

## ANALISIS PEMISAHAN UAP KERING PADA SEPARATOR PEMBANGKIT UAP AP1000

Sukmanto Dibyo  
Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir BATAN  
sukdibyo@batan.go.id

Diterima editor 31 Agustus 2012  
Disetujui untuk publikasi 19 September 2012

### ABSTRAK

#### ANALISIS PEMISAHAN UAP KERING PADA SEPARATOR PEMBANGKIT UAP AP1000.

Pembangkit uap merupakan penukar panas, yang bagian atasnya adalah *steam drum* yang memuat separator uap. Separator ini memisahkan kandungan air yang terbawa oleh uap dari sisi *shell*. Uap kering yang dihasilkan dari separator digunakan untuk memutar turbin. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis karakteristik pemisahan uap kering pada separator pembangkit uap AP1000, berdasarkan parameter fraksi *void* dalam kondisi aliran dua fasa dengan menggunakan RELAP5/SCDAP.Mod3.4. Data awal mencakup data dimensi dan parameter temperatur, tekanan, laju alir massa (943,0 kg/s), fraksi *void*, entalpi cair dan uap saturasi. Untuk memperoleh karakteristik separator maka analisis ini difokuskan pada sistem separator secara terpisah pada kondisi tunak. Nodalisasi untuk RELAP5/SCDAP.Mod3.4, terdiri dari model separator (*default*), volume, *junction* dan *time-dependent junction* dengan *time-dependent* volume sebagai kondisi batas. Kondisi uap kering terlihat pada parameter fraksi *void* yang keluar dari separator. Hasil menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur uap dari sisi *shell* pembangkit uap maka cenderung semakin tinggi uap kering yang dihasilkan. Pemisahan uap kering yang keluar dari separator ditunjukkan pada parameter fraksi *void* sebesar sekitar 0,99.

Kata-kata kunci: separator uap, pembangkit uap, RELAP5/SCDAP.Mod3.4, fraksi *void*

### ABSTRACT

#### ANALYSIS OF DRY VAPOR SEPARATION IN THE SEPARATOR OF AP1000 STEAM GENERATOR.

A steam generator is heat exchanger in which the top side is steam drum containing steam separator. The separator is used to separate the water content carried by the steam come from The shell side. Dry vapor produced from the separator is used to turn turbines. this paper analyzes the dry Steam separation characteristic In The separator of AP1000 steam generator based on the parameters of void fraction in two phase flow using RELAP5/SCDAP.Mod3.4. The initial data include data dimensions and operating data (temperature, pressure, flow rate (943.0 KG/S), void fraction, enthalpy of water and saturation vapor. To obtain the characteristics of separator SO analysis is focused on the separator system separately at steady state. The RELAP5/SCDAP.Mod3.4 nodalization is consists of separator model default, volume, junction, time-dependent junction and time-dependent volume as a boundary condition. Dry vapor from the separator outlet can be shown based on void fraction parameters. The Result shows that higher temperature steam from the steam generator shell side is likely the higher the dry vapor produced. The separation of dry steam coming out from the separator IS shown as a void fraction parameter of about 0.99.

Keywords: steam separator, steam generator, RELAP5/SCDAP.Mod3.4, void fraction

## PENDAHULUAN

PLTN PWR (*Pressurized Water Reactor*) memiliki sistem pembangkit uap yang merupakan bagian dari komponen untai pendingin yang berfungsi memindahkan panas dari sistem pendingin primer ke sistem pendingin sekunder untuk menghasilkan uap yang berguna untuk menggerakkan turbin. Oleh karena itu, karakteristik sistem pembangkit uap ini sangat penting untuk dianalisis.

Dalam rangka melaksanakan kajian desain teknis PLTN PWR sesuai rencana strategis yaitu menyiapkan pembangunan PLTN di Indonesia dan menyiapkan sumber daya manusia yang mampu menganalisis desain pembangkit uap PWR, maka penelitian ini ditujukan untuk menganalisis sistem separator pembangkit uap pada PWR dengan menggunakan paket komputer RELAP5. Program RELAP5 ini merupakan paket program yang mampu menganalisis parameter termal dan hidrodinamika sistem yang menggunakan air sebagai media pendingin. Untuk analisis ini, data desain pembangkit uap pada AP1000 dan data referensi lain dijadikan obyek untuk dianalisis. Pembangkit uap ini merupakan sistem penukar panas posisi vertikal yang pada silinder *shell* berisi ribuan pipa *U-tube* berupa bundel *tube* dan *hemispherical head*. Pada bagian atas adalah *steam drum* yang memuat separator uap. Di dalam silinder *shell* berlangsung proses pemanasan air menjadi uap, pada sistem pembangkit uap di bagian sisi *shell* ini terjadi kondisi dua fasa uap air pada bagian atasnya, sedangkan pada sisi *tube* mengalir air panas dari reaktor. Selanjutnya uap yang terbentuk, fraksi *void*nya naik menjadi sekitar 85% [1]. Uap bergerak ke atas melalui *riser* menuju separator uap untuk menghasilkan uap kering. Uap inilah yang dikirim untuk menggerakkan turbin.

Separator adalah bagian dari komponen pembangkit uap untuk memisahkan kandungan air (*moisture*) yang terbawa oleh uap yang dihasilkan dari sisi *shell*. Kinerja separator uap sangat dipengaruhi oleh parameter operasi seperti laju aliran uap dan kapasitas termalnya [2]. Oleh karena itu, penggunaan model separator secara terpisah pada makalah ini dimaksudkan supaya memudahkan proses analisis secara teknis sehingga analisis pemisahan uap kering terhadap parameter operasinya dapat dilakukan. Analisis dilakukan pada kondisi tunak (*steady*) dan sistem dibatasi oleh model *boundary conditions*. Kondisi uap sebagai data input dapat diperoleh dari referensi dan hasil analisis kinerja termal pembangkit uap AP1000 [3].

Dinamika fluida pada pembangkit uap, sangat kompleks dan bervariasi terutama pada bagian di mana aliran dua fasa terjadi. Dalam hal ini, fraksi *void* bertambah begitu pula kualitas uapnya. Jadi, kemampuan separator untuk menghasilkan uap kering dapat direpresentasikan oleh parameter fraksi *void* yang dihasilkannya, makin tinggi fraksi *void* maka mengindikasikan kandungan air makin kecil [4].

Berdasarkan uraian yang dikemukakan di atas, maka tujuan makalah ini adalah menganalisis karakteristik pemisahan uap kering pada separator pembangkit uap AP1000 berdasarkan parameter fraksi *void* dengan menggunakan paket komputer RELAP5/SCDAP. Mod3.4.

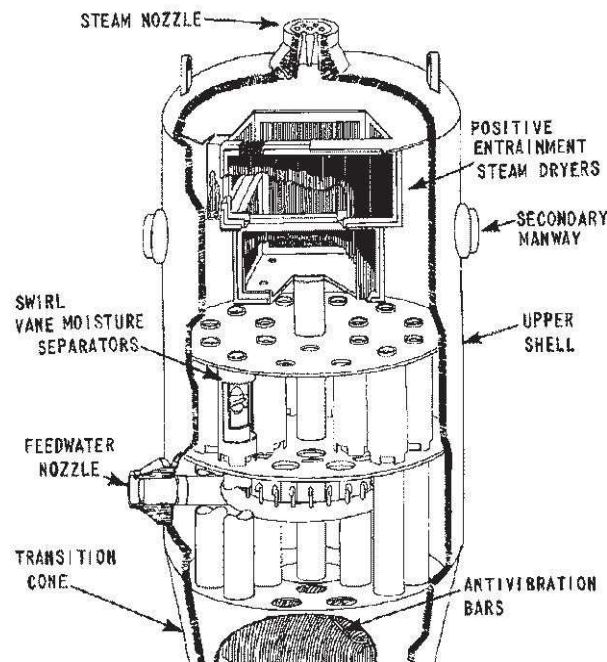
## TEORI

### Deskripsi Separator Pembangkit Uap

Pembangkit uap adalah merupakan alat penukar panas (*heat exchanger*) yang berfungsi mendidihkan air pada sisi *shell*nya. standar TEMA (*Tubular Exchanger Manufacturer Associations*) memasukkan klasifikasi pembangkit uap sebagai penukar panas tipe F. Di dalam Pembangkit uap PLTN PWR, energi panas dipindahkan dari untai primer ke untai sekunder. Jenis pembangkit uap yang digunakan dalam PWR umumnya adalah *U-Tube steam generator* [3]. Pada pendingin primer, air panas mengalir melalui sisi *tube* sedangkan air sistem sekunder mengisi ruang pada sisi *shell*. Pendingin primer masuk dari bagian bawah pembangkit uap sebagai *hot leg*, kemudian mengalir di dalam *bundel tube* dan keluar pada *nosel outlet* pendingin primer. Pembangkit uap pada umumnya dilengkapi dengan anti vibrasi pada bagian lengkukan *U-tube*. Pada sisi *shell*, air pendingin sekunder dari kondensor masuk ke arah bawah, kemudian mengalir di antara *U-tube*. uap air dari sisi *shell* memasuki separator uap dan diteruskan melalui *nosel*, sedangkan kandungan air dipisahkan dan diresirkulasikan kembali ke bawah. Sebelum menuju turbin, uap yang masih mengandung air saturasi harus melalui separator uap. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa uap yang terkena kipas turbin

akan menyebabkan erosi yang minimal. Uap air yang menempel pada kipas turbin air dapat menyebabkan erosi dan keausan. Oleh karena itu, pembangkit uap dilengkapi dengan steam drum yang terletak di bagian atas yang berfungsi memisahkan uap secara integral moisture separation. Separator primer *one stage* berfungsi memisahkan butir cairan (*water droplets*) dari uap dan separator sekunder merupakan *second stage* untuk menghasilkan uap kering.

Separator uap berdiameter 4,5 m, di dalamnya terdapat rangkaian *entrainment steam dryer* di bagian atas dan di bawahnya adalah *swirl vane moisture separator*. Nosel uap merupakan lobang outlet produk uap kering. Penampang separator pembangkit uap dapat dilihat pada Gambar 1.



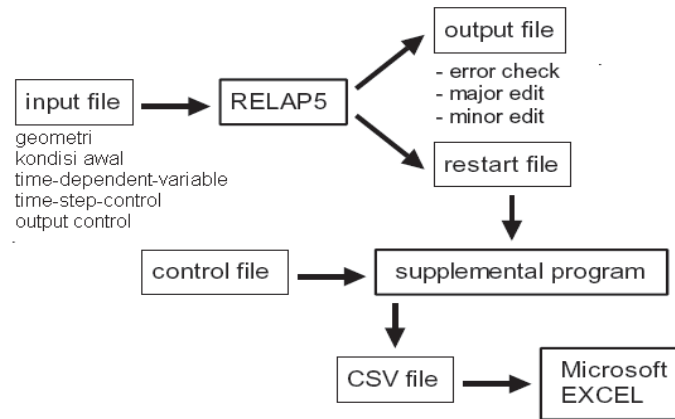
Gambar 1. Penampang separator pembangkit uap [4]

#### Paket Program RELAP5/SCDAP. Mod3.4

RELAP5/SCDAP.Mod3.4 adalah paket program untuk perhitungan termohidrolika satu dimensi sistem *non-equilibrium* dan *non-homogenous* yang dikembangkan untuk menganalisis keseluruhan perilaku termohidrolika reaktor berpendingin air ringan dalam kondisi operasi normal atau kondisi transien kecelakaan parah. RELAP5/SCDAP.Mod3.4 mampu menghitung sistem pendingin primer, sistem kendali, kinetika reaktor dan perilaku komponen sistem reaktor khususnya seperti katup dan pompa. model *heat structure* digunakan untuk memodelkan dinding bejana reaktor, batang bahan bakar, dan *U-tubes* dari pembangkit uap. Model yang terdapat pada RELAP5/SCDAP.Mod3.4 diantaranya adalah model *volume*, *junction*, *heat structure*, percabangan, separator, *time-dependent junction* (tmdjunc), *time-dependent volume* (tmdpvol) dan sebagainya.

Pada setiap Komponen hidrodinamika yang dimodelkan, saling terhubung dengan model *junction* baik berupa *time-dependent junction*, *single/multiple junction* ataupun katup. Komponen ini memiliki korelasi persamaan satu dimensi untuk fluida tunggal maupun aliran dua fasa air uap di mana persamaan dasarnya terdiri dari persamaan konservasi massa, momentum dan energi [5].

Paket RELAP5 secara umum mengeluarkan 2 *output files*, satu sebagai ASCII file (*output file*) dan binary file (*restart file*). Sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2 [6],



Gambar 2. Diagram data file pada RELAP5

Model separator di RELAP5/SCDAP.Mod3.4 pada prinsipnya tergantung pada nilai kritis, aliran yang keluar pada outlet cairan adalah air bilamana volume fraksi liquid di atas nilai kritis. Apabila volume fraksi uap di atas nilai kritis, maka hanya uap yang mengalir melalui *steam* outlet. Nilai kritis ini disebut *vunder* untuk *water outlet*, dan *vover* untuk *steam outlet*. Nilai kritis *vunder* dan *vover* diberikan dengan formula,

$$vunder = \frac{A_{fj}}{A_t} \quad \text{dan} \quad vover = \frac{A_{gj}}{A_t}$$

dimana  $A_{fj}$  = luasan aliran air  
 $A_t$  = luasan aliran total  
 $A_{gj}$  = luasan aliran uap

## Metodologi

Nodalisasi pada sistem separator uap disusun oleh model *default* separator yang memiliki 3 *junction* (3 cabang komponen), dan dilengkapi dengan model *tmdpvol* (*time-dependent volume component*), komponen volume kanal, *junction* (penghubung) dan *tmdpvol* (*time-dependent volume component*) yang berfungsi menetapkan kondisi uap masuk dari sisi *shell* pembangkit uap sebagai *source boundary condition* dan dua buah *tmdpvol* yang lain sebagai volume pembuang panas. *Tmdpvol* pertama, adalah untuk aliran air yang terpisahkan dan *tmdpvol* kedua untuk produk aliran uap kering. Untuk analisis karakteristik pemisahan uap, maka kondisi parameter dari sisi *shell* ditetapkan sebagai input tetap. Parameter tersebut adalah temperatur, tekanan, laju aliran uap dan fraksi *void* dan nodalisasi tidak menggunakan struktur panas (*heat structure*).

Data parameter input yang dipakai untuk analisis dikompilasikan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Data tersebut mencakup data dimensi (diameter dan panjang separator, dan data operasi (temperatur, tekanan, laju aliran, fraksi uap, beban entalpi saturasi uap dan air), disamping itu digunakan data tambahan yang dianggap perlu.

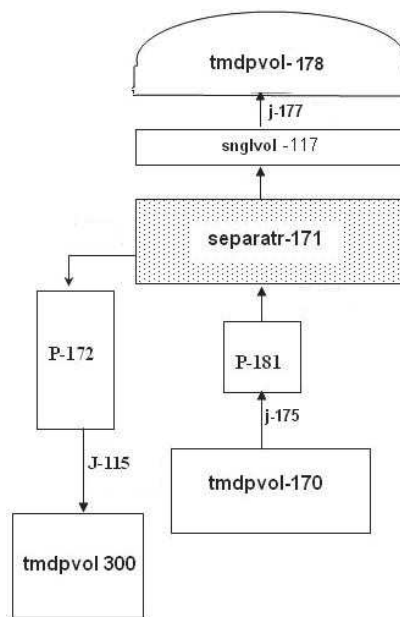
Tabel 1. Data parameter separator untuk input *deck*

Parameter	Data	Keterangan
Laju aliran <i>massa</i> uap (kg/s)	943,0	[7]
Fraksi <i>void</i> uap ke separator	0,808	[3]
Panjang separator <i>drum</i> (m)	3,96	
Diameter <i>steam drum</i> (m)	4,50	

Tabel 2. Data kondisi uap saturasi masuk separator untuk input *deck* [4,7,8]

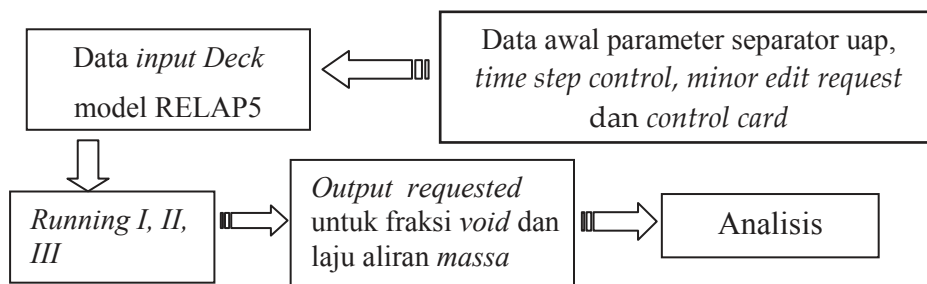
Temperatur Uap (K)	Tekanan (Pa)	Entalpi cair saturasi (kJ/kg)	Entalpi uap saturasi (kJ/kg)
552	$6,41646 \cdot 10^6$	1236,7	2779,8
561	$7,22720 \cdot 10^6$	1279,0	2769,6
567	$7,88500 \cdot 10^6$	1311,5	2760,3

Nodalisasi model sistem separator uap untuk analisis secara utuh diilustrasikan pada Gambar 3. Penggunaan model ini memerlukan langkah pengaturan data input dan data *time step control* yang benar sehingga proses numerik berlangsung dengan baik.



Gambar 3. Nodalisasi model separator

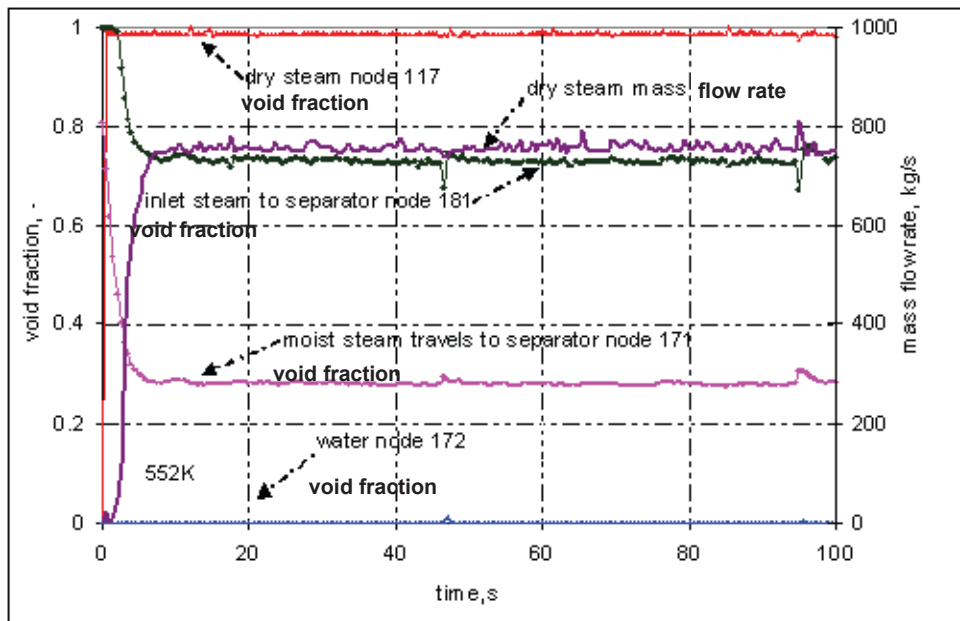
Analisis karakteristik pemisahan uap kering pada separator ini, menggunakan data temperatur (entalpi cair dan uap), tekanan, laju aliran, dan fraksi *void*. Kegiatan analisis dimulai dari penyusunan kartu *time step control*, *minor edit request* untuk menampilkan parameter pada output. Kemudian *input deck* untuk Relap5 disusun berdasarkan data desain dari pembangkit uap AP1000. untuk melakukan *running*, parameter yang diminta diharapkan mencapai kondisi stabil sehingga dapat diperoleh parameter fraksi *void* dan laju aliran massa. Input untuk *running* menggunakan kondisi parameter temperatur 552K (*running-I*), 561K (*running-II*) dan 567K (*running-III*). Ketiga varian temperatur tersebut didasarkan pada acuan referensi yang menyatakan kisaran temperatur uap pada separator [4,7]. Diagram prosedur pelaksanaan pembuatan model ini ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram prosedur analisis

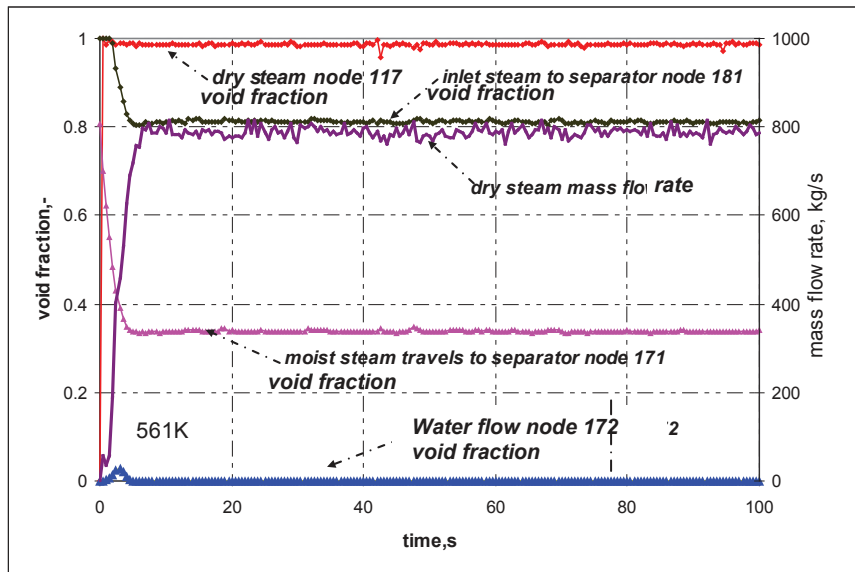
## PEMBAHASAN

Analisis pemisahan uap pada separator telah dilakukan dengan menggunakan model kartu separator (*separator card*) default dari RELAP5/SCDAP.Mod3.4. Dalam analisis ini, parameter utama untuk pencapaian kondisi tunak yang diamati yaitu fraksi *void*, temperatur, tekanan, dan laju aliran uap. Proses *running* dikerjakan untuk mencapai kondisi tunak sampai 100 detik dengan menggunakan mode new transt dalam kartu yang tersedia pada input RELAP5/SCDAP.Mod3.4. Pencapaian kondisi tunak tersebut, diketahui dari kurva beberapa parameter operasi yang diminta (*requested*) untuk ditampilkan. Dalam pembahasan analisis karakteristik pemisahan uap oleh separator ini, diinputkan data media masuk separator pada kondisi tertentu. Kondisi ini direpresentasikan oleh model *tmdpvol* no.170 seperti pada Gambar 3. Penelusuran karakteristik separator uap ini telah dipilih pada kanal masuk uap basah, uap kering dan aliran air yang dipisahkan, dengan demikian dapat diketahui karakteristik kondisi aliran pada tiap kanal tersebut.



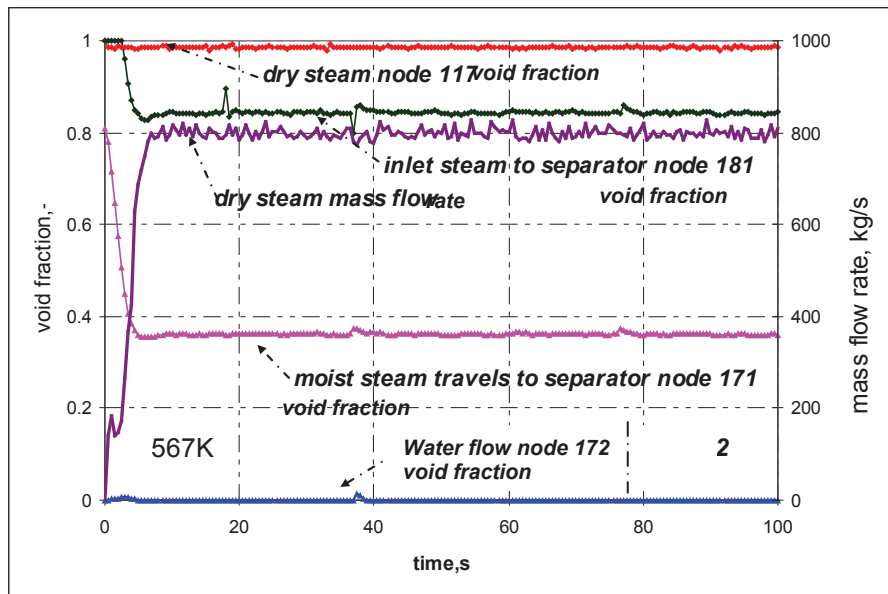
Gambar 5. Kurva fraksi *void* dan laju aliran massa uap pada 552K

Gambar 5 memperlihatkan hasil *running-1* (temperatur uap 552K), yaitu untuk kurva fraksi *void* pada posisi node-117, node-181, node-171, node-172 dan laju aliran massa uap kering. kondisi tunak telah diperoleh akan tetapi terdapat vibrasi kurva untuk laju aliran massa uap kering. Kondisi vibrasi ini dapat disebabkan oleh tidak stabilnya laju aliran uap. Besarnya laju aliran massa uap yang tampak pada kurva tersebut adalah dalam kisaran 750 kg/s, sehingga angka ini masih di bawah laju aliran massa yang dipakai sebagai referensi yaitu 943 kg/s [7]. Fraksi *void* uap masuk ke separator pada mulanya diinputkan 0,808, kemudian ketika melewati separator terjadi pengembunan butir air yang dapat dipisahkan dari uapnya [9], dalam hal ini fraksi *void* berkurang di dalam komponen model separator. Selanjutnya uap kering bergerak ke atas dan keluar dari separator dengan fraksi *void* sekitar 0,99. Hal ini sesuai dengan kondisi uap kering yang dihasilkan oleh separator pembangkit uap pada umumnya [7]. Uap ini telah mengalami proses pemisahan kandungan air dua kali yaitu pada *primary separator* dan *secondary separator*, akan tetapi model default separator RELAP5/SCDAP.Mod3.4 tidak membagi lebih rinci kondisi di kedua pemisahan uap tersebut. Kurva selanjutnya adalah fraksi *void* pada node-172 yang menunjukkan angka mendekati nol yaitu air yang terpisahkan oleh separator. Kondisi pada kurva ini menyatakan bahwa aliran air ini tidak menunjukkan adanya fraksi *void*, di mana fraksi *void* lokal merujuk pada volume yang sangat kecil sehingga fraksi *void* = 0 yaitu bilamana keadaan cair dan tidak dapat diukur secara eksperimen [10].



Gambar 6. Kurva fraksi void dan laju aliran massa uap pada 561K

Gambar 6 dan 7 adalah hasil *running-II* (temperatur uap 561K) dan *running-III* (temperatur uap 567K) yang menampilkan kurva-kurva fraksi void dan laju aliran massa seperti pada Gambar 5. Pada prinsipnya, pola kurva tidak jauh berbeda akan tetapi terdapat perbedaan pada angka kuantitas untuk ketiga gambar tersebut. Uap kering yang dihasilkan (yang keluar) dari separator memiliki angka fraksi void yang relatif sama, akan tetapi tampak laju aliran massa uap yang dihasilkan berbeda untuk masing-masing kasus (*running-I*, *running-II*, *running-III*) yaitu kisaran 750 kg/s untuk *running-I*, kisaran 780 kg/s untuk *running-II*, dan 810 kg/s untuk *running-III*.



Gambar 7. Kurva fraksi void dan laju aliran massa uap pada 567K

Dengan demikian secara umum, disampaikan dalam pembahasan bahwa karakteristik pemisahan uap pada separator dipengaruhi oleh besarnya laju aliran uap, temperatur dan tekanan uap yang dilewatkan ke dalam separator. Semakin tinggi temperatur uap yang masuk ke dalam separator maka semakin besar jumlah (laju aliran massa) uap kering yang dihasilkan.

Sebagaimana disampaikan pada bab pendahuluan bahwa penekanan dari analisis ini adalah untuk mengetahui karakteristik pemisahan uap kering pada separator pembangkit uap berdasarkan

parameter fraksi *void*. Meskipun tidak ada data acuan tentang fraksi *void* pada sistem separator ini, namun RELAP5/SCDAP.Mod3.4 berhasil menampilkan parameter tersebut untuk mengindikasikan bahwa uap kering telah dihasilkan dari pemisahan dari kandungan air. Selanjutnya produk uap kering ini dilewatkan melalui lobang nosel uap yang terdapat pada ujung atas *vessel* separator.

Dalam kondisi transien, karakteristik produksi uap dari sisi *shell* pembangkit uap senantiasa akan lebih rumit, sehingga dalam analisis ini hanya dibatasi pada kondisi konstan terhadap uap masuk ke separator. Hal ini dimaksudkan untuk memudahkan proses analisis yang hanya difokuskan pada separator saja.

## KESIMPULAN

Hasil analisis pemisahan uap yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa karakteristik pemisahan uap pada separator tergantung pada kondisi uap masuk (temperatur uap) yang dilewatkan ke dalam separator. Semakin tinggi temperatur uap dari sisi *shell* pembangkit uap maka akan semakin banyak uap kering yang dihasilkan. Pemisahan uap kering yang keluar dari separator ditunjukkan pada parameter fraksi *void* sekitar 0,99. Penelusuran lebih jauh tentang parameter lain yang berpengaruh pada pemodelan separator, masih memungkinkan untuk dilakukan.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Ravnikar-Petelin. 3D Model of SG of NPP Krsko. Nuclear Energy in Central Europe, Slovenia (regional meeting); 1995.
2. Nishida K. et al. Development of moisture separator with high performance of steam generator, 12th Int. Conference on Nuclear Engineering (ICONE12) April 2004, Virginia.
3. Sukmanto D. Analisis desain kinerja termal pada pembangkit uap Delta 125 dan Delta 75. Proseding SENPEN-V, Jakarta 19-juni 2012.
4. Putney JM, Preece RJ. Assessment of PWR steam generator modeling in RELAP5/Mod2. Intrn.Agreement Report. Nureg/IA-0106 / TEC/L/0471/R91 /1993.
5. RELAP5, RELAP5/Mod3.3 CODE MANUAL : INPUT REQUIREMENTS. Idaho National Engineering Laboratory, Washington DC, 2002.
6. Kondo M. Practical work of RELAP5 Analysis, Thermal-hydraulic safety research group JAEA. NSRA Nuclear Safety Course 2008.
7. Westinghouse. Reactor Coolant System and Connected Systems, Chapter 5. AP1000 European Design Control Document, 2009 Westinghouse Electric Company LLC.
8. Perry R. H, Chemical Engineers Handbook, Steam Tables Chapter 2. 8 Edition McGraw-Hill. Inc, New York, October 2007.
9. Wisegeek. What Is a Steam Separator? Conjecture Corporation 2012. Available from: URL: <http://www.Wisegeek.com/what-is-a-steam-separator.htm>. Accessed May 20, 2012
10. John Thome.Void Fraction in two phase flows. Engineering data Book III. Chapter 17. Wolverine Tube, Inc, 2010.