,10501	0,16388
1,00	0,15	0,15918	0,14717
5,00	0,10	0,24339	0,05577
10,00	0,10	0,31546	0,03355

Pada aliran *inlet Cyclone*, jumlah partikel debu berukuran  $\geq 1$  mikron sejumlah 35% dari keseluruhan debu karbon yang ada. Setelah melewati *Cyclone* dua aliran *output* dianalisis yaitu aliran *outlet dust hopper (stream No. 18)* dan aliran helium bersih (*stream No. 19*). Pada aliran *outlet dust hopper*, distribusi partikel  $\geq 1$  mikron, sebanyak 0,718 fraksi berat, atau 71,8%. Keadaan ini menunjukkan bahwa *Cyclone Separator* tepat digunakan sebagai *prefilter* untuk memisahkan terlebih dahulu debu karbon berukuran besar sebelum aliran diumpankan ke filter HEPA.

Sedangkan pada aliran helium bersih terdapat sisa partikel debu berukuran  $\geq 1$  mikron sebanyak 0,236 fraksi berat atau 23,6%. Pada aliran ini pula, jumlah partikel debu kecil ( $< 1$  mikron) mengalami pertambahan sebanyak 11,4 %, dari semula sebanyak 65% menjadi 76,4 %. Pertambahan ini diakibatkan oleh adanya tumbukan antar partikel debu karbon dalam *Cyclone*, atau juga akibat tumbukan antara debu karbon dengan dinding *Cyclone*.

Hasil akhir proses pengambilan debu karbon, baik dengan *Cyclone* ataupun dengan filter HEPA ditunjukkan dalam Tabel 2. Pada aliran akhir limbah debu karbon (*stream No. 20*) sebanyak 99,01 % debu karbon telah terambil.

**Tabel 2. Stream properties proses pemisahan debu karbon pada model dengan prefilter Cyclone Separator**

<i>Stream properties</i>	1	18	19	20
No. stream	1	18	19	20
Nama stream				
Temperatur,(°C)	600	116,7	116,7	116,7
Tekanan, (bar)	50	4,9997	4,9997	4,9997
Entalpi, (MJ/jam)	2161,9	0,36927	439,79	1,5665
Fraksi mol uap	1	0	1	0
Total kmol/jam	44,723	0,0705	44,2053	0,2991
<b>Laju alir, kmol/jam</b>				
Helium-4	44,4209	0	43,9767	0
Carbon	0,3021	0,0705	0,2286	0,2991

## KESIMPULAN

Proses pemisahan debu dengan *prefilter Cyclone Separator* pada Sistem Pemurnian Helium (SPH) telah dimodelkan. Berdasarkan hasil analisis disimpulkan bahwa terdapat 71,8% partikel besar ( $\geq 1$  mikron) terpisahkan dan dibuang melalui *dust hopper*, sedangkan pada *outlet helium* bersih *Cyclone* terdapat penambahan partikel kecil ( $< 1$  mikron) sebesar 11,4%. Penambahan ini dikarenakan adanya proses tumbukan antar partikel ataupun antara partikel debu dengan dinding *Cyclone*. Pada akhir proses pemisahan Sistem Pemurnian Helium baik dengan *Cyclone* dan filtrasi dengan HEPA terdapat 99,01% debu karbon sudah terambil. Oleh karena itu dengan adanya *prefilter Cyclone* yang memisahkan debu berukuran besar, akan menjaga umur HEPA sesuai dengan desainnya.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Bpk. Marliyadi Pancoko, B.Eng, Pusat Rekayasa Perangkat Nuklir (PRPN)-BATAN, atas kesediaan waktunya untuk diskusi dan kerjasama penelitian menggunakan *software* CHEMCAD.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. DHANDHANG PURWADI, M., "Desain Konseptual Reaktor Daya Maju Kogenerasi Berbasis RGTT", Prosiding Seminar TKPFN-16, ITS Surabaya, 2010
- [2]. SRIYONO, "Analisis dan Pemodelan Filter HEPA Pada Sistem Pemurnian Helium RGTT 200K", Seminar PPI-PTAPB, BATAN, Yogyakarta, 2011
- [3]. SCHLOGL B., "Graphite Dust in AVR", Presented at Paul Scherer Institute, Switzerland, 2009
- [4]. NATESAN K, A., PUROHIT, S.W. TAN, "Material Behavior in HTGR Environments", Argonne National Laboratory, NUREG/CR-6824 ANL-0237, July 2003.
- [5]. SRIYONO, dkk., "Analisis Proses Filtrasi Debu Karbon Pada Pendingin RGTT200K", Seminar Energi Nuklir, SEN-PEN, PPEN-STTPLN, Jakarta, 2012
- [6]. GEORGE A.P., et.al., "Introduction to the Pebble Bed Modular Reactor (PBMR)", South Africa, Doc. No. 009949-185, 2001
- [7]. PT. INGENIOUS, "CHEMCAD Process Simulation", Software Training, BATAN, Serpong, 2012
- [8]. COULSON, J.M., RICHARDSON, J.F., BACKHURST, J.R AND HARKER, J.H. "Chemical Engineering : Particle Technology and Separation Processes", Vol. 2, 4<sup>th</sup> Edition, Pergamon Press, Oxford, U.K, 1991.
- [9]. ACHMAD RADITYA, dkk., "Perancangan Pembangkit Tegangan Tinggi DC Full Wave Walton Cockroft dan Aplikasinya Sebagai Pengendap Debu Secara Elektret" Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang, 2010
- [10]. WATCHARAWICHANAN S, "Fluid Flow : Cyclone Separator", Dept. of Chemical Engineering, Chulalongkorn University, Thailand, 2009

- [11]. ZHU Y., et.al., "Analysis of the Effect of Compositional and Configurational Assumptions on Product Cost of Thermochemical Conversion of Lignocelluloric Biomass to Mixed Alcohol", Pacific Northwest, National Laboratory, US Department of Energy, Februari 2009
- [12]. SVAROVSKY L., "Cyclones : The Effect of High Pressure and Temperature" Elsevier, Amsterdam, 1993
- [13]. PARKER, R., et.al., "Particle Collection in Cyclone at High Temperature and High Pressure", Environment Science Technology, United State-Environmental Protection Agency, 2007

**DISKUSI/TANYA JAWAB:**

**1. PERTANYAAN: (Lutfiandari, Mahasiswa UPI)**

- Apakah ada kemungkinan ukuran debu yang besar tidak terpisahkan oleh *cyclone*?

**JAWABAN: (Sriyono, PTRKN-BATAN)**

- Berdasarkan prinsip kerja *cyclone separator*, dapat di pastikan bahwa debu yang berukuran besar terpisah ke *dust hopper* sedangkan debu yang berukuran kecil (<1 mikron) akan terbawa ke aliran gas helium yang lebih murni (bersih pengotor).

**2. PERTANYAAN: (Parikin, PTBIN-BATAN)**

- Mengapa *cyclone separator* dibutuhkan pada sistem pendingin gas helium?

**JAWABAN: (Sriyono, PTRKN-BATAN)**

- Apabila pendingin helium tidak di pisahkan dengan *cyclone separator* terlebih dahulu, maka dimungkinkan debu berukuran besar akan menyumbat filter HEPA, sehingga umur pakai menjadi lebih pendek dan secara ekonomis akan sangat merugikan.



Situasi Presentasi Sidang POSTER Dalam "Seminar Nasional ke-18 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir"