

STUDI AWAL DESAIN SISTEM INJEKSI AEROSOL PADA PENGEMBANGAN FASILITAS EKSPERIMEN PENGUNGKUNG CONTAINMENT (FESPeCo Mod.1)

Arif Adtyas Budiman¹, Almira Citra¹, Joko P. W¹

¹Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir, Gd .80 Kawasan Puspiptek Serpong,
Tangerang Selatan, 15310, Indonesia
email:arif-adtyas@batan.go.id

ABSTRAK

STUDI AWAL DESAIN SISTEM INJEKSI AEROSOL PADA PENGEMBANGAN FASILITAS EKSPERIMEN PENGUNGKUNG CONTAINMENT (FESPeCo Mod.1).

Salah satu skenario kecelakaan reaktor nuklir berpendingin air ringan yaitu adanya lepasan zat radioaktif akibat terjadinya kebocoran sistem pemipaan primer. Simulasi kecelakaan dengan skenario tersebut dapat dilakukan menggunakan Fasilitas Eksperimen Simulasi Pendingin *Containment* (FESPeCo). Untuk memenuhi kebutuhan penelitian saat ini, revitalisasi FESPeCo dilakukan dengan menambahkan sistem injeksi aerosol menjadi FESPeCo Mod.1. Sistem injeksi aerosol terdiri dari unit kompressor, pengaduk, dan pengatur aliran fluida. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kandidat desain tabung aerosol sebelum dilakukan fabrikasi. Metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD) digunakan sebagai perangkat utama analisis dinamika fluida.. Untuk melihat pengaruh dinamika fluida terhadap bentuk geometri, variasi tekanan operasi diberikan pada keempat model diantaranya TAB 01, TAB 02, TAB 03, dan TAB 04. Berdasarkan hasil analisis terhadap keempat model tersebut, bentuk geometri ruang silinder memegang peranan penting dalam pengadukan. Selain itu, perbedaan ukuran *inlet* dan *outlet* dapat mempengaruhi kuantitas keluaran aerosol yang signifikan, ditinjau dari besar kecepatan aliran dan beda tekanannya. Oleh karena itu, model TAB 04 dapat direkomendasikan sebagai kandidat utama tabung aerosol bertekanan pada sistem injeksi aerosol.

Kata kunci : Aerosol, Sistem Injeksi Aerosol, Laju Aliran, Beda Tekanan, FESPeCo Mod.1.

ABSTRACT

PRELIMINARY STUDY OF AEROSOL INJECTION SYSTEM DESIGN IN THE DEVELOPMENT OF FASILITAS EKSPERIMEN PENGUNGKUNG CONTAINMENT (FESPeCo Mod.1). *One of the light water-cooled nuclear reactor accident scenarios is the release of radioactive substances due to leakage of the primary piping system. Accident simulations with these scenarios can be performed using the Containment Coolant Simulation Experiment Facility (FESPeCo). To meet current research needs, the revitalization of FESPeCo is done by adding an aerosol injection system to FESPeCo Mod. 1. The aerosol injection system consists of a compressor, stirrer and flow control unit. The aim of this study is to obtain a design candidate for aerosol tubes before fabrication. The Computational Fluid Dynamic (CFD) method is used as the main tool for fluid dynamics analysis. To see the effect of fluid dynamics on geometric shapes, variations in operating pressure are given in all four models, i.e. TAB 01, TAB 02, TAB 03, and TAB 04. According on the results of the analysis of the four models, the geometrical shape of the cylinder chamber plays an important role in stirring. In addition, differences in inlet and outlet sizes can significantly influence the quantity of aerosol output, in terms of flow velocity and pressure difference. Therefore, the TAB 04 model can be recommended as a main candidate for aerosol tubes of the aerosol injection system*

Keywords: Aerosol, Aerosol Injection System, Flowrate, Pressure Drop, FESPeCo Mod.1

PENDAHULUAN

Sistem utama keselamatan fasilitas Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) menggunakan prinsip *defense in depth* atau pertahanan berlapis, yaitu dimulai dari sistem pembungkus bahan bakar, pengungkung radiasi dan hamburan radionuklida yang berada di dalam ruang gedung reaktor nuklir (*containment*)^[1]. Sistem pemipaan untai primer tipe *Pressurize Water Reactor* (PWR) terpisah dengan sistem sekunder, berbeda dengan tipe *Boiling Water Reactor* (BWR). Namun, sistem untai primer keduanya tetap berada di dalam *containment*. Potensi terjadinya lepasan material fisi pada untai primer pada PLTN jenis reaktor air ringan dapat terjadi jika terjadi pelelehan bahan bakar dan terbawa bersama aliran di untai primer yang mengalami kebocoran^[2]. Salah satu produk fisi yang ditemukan lepas ke lingkungan pasca kejadian Fukushima Daiichi yaitu C-11, dengan ukuran diameter rata-rata sekitar 70 μm ^[3]. Sistem mitigasi lepasan produk fisi merupakan salah satu sistem keselamatan aktif. Pada dasarnya, sistem ini membutuhkan pasokan daya listrik. Pelepasan sejumlah air dalam laju alir tertentu dari bagian atas *containment* telah diterapkan pada desain reaktor tipe air ringan^[4].

Pengkajian lebih mendalam dengan skenario hamburan yang menyerupai karakteristik produk fisi secara non nuklir

dapat dilakukan menggunakan Fasilitas Eksperimen Simulasi Pendinginan Pada Containment (FESPeCo). Beberapa penelitian dengan skenario kehilangan aliran pendingin disebut sebagai *Loss of Coolant Accident* (LOCA) disimulasikan dengan adanya lepasan uap air dari sistem pemipaan ke dalam gedung reaktor pernah dilakukan menggunakan FESPeCo pada satu dekade terakhir^[5,6]. Parameter yang diukur yaitu suhu, laju alir fluida dan tekanan uap pada titik-titik ketinggian tertentu. Untuk mendapatkan bentuk simulasi yang mendekati sebenarnya, pengembangan FESPeCo menjadi FESPeCo Mod.1 mulai dilakukan dengan menambahkan unsur padatan yang disebut sebagai aerosol. Aerosol merupakan perwujudan dari adanya bahan hasil fisi yang ikut serta lepas ke udara di dalam *containment* reaktor nuklir. Simulasi ini pernah dilakukan oleh Mohler, dkk. menggunakan fasilitas *Aerosol Interactions and Dynamics in the Atmosphere* (AIDA) di mana lokasi aerosol generator berada di bagian ruang atasnya. Lain halnya dengan FESPeCo, yang memiliki *inlet* injeksi aerosol berada di bagian bawah. Justifikasi posisi aerosol FESPeCo ditentukan dari model sistem injeksi aerosol yang menggunakan kompresor.

Tujuan penelitian ini yaitu untuk menentukan desain sistem injeksi aerosol

yang sesuai untuk FESPeCo. Prinsip utama desain sistem injeksi aerosol yaitu keluaran distribusi aerosol yang homogen dan mudah dalam perawatan unit. Metode analisis dengan pendekatan *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Penggunaan metode CFD telah banyak digunakan dalam analisis dinamika aliran. Salah satunya yaitu, Geraldini, P. dalam penelitiannya mengenai distribusi partikel di udara pada daerah kerja menggunakan metode CFD. Geraldini membahas pola distribusi partikel menggunakan pemodelan 3D dari perangkat lunak COMSOL Multiphysics®. Simulasi dari pemodelan ruang kerja kemudian dibandingkan dengan data hasil pengukuran dari *Continuous Air Monitoring* (CAM), sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat kesesuaian antara hasil simulasi dan data lapangan [7]. Selain itu, **A.K. Dwivedi, dkk.**, dalam penelitiannya terkait distribusi aerosol yang berada di dalam sistem untai primer reaktor nuklir pada saat kecelakaan menggunakan pendekatan analisis CFD yang divalidasi oleh hasil eksperimen dari *National Aerosol Test Facility* (NATF) di *Bhabha Atomic Research Center* (BARC) [8].

Desain sistem injeksi aerosol terdiri dari perangkat kompresor, pengaduk dan pengatur aliran fluida. Pengaduk dan pengatur aliran fluida disebut sebagai tabung aerosol bertekanan (TAB). Pada penelitian ini, untuk memperoleh desain TAB yang optimal, variasi tekanan operasi dilakukan

dan disimulasikan dalam kondisi tunak menggunakan perangkat CFD (FLUENT).

TEORI

Pemodelan dan simulasi 3D melibatkan unsur ruang dalam koordinat x , y , dan z . Batasan kondisi ini mengaktifkan fungsi *radial equilibrium distribution pressure* pada batasan kondisi *pressure inlet* dan *outlet*. Penentuan parameter tekanan total (*total pressure*) pada batasan kondisi pemodelan *pressure inlet* mengikuti persamaan sebagai berikut [9];

$$p_0 = p_s \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2 \right)^{\gamma/(\gamma-1)} \quad \dots (1)$$

Keterangan :

γ = perbandingan kapasitas panas (C_p/C_v),

M = Bilangan Mach,

p_s = tekanan statik (bar),

p_0 = tekanan total (bar).

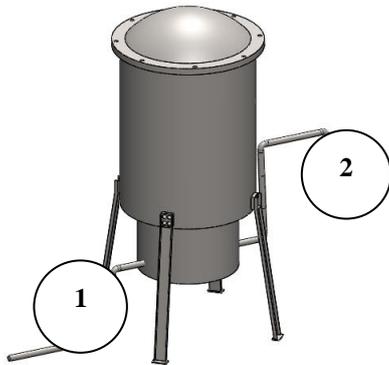
Sedangkan pada area keluaran (*outlet*), fungsi *radial equilibrium distribution pressure* digunakan dikarenakan adanya kemungkinan fenomena fisis berupa *twisted air* atau pola berpilin/pencampuran pada semua model. Fungsi tersebut diekspresikan dalam persamaan berikut [9];

$$\frac{dp}{dr} = \frac{\rho v_\theta^2}{r} \quad \dots (2)$$

dengan r merupakan jarak dari pusat putarandan v_θ adalah kecepatan tangensial.

Distribusi aerosol dideskripsikan melalui pola aliran fluida di dalam TAB.

Udara dimampatkan pada nilai tertentu oleh kompressor dan dilepaskan ke dalam TAB dengan tujuan untuk mengaduk aerosol dan mengendalikan aliran fluida saat memasuki ruang FESPeCo Mod.1. Gambar 1 menunjukkan untai FESPeCo Mod.1 yang memiliki konfigurasi injeksi uap (No.2) dan aerosol (No.1).



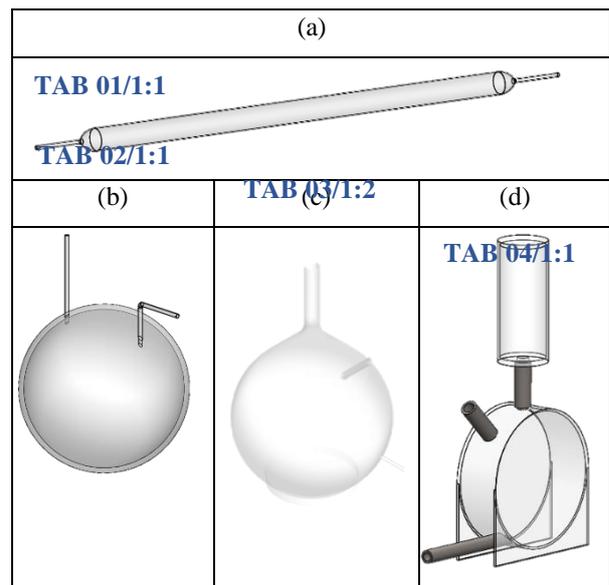
Gambar 1. Draft desain Untai FESPeCo Mod.1.

Pada Gambar 1, terdapat dua unit pemasok produk fisi yang dimodelkan dalam bentuk sistem pembangkit uap (sedang dalam proses desain dan uji fungsi No. 2) dan sistem injeksi aerosol (No. 1). Kedua sistem saat ini masih memiliki kendali yang terpisah, namun tidak menutup kemungkinan untuk dapat dikendalikan ke dalam satu bentuk program pengendalian pemanas dan katup melalui sistem data akuisisi dan kendali.

Konfigurasi sistem injeksi aerosol yang bersifat tetap dalam penelitian ini yaitu kompresor, sedangkan perangkat dan pengatur aliran fluida dibuat dengan memperhatikan pertimbangan teknis. Sifat keseragaman dari pancaran aerosol yang diinjeksikan dapat diterjemahkan ke dalam

pola aliran fluida terhadap bentuk geometri dan metode pengaturannya. Prinsip dasar pemodelan TAB yaitu kemudahan dalam pengoperasian dan perawatan, mengingat beberapa kandidat aerosol yang akan digunakan diantaranya bersifat higroskopis. Untuk memenuhi hal tersebut, optimalisasi bentuk geometri (tanpa menggunakan pengaduk bermotor), dan penggunaan material tembus pandang kemudian dipilih.

Konsep desain dibuat dengan mempertimbangkan tingkat kemudahan fabrikasi. Gambar 2 merupakan beberapa usulan desain TAB yang memiliki sudut pantulan lebar dan halus. Model (a) dan (d) pada Gambar 2 memperlihatkan konsep tabung silinder, sedangkan (b) dan (c) menggunakan konsep tabung berbentuk bola.



Gambar 2. Usulan desain tabung aerosol bertekanan.

Penamaan model TAB 01/1:1 pada penelitian ini diartikan sebagai model TAB 01 dengan konfigurasi diameter *inlet/outlet* sebesar 1:1. Hasil yang diharapkan yaitu terpilihnya satu

diantara empat model dengan kriteria memiliki beda tekanan yang rendah dengan laju aliran luaran yang tinggi.

METODOLOGI

Perangkat lunak CFD yang digunakan sebagai perangkat utama penelitian terdiri dari GAMBIT versi 2.3.16 dan FLUENT 6.3. Perangkat lunak GAMBIT versi 2.3.16 digunakan sebagai pembuat model dan implementasi *solver* terhadap kondisi batas secara berurutan, sedangkan FLUENT 6.3. digunakan untuk komputasi numerik dan analisis grafis (*post-processing*). Tahapan penelitian ini ditampilkan pada Gambar 3 melalui diagram alir.

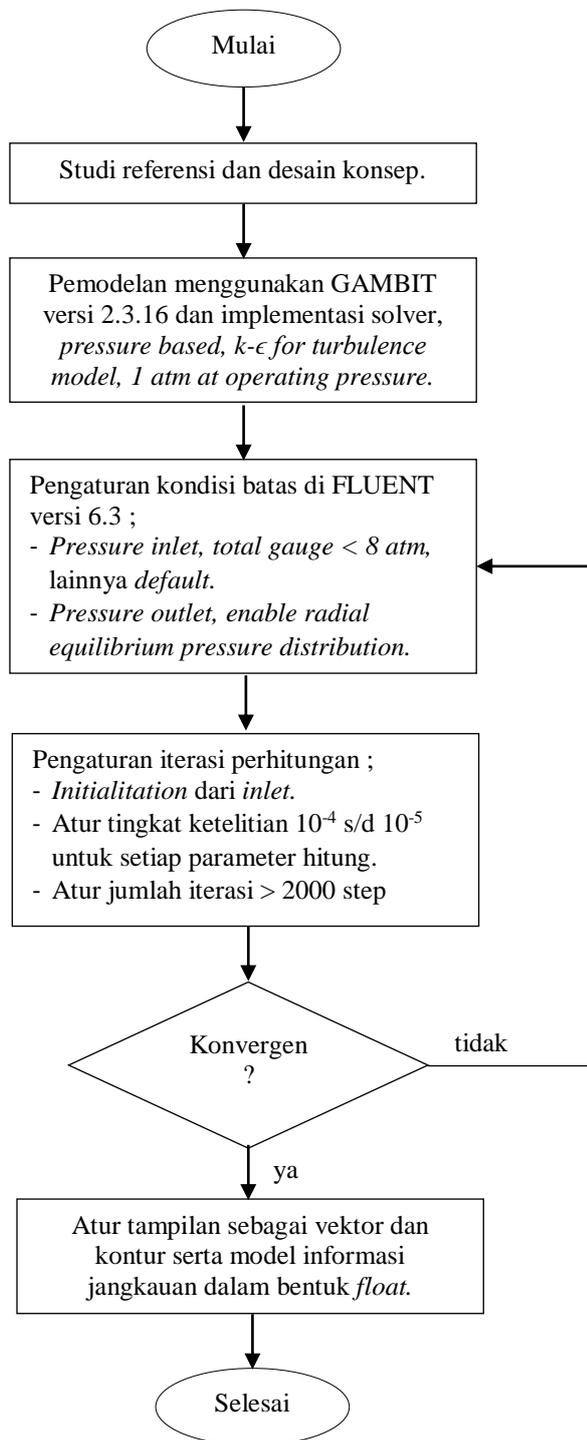
Pada alur pembuatan setiap model sesuai Gambar 3, skema *mesh* yang digunakan sebagian besar yaitu *tetrahedral*. Pemodelan dan simulasi CFD menggunakan metode elemen hingga, yaitu dengan memecah orde elemen/volume model menjadi lebih kecil (*sel*). *Sel-sel* ini mewakili parameter fisis dalam suatu volume model 3D. Data geometri usulan desain model yang dipaparkan pada Gambar 2 kolom (a), (b), (c), dan (d) diberikan oleh Tabel 1 berikut;

Tabel 1. Data empat model geometri TAB.

Model	Volume fluida (m ³)	Total <i>Mesh</i>
TAB 01	1,285 x 10 ⁻³	± 2,2 x 10 ⁵
TAB 02	4,406 x 10 ⁻³	± 1,4 x 10 ⁶
TAB 03	1,462 x 10 ⁻²	± 6,5 x 10 ⁵

TAB 04	7,275 x 10 ⁻³	± 2,7 x 10 ⁵
--------	--------------------------	-------------------------

Tabel 1 memberikan gambaran total *mesh* sesuai dengan bentuk geometri model. Skema *mesh* yang dibuat pada model TAB 01 berbeda dengan lainnya. Model tersebut memiliki bentuk simetrik dengan karakteristik *meshing* berpola. Sehingga skema *mesh copper* dapat digunakan khusus pada model TAB 01.



Gambar 3. Diagram alir pemodelan dan simulasi menggunakan FLUENT versi 6.3.

Setelah model diberi inisiasi FLUENT 5/6 sebagai solver dan kondisi batas pada *face* dan *volume* melalui perangkat lunak GAMBIT versi 2.3.16, kemudian di-*export* dalam bentuk 3D dalam format *.msh*. Pemanggilan file *.msh*

dilakukan menggunakan FLUENT versi 6.3. Sebelum nilai-nilai diimplementasikan ke dalam model solver, penyesuaian dimensi dan parameter unit dilakukan. Untuk meminimalisir kesalahan hitung dan mengoptimalkan keandalan simulasi pra validasi eksperimen, fungsi SIMPLE pada *pressure-velocity coupling* serta model *discretization iteration* menggunakan *second order* dengan tingkat ketelitian hitung 10^{-4} s/d 10^{-5} per *iteration*.

Setelah konvergensi perhitungan tercapai, pola dinamika fluida dapat dianalisis dalam bentuk distribusi vektor dan kontur. Analisis terhadap bentuk vektor dan kontur direkomendasikan untuk laju aliran dan parameter termal/tekanan secara berurutan. Tampilan vektor memiliki informasi arah aliran dan besarnya dalam bentuk grafis sesuai dengan tingkatan tertentu sehingga mampu mencitrakan dinamika fluida yang ada dalam lapisan dinding. Setelah satu kali perhitungan selesai pada kondisi *pressure inlet* 2 atm, variasi tekanan statik *inlet* dilanjutkan sampai 7 atm. Adapun rentang nilai *pressure inlet* diberikan sesuai spesifikasi yang dimiliki kompresor.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Telah dilakukan perhitungan pada enam jenis variasi tekanan terhadap empat variasi model TAB. Tabel 2 memaparkan perbandingan nilai tekanan total dan laju alir

pada posisi *inlet* - *outlet* setiap model yang dilengkapi dengan informasi *bargraph* dan warna.

Tabel 2. Profil dinamika fluida setiap model TAB

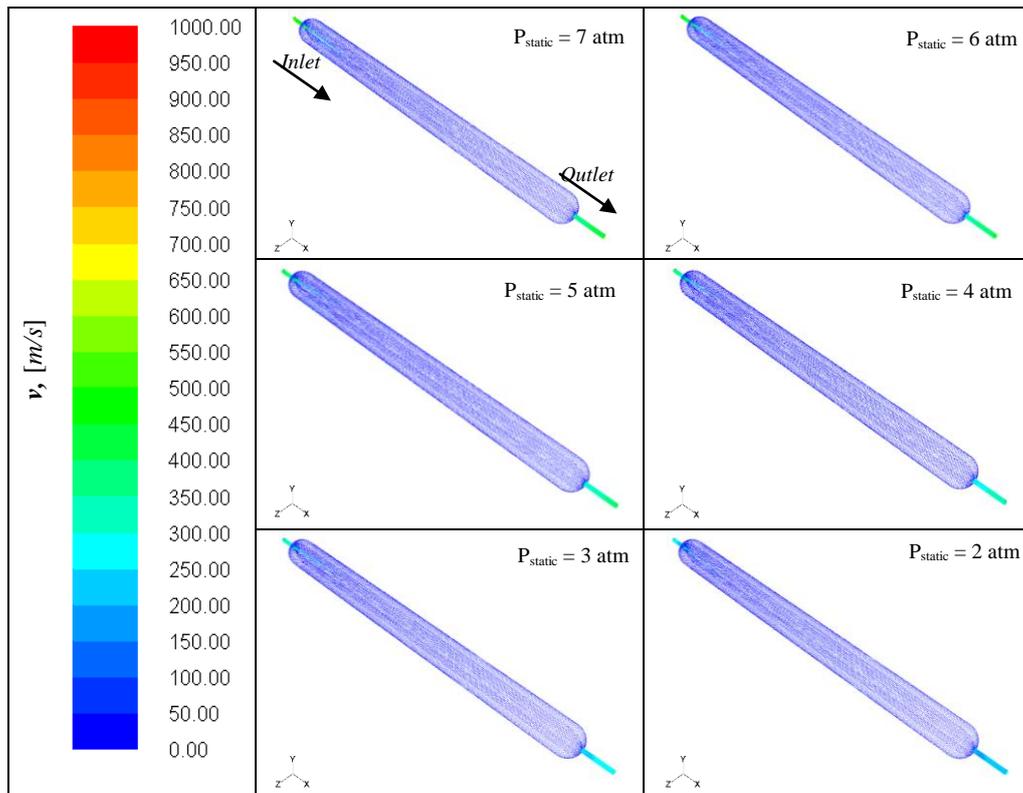
Model	In		Out		Perbedaan In-Out		P_{static} (atm)
	v	P_{total}	v	P_{total}	dv	dP	
TAB 01	282.5	3.01	282.5	1.46	0	1.55	2
	346.28	4.02	334.34	1.45	11.94	2.57	3
	397.53	5.01	383.83	2.01	13.7	3	4
	448.05	6.03	432.61	2.37	15.44	3.66	5
	489.24	7.03	472.37	2.37	16.87	4.66	6
	531.68	8.04	513.35	2.75	18.33	5.29	7
TAB 02	216.58	2.95	216.58	1.31	0	1.64	2
	265.9	3.93	265.9	1.46	0	2.47	3
	306.16	4.9	306.16	1.61	0	3.29	4
	343.33	5.87	343.33	1.76	0	4.11	5
	394.9	6.85	394.9	1.89	0	4.96	6
	407.28	7.82	407.28	2.05	0	5.77	7
TAB 03	447.28	2.95	12.09	1.02	435.19	1.93	2
	545.62	3.93	14.75	1.06	530.87	2.87	3
	636.46	4.9	17.2	1.03	619.26	3.87	4
	711.37	5.88	19.23	1.08	692.14	4.8	5
	783.18	6.85	21.17	1.08	762.01	5.77	6
	848.19	7.83	22.93	1.1	825.26	6.73	7
TAB 04	308.29	2.94	319.7	1.65	-11.41	1.29	2
	384.34	3.93	396.74	1.97	-12.4	1.96	3
	467.49	4.88	486.16	2.52	-18.67	2.36	4
	531.36	5.85	552.58	2.86	-21.22	2.99	5
	557.71	6.81	600.79	3.25	-43.08	3.56	6
	628.76	7.78	653.88	4.07	-25.12	3.71	7

Berdasarkan Tabel 2., perbedaan laju alir (dv) dan tekanan (dP) pada desain TAB 03 terlihat berbeda daripada model lain. Hal ini mengacu pada bentuk geometri TAB 03 di mana memiliki diameter *inlet* yang lebih kecil daripada *outlet* sebesar 1:2. Sementara itu, TAB 04 dengan konfigurasi desain *inlet/outlet* sebesar 1:1 memiliki nilai rerata dv dan dP yang lebih kecil dari semua model yaitu -21.98 m/s dan 2,65 atm secara berurutan. Nilai minus (-) mengindikasikan adanya peningkatan besarnya nilai laju aliran. Keunikan terjadi pada model TAB 02 dengan nilai dv yang tetap namun memiliki dP yang lebih besar dari TAB 04 yaitu sebesar 3.71 atm. Besarnya nilai dP ini diperoleh dari adanya perbedaan luas permukaan aliran *inlet* terhadap ruang

berbentuk bola yang kemudian ditambah dengan panjang geometri pipa luaran bersiku. Perbedaan luasan TAB 01, yang memiliki nilai rerata dP yaitu sebesar 3,46 atm, yaitu lebih kecil dari TAB 02 sebesar 3,70 atm, namun memiliki nilai dv sebesar 12,71 m/s (lebih besar dari TAB 02) .

Nilai dv dan dP masing-masing model dapat dilihat pada Tabel 2. Nilai tersebut menunjukkan ada korelasi terhadap bentuk geometrinya dalam menentukan suatu dinamika fluida tanpa melibatkan tenaga dari luar seperti motor listrik. Berikut beberapa hasil simulasi CFD yang ditampilkan pada Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7 untuk TAB 01, TAB 02, TAB 03, dan TAB 04 secara berturut – turut. Pola aliran fluida masing-

masing model dipaparkan dalam bentuk vektor laju aliran.

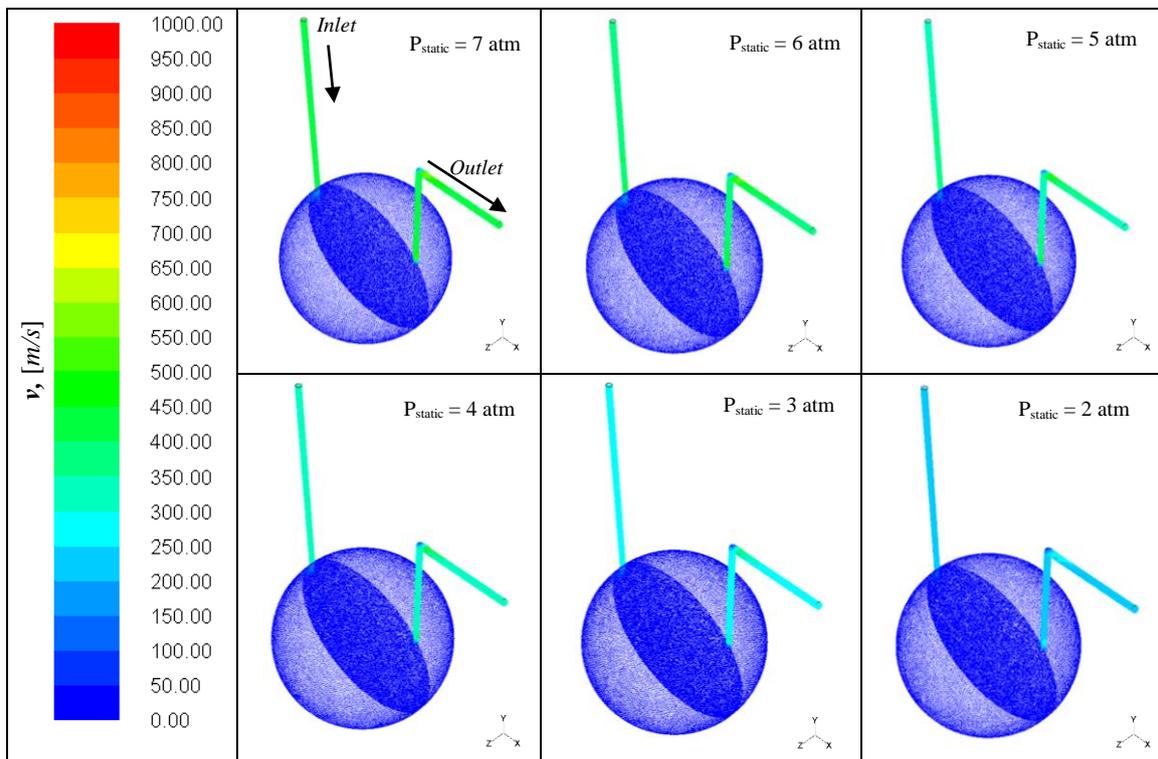


Gambar 4. Profil fluida pada beberapa variasi tekanan inlet TAB 01.

Profil TAB 01 memiliki dimensi panjang ke arah sumbu x sebesar 743 mm. Desain memanjang ini memiliki dP yang besar. Warna biru menunjukkan rendahnya laju udara setelah melewati *inlet*. Namun, akibat adanya perubahan luas penampang *outlet* yang mengecil, terjadi perubahan pertambahan laju aliran sekitar 4 kali lipat dari laju aliran di dalam TAB 01, sehingga dv di *inlet* dan *outlet* tidak besar. Dinamika fluida yang terjadi di dalamnya tidak menunjukkan adanya pusaran udara akibat

tekanan *inlet* yang memungkinkan untuk terjadinya pencampuran material ringan di sepanjang ruang TAB 01.

Selanjutnya, pada Gambar 5 ditampilkan profil dinamika fluida TAB 02. TAB 02 memiliki diameter tabung sebesar 281 mm dengan panjang pipa *inlet* sekitar 200 mm mengarah vertikal. Bagian *outlet* berbentuk sudut menyiku dengan posisi pipa keluaran horizontal. Hubungan geometri TAB 02 terhadap dinamika fluida yang terjadi tidak berbeda jauh dengan TAB 01.

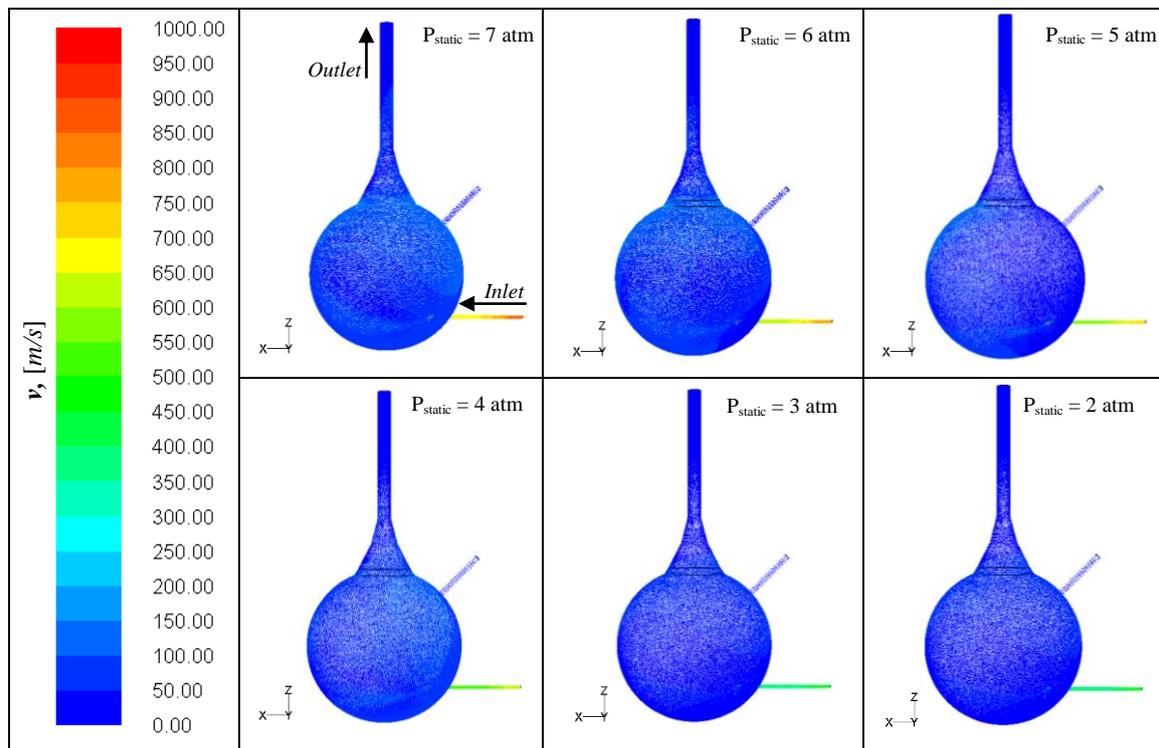


Gambar 5. Profil fluida pada beberapa variasi tekanan inlet TAB 02.

Profil laju aliran merata di dalam ruang setelah melewati pipa berdiameter 6,35 mm ($\frac{1}{4}$ in) menurun sebanyak 2,4 kali lipatnya dan kembali meningkat saat terjadi perubahan geometri *outlet*. Perbedaan yang mencolok terlihat pada kemampuan ruang berbentuk bola untuk menghasilkan pusaran udara terhadap tekanan *inlet* sehingga dapat mengoptimalkan pergerakan aerosol dan meminimalisir terjadinya pengendapannya. Aerosol ini kemudian diarahkan untuk keluar melalui *outlet* bersiku yang tentunya

memiliki kontribusi peningkatan dP yang signifikan.

Pada Gambar 6, profil dinamika fluida model TAB 03 diidentifikasi memiliki kemampuan pembangkitan pusaran udara seperti TAB 02 namun dengan posisi *inlet* horizontal. Pertimbangan penempatan posisi *inlet* ini dilakukan agar aerosol dari sistem injeksi ke FESPeCo Mod.1 dapat disalurkan secara homogen (meminimalisir endapan akibat kehilangan tekanan operasi). TAB 03 memiliki dimensi tabung bola sebesar 300 mm dengan panjang corong sampai 500 mm.



Gambar 6. Profil fluida pada beberapa variasi tekanan inlet TAB 03.

Selain variasi posisi *inlet*, TAB 03 memiliki variasi diameter *inlet* dan *outlet* yang berbeda terhadap TAB 01 dan TAB 02. Gambar 6 menunjukkan terjadinya pola yang sama terhadap TAB 02 namun dengan nilai dP tinggi secara homogen di sepanjang ruang TAB 03. Posisi *inlet* TAB 03 berada pada titik 75 mm dari titik tengah bola sehingga fenomena pusaran udara dapat dibentuk dengan memberikan tekanan operasi. Besarnya penurunan laju aliran yang melalui pipa *inlet* berdiameter 6,35 mm ($\frac{1}{4}$ in) ke dalam ruang bola TAB 03 sekitar 4,3 kali lipat dari laju aliran *inlet* dan merata disepanjang ruang sampai *outlet*. Perubahan pola laju aliran ini erat kaitannya dengan perubahan tekanan operasinya. Adanya perbedaan luas penampang *inlet* dan *outlet* pada fluida kerja yang memiliki sifat

compressible flow memungkinkan terjadi perubahan tekanan yang besar.

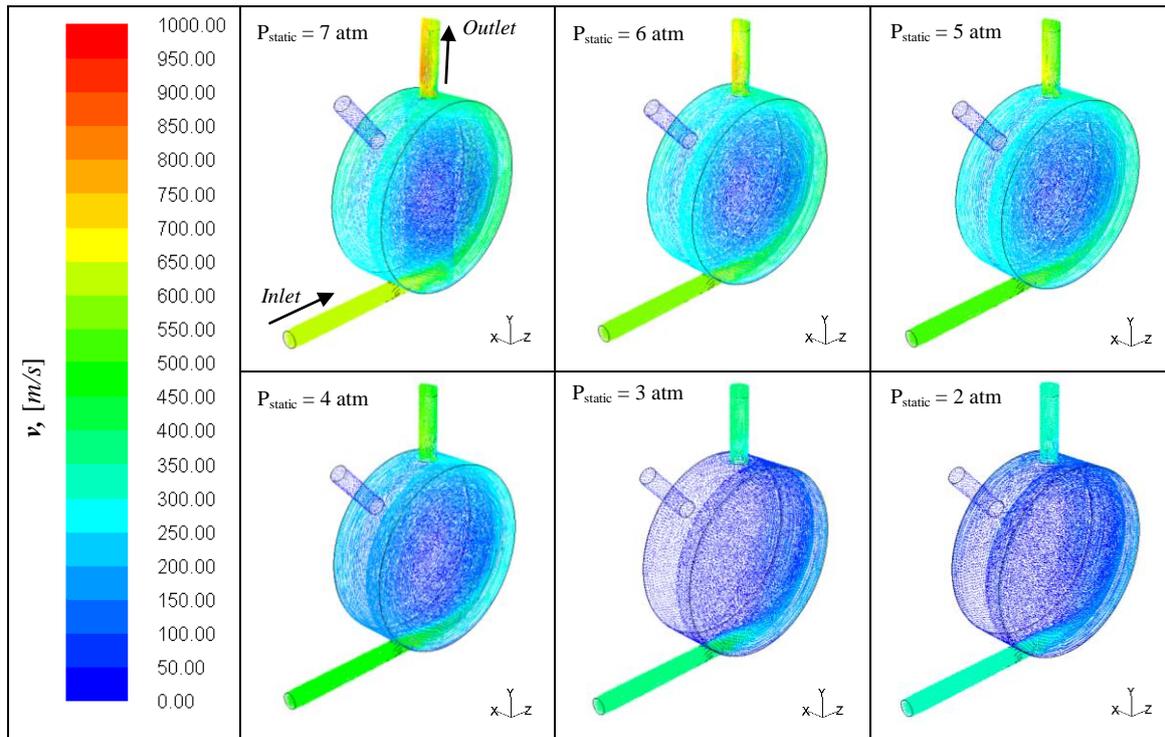
Sementara itu, profil dinamika fluida model lainnya ditampilkan pada Gambar 7. TAB 04 merupakan gabungan konstruksi TAB 01, TAB 02, dan TAB 03 atas pertimbangan desain dinamika fluidanya. TAB 04 memiliki tabung berbentuk *disk* dengan diameter 300 mm dan pipa *inlet/outlet* sekitar 100 mm sampai 200 mm. Desain geometri *disk* mempertimbangkan fenomena pembentukan pusaran udara, yaitu dengan memberikan tekanan operasi pada jarak 75 mm dari titik tengah diameter tabung. Besarnya penurunan laju aliran yang melalui pipa *inlet* berdiameter 1 in ke volume ruang TAB 04 tidak lebih dari 2 kali lipat laju aliran mula – mula *inlet*. Sedangkan di sisi *outlet* TAB 03

peningkatan laju aliran merata terjadi sebesar hampir 2 kali lipat dari laju aliran di dalam

ruang

TAB

04.



Gambar 7. Profil fluida pada beberapa variasi tekanan inlet TAB 04.

Ini menunjukkan bahwa potensi aerosol terbawa aliran udara semakin besar dan diharapkan mampu meniadakan potensi endapan di dalam ruang TAB 04.

KESIMPULAN

Penelitian pendahuluan untuk penentuan model tabung aerosol bertekanan telah dilakukan pada empat desain yang menggunakan fluida kerja berupa udara, yaitu TAB 01, TAB 02, TAB 03, dan TAB 04. Berdasarkan hasil simulasi CFD, model TAB 04 memiliki kemampuan pembangkitan pusaran udara yang lebih baik dari model lainnya, yaitu dibuktikan dengan adanya peningkatan besarnya nilai laju

aliran udara di *outlet* terhadap *inlet*, yang berbeda dari ketiga model lainnya. Oleh karena itu model TAB 04 direkomendasikan untuk selanjutnya dapat dilakukan proses fabrikasi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan dan pembiayaan dari KAK PLTN, Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir Badan Tenaga Nuklir Nasional dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. F. SULAIMAN, "Identifikasi Potensi, Dampak, dan Pengendalian Lingkungan Dalam Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir," Vol. 2 No. 3, no. DEDIKASI, p. 27, 2011.
2. I. KLJENAK AND B. MAVKO, "Simulation of KAEVER Experiments on Aerosol Behavior in a Nuclear Power Plant Containment at Accident Conditions with the ASTEC Code," *Proc. Int. Conf. Nucl. Energy New Eur. 2006*, 2006.
3. Y. OKI, et.all, "Size Measurement of Radioactive Aerosol Particles in Intense Radiation Fields Using Wire Screens and Imaging Plates," *J. Radiat. Prot. Reasearch 2016*, vol. 41, no. 3, pp. 216–221, 2016.
4. MARTIN ROBERT and FREPOLI CESARE, "Design Basis Accident Analysis Methods for Light-Water Nuclear Power Plants," 2019. [Online]. Available: https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=9AmMDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=mitigation+system+on+radiactive+release+by+spray+pw&ots=hn6qNEMr0&sig=YEDwvX7ARLCu31Igp5gEAG3F5-Y&redir_esc=y#v=onepage&q=spray&f=false.
5. K. SANTOSA, "Pengembangan Sistem Akuisisi Data Tekanan dan Temperatur pada FESPeCo Menggunakan Ni cRIO 9074," Vol. 17, No. 2, pp. 79–87, 2013.
6. G. B. HERU, "Pemrograman Sistem Akuisisi Data Pengukuran pada Fasilitas Eksperimen untuk Simulasi Pendinginan Containment," *Sigma Epsil.*, vol. 18, no. 2, pp. 51–57, 2014.
7. P. GERALDINI, "Validation of a CFD Study of Particle Distribution in Nuclear Workplace," *Proc. 2016 COMSOL Conf. Munich*, 2016.
8. A. K. DWIVEDI *et al.*, "Aerosol depositional characteristics in piping assembly under varying flow conditions," *Prog. Nucl. Energy*, vol. 116, no. April, pp. 148–157, 2019.
9. ANSYS, "7.3.3 Pressure Inlet Boundary Conditions." [Online]. Available: <http://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/ug/node239.htm#sec-pinlet-hydrostatic>.