

Studi Aliran Fluida di dalam Model Nosel Stasioner dengan Menggunakan Simulasi CFD

Hery Sonawan^{1)*}, Abdurrachim H.¹⁾, Nathanael P. Tandian¹⁾, Sigit Yuwono¹⁾

Teknik Mesin FTMD Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha No. 10, Bandung 41032
E-mail: hsonawan@ymail.com

Abstrak

Penelitian tentang studi aliran di dalam model nosel stasioner dengan menggunakan simulasi CFD telah dilakukan. Penelitian ini adalah penelitian awal dari rangkaian penelitian untuk memperoleh model desalinasi dengan mengaplikasikan nosel berputar didalamnya. Sebelum melakukannya pada model nosel berputar, dalam penelitian ini simulasi dilakukan terlebih dahulu pada model nosel stasioner. Untuk mendapatkan karakteristik dari sebuah model nosel stasioner, dapat diperoleh dengan melakukan simulasi terhadap beberapa model nosel yang dikembangkan. Model nosel stasioner dianalisis melalui simulasi CFD dengan dibantu metode desain parametrik yaitu factorial design dan response surface methodology. Dalam factorial design, variabel-variabel input awal yang diuji antara lain jumlah lubang orifice (dua dan tiga lubang), lokasi lubang orifice (lubang di depan dan di samping), diameter lubang orifice (1 mm dan 2 mm), diameter nosel (2,5 mm dan 3 mm) dan bentuk nosel "flat nose", sedangkan sebagai variabel output adalah sudut semburan air yang keluar dari nosel. Sudut semburan diasumsikan mewakili kehalusan ukuran butiran air keluar nosel. Semakin besar sudut semburan maka semakin halus ukuran butiran yang dihasilkan. Simulasi CFD dengan Fluent menggunakan model viskos k- ϵ standard yang dikombinasikan dengan discrete phase model dengan pendekatan perhitungan aliran steady state. Fluida yang disimulasikan di dalam nosel adalah air subdingin pada temperatur 25^oC mengalir dengan laju massa konstan. Dari dua model nosel stasioner yang disimulasikan, model nosel "flat nose" yang memiliki dua lubang orifice berdiameter 1 mm dengan posisi lubang orifice eksentrik tangensial dan lubang nosel berdiameter 3,35 mm menghasilkan sudut semburan terbesar. Semburan air ini tersebar dengan sudut 78^o dan menghasilkan pola aliran berputar (swirling). Model nosel stasioner ini selanjutnya akan dimodifikasi untuk kebutuhan analisis pada model nosel berputar.

Kata kunci: Nosel stasioner, nosel berputar, desalinasi, faktorial desain, CFD

Abstract

Research on the study of the flow in the stationary nozzle models using CFD simulations have been carried out. This research is the beginning of a series of studies to obtain a model of desalination by applying a rotating nozzle. In this research, the simulation is done first on a stationary nozzle models, before doing it on a rotating nozzle model. To obtain the characteristics of a stationary nozzle models, simulations can be performed on several developed nozzle models. Stationary nozzle models were analyzed using CFD simulations and assisted by the method of parametric design of factorial design and response surface methodology. In a factorial design, the initial input variables involved are the number of orifice holes (two and three holes), the location of the orifice hole (a hole in the front and on the side), the hole diameter of the orifice (1 mm and 2 mm), the diameter of the nozzle (2, 5 mm and 3 mm) and the nozzle shape "flat nose", while the output variable is the angle of the water spray. The spray angle is assumed to represent the fineness of the grain size of the water coming out of the nozzle. The greater the angle, the more fine water spray droplets size produced. CFD simulation is done by using standard k- ϵ viscous models and combined with a discrete phase model with a steady-state flow calculation approach. Subcooled water (25^oC) as the working fluid in the nozzle flow is simulated with a constant mass flow. Of the two stationary nozzle models are simulated, nozzle model "flat nose" that has two holes orifice diameter of 1 mm with eccentric tangential orifice hole position and hole diameter of 3.35 mm produces largest water spray angle. The water jets are scattered at an angle of 78^o and generates a rotating flow patterns (swirling). The stationary nozzle models will then be modified for the purposes of the analysis on the rotating nozzle model.

Key words: Stationary nozzle, rotating nozzle, desalination, factorial design, CFD.

1. LATAR BELAKANG

Produksi air bersih (air tawar) saat ini dapat dilakukan dengan beragam metode, salah satunya adalah destilasi atau desalinasi. Dalam desalinasi, kandungan mineral dan garam dihilangkan dari air asin (air laut) sehingga menghasilkan air tawar [5]. Saat ini, ketertarikan akan desalinasi yang lebih maju lebih difokuskan pada bagaimana mengembangkan metode desalinasi yang ekonomis untuk daerah yang memiliki keterbatasan air bersih.

Salah satu konsep baru dalam desalinasi adalah menggabungkan proses desalinasi dengan pembangkitan daya listrik atau *combined desalination and power generation (CDP)*. Dengan didanai oleh the Australian Research Council (ARC), Greenearth Energy Ltd dan RMIT University, proyek kerjasama ditujukan untuk melakukan riset tentang konsep sistem gabungan desalinasi dan pembangkitan daya, dan juga mengembangkan sebuah prototipe sistem geotermal ganda berskala laboratorium [4]. Dalam penelitian lainnya, integrasi desalinasi dan pembangkitan daya listrik menggunakan energi surya merupakan sebuah metode prospektif

*Penulis korespondensi, HP:08122333984
E-mail: hsonawan@ymail.com

untuk menjawab tantangan atas ketersediaan energi listrik dan air bersih.

Dalam sistem CDP yang dikembangkan itu, terdapat sebuah nosel dua-fasa yang diuji dalam kondisi statik dan berputar [3]. Pada nosel terjadi *flashing* dan akibat gaya dorong jet yang keluar dari nosel menyebabkan nosel berputar dan menghasilkan energi mekanik yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik.

Penelitian yang dipaparkan dalam makalah ini diilhami oleh sistem CDP yang dikembangkan oleh Aliakbar Akbarzadeh [3], hanya saja keluaran yang dihasilkan berupa desalinasi tanpa pembangkitan daya. Dalam proses desalinasi itu, tetap menggunakan nosel sebagai perangkat untuk menghasilkan proses *flashing*. Nosel akan dipasangkan pada sistem rotor dengan maksud untuk menghasilkan putaran agar pada saat *flashing* terjadi pendistribusian pada ruang yang lebih luas. Proses *flashing* nantinya dilakukan dalam ruang vakum dan air asin yang disemburkan sudah dipanaskan terlebih dahulu pada temperatur sekitar 50-60°C.

Sebelum melakukannya pada nosel berputar, terlebih dahulu dilakukan penelitian pada nosel stasioner. Dalam penelitian ini, selain ditujukan untuk mempelajari aliran fluida di dalam nosel stasioner juga ditujukan untuk memperoleh karakteristiknya. Untuk mendapatkan karakteristik dari sebuah model nosel stasioner, dapat dilakukan dengan mensimulasikan beberapa model nosel yang dikembangkan. Model nosel stasioner dianalisis melalui simulasi CFD dengan dibantu metode desain parametrik yaitu desain faktorial (*factorial design*) dan metode permukaan respon (*response surface methodology*).

2. METODOLOGI

Penelitian tentang studi aliran di dalam nosel stasioner dengan menggunakan simulasi CFD mengikuti diagram alir dalam gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian studi aliran dalam nosel stasioner

Untuk memperoleh karakteristik sebuah nosel stasioner melalui simulasi CFD diawali dengan mengidentifikasi permasalahan diantaranya bagaimana menentukan model fluida, syarat batas apa saja yang harus ditentukan dan bagaimana setup eksperimen sebagai verifikasi hasil simulasi CFD. Untuk melakukan simulasi CFD, variabel-variabel input yang terlibat harus ditentukan setelah mempelajari literatur-literatur yang relevan. Variabel-variabel tersebut disusun sedemikian rupa dengan menerapkan desain faktorial untuk memperoleh variabel apa saja yang paling berpengaruh terhadap variabel output yang diinginkan. Variabel input yang paling berpengaruh akan dapat diperoleh setelah data-data hasil simulasi diolah dengan menggunakan algoritma Yates. Simulasi dilakukan secara berulang dengan mengikuti panduan dari desain faktorial dan metode permukaan respon sehingga diperoleh sebuah model nosel dengan output terbaik.

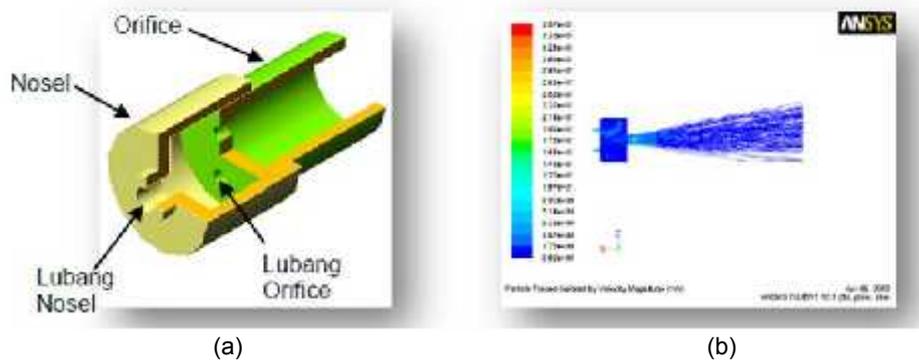
Model nosel stasioner dengan output terbaik ini selanjutnya akan disimulasikan lebih lanjut pada model nosel berputar untuk memperoleh karakteristiknya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Model nosel stasioner yang menjadi objek simulasi terdiri dari dua jenis nosel yang masing-masing dibangun dari orifice dan nosel (gambar 2) dan disebut sebagai orifice-nosel. Setiap nosel dibedakan satu sama lain berdasarkan variabel-variabel jumlah lubang orifice, lokasi lubang orifice, diameter lubang orifice, diameter nosel dan bentuk nosel. Aliran fluida di dalam nosel dimulai dari bagian orifice. Fluida mengalir di dalam saluran orifice menuju lubang orifice untuk diteruskan ke dalam bagian nosel. Dari dalam nosel, fluida disemburkan membentuk jet dari lubang nosel. Semburan atau jet yang diinginkan adalah semburan dengan sudut sembur terbesar. Dengan asumsi bahwa apabila debit fluida konstan, maka dengan sudut semburan makin besar akan diperoleh ukuran butiran semakin halus. Proses *flashing* dari nosel akan sangat baik jika terjadi pemecahan butiran menjadi ukuran yang lebih halus. Semakin halus, butiran akan lebih mudah untuk didesalinasi (kondensasi). Oleh karenanya, sudut semburan yang besar menjadi keluaran dari penelitian ini.

Untuk mendapatkan sebuah model nosel dengan sudut semburan terbesar perlu disimulasikan dengan mengatur variabel-variabel yang berpengaruh. Terdapat lima variabel yang akan diuji. Kelima variabel itu disusun dengan menerapkan desain faktorial untuk dicari variabel apa yang paling berpengaruh terhadap sudut semburan. Kelima variabel mewakili dua jenis nosel yang akan disimulasikan. Simulasi dalam hal ini menggunakan Ansys Fluent 12.1 dengan pengaturan-pengaturan antara lain pendekatan model viskos k- ϵ standard yang

dikombinasikan dengan *discrete phase model* dengan pendekatan perhitungan aliran steady state. Fluida yang disimulasikan di dalam nosel adalah air subdingin pada temperatur 25°C mengalir dengan laju massa konstan.



Gambar 2. (a). Model orifice-nosel “flat nose”, (b). Citra kontur kecepatan dari nosel

Dalam tahap pertama, model nosel yang disimulasikan dibangun dari orifice dan nosel *flat nose* (gambar 2). Simulasi dilakukan sebanyak delapan langkah menurut susunan desain faktorial seperti dalam tabel 1. Terdapat tiga variabel yang disimulasikan yaitu jumlah lubang orifice, diameter orifice dan diameter nosel, dengan masing-masing variabel terdiri dari dua level. Nilai setiap level dari masing-masing variabel ditentukan secara acak, misalnya untuk variabel jumlah lubang orifice ditentukan 2 dan 3 lubang, sedangkan untuk diameter nosel ditentukan 2,5 mm dan 3,0 mm. Selanjutnya ketiga variabel dengan dua level itu disimulasikan dalam Fluent sebanyak delapan kali untuk mendapatkan sudut semburannya (tabel 2). Sudut semburan diperoleh dengan bantuan perangkat lunak pengolahan citra pada citra kontur kecepatan atau citra lintasan partikel. Salah satu contoh citra kontur kecepatan semburan yang keluar dari nosel ditunjukkan dalam gambar 2b.

Tabel 1. Tiga variabel input dengan dua level

	JLO (buah)	DO (mm)	DN (mm)
-	2	1	2,5
+	3	2	3,0

Dimana:

JLO = jumlah lubang orifice.
DO = diameter orifice.
DN = diameter nosel.

Tabel 2. Desain faktorial

Simulasi Ke	JLO	DO	DN	Sudut Semburan Rata ² (deg)
1	2	1	2,5	6,9
2	3	1	2,5	7,2
3	2	2	2,5	6,9
4	3	2	2,5	10,7
5	2	1	3,0	16,4
6	3	1	3,0	8,1
7	2	2	3,0	8,8
8	3	2	3,0	9,9

Hasil simulasi CFD selanjutnya diolah dengan menggunakan algoritma Yates untuk mendapatkan variabel apa yang paling berpengaruh terhadap sudut semburan. Hasil pengolahan dengan algoritma Yates ditunjukkan dalam tabel 3 di bawah ini.

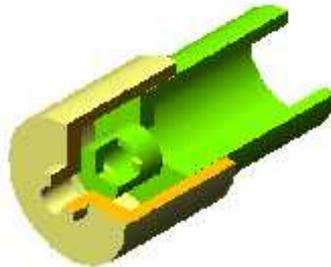
Tabel 3. Algoritma Yates untuk melihat pengaruh JLO, DO dan DN pada sudut semburan

SUDUT SEMBURAN	I	II	III	PEMBAGI		
5,9	14,10	31,70	74,90	8	9,36	RATA-RATA
7,7	17,60	49,30	-9,10	4	-0,78	JLO
5,9	24,50	4,10	2,20	4	0,57	DO
10,7	18,70	-7,20	12,90	4	3,23	JLO-DO
16,4	0,30	3,50	11,50	4	2,88	DN
3,1	3,80	-5,30	-11,30	4	-2,83	JLO-DN
8,8	-8,30	3,50	-9,30	4	-2,99	DO-DN
0,0	1,10	9,40	5,90	4	1,48	JLO-DO-DN

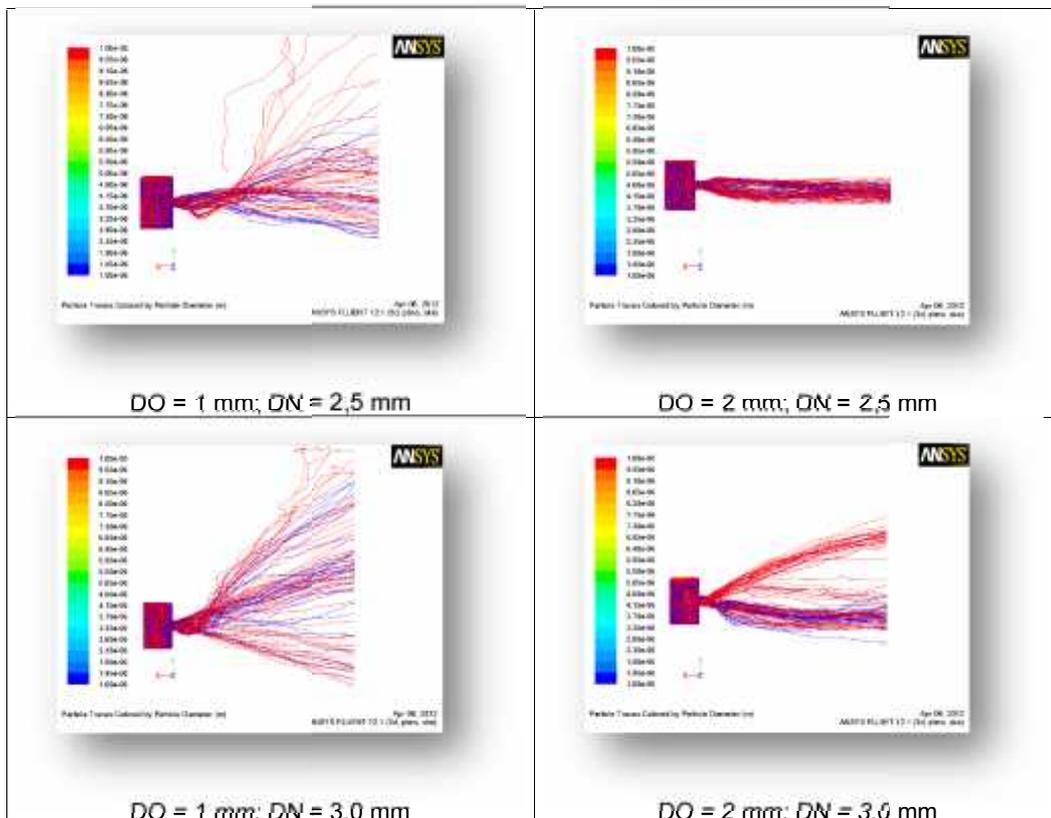
Angka-angka dalam tabel 3 menjelaskan makna-makna seperti berikut. Simulasi terhadap bentuk orifice-nosel “flat nose”, menghasilkan nilai rata-rata sudut semburan sebesar $9,36^{\circ}$. Ditinjau dari masing-masing variabel tunggal, variabel DN atau diameter nosel merupakan variabel dengan pengaruh terbesar terhadap sudut semburan. Perubahan diameter nosel dari 2,5 mm menjadi 3,0 mm menghasilkan pertambahan sudut semburan sebesar $2,88^{\circ}$. Untuk variabel lainnya, perubahan jumlah lubang orifice (JLO) dari 2 lubang menjadi 3 lubang menghasilkan pengurangan sudut semburan sebesar $0,78^{\circ}$ atau dengan kata lain pertambahan sudut semburan $0,78^{\circ}$ akan diperoleh jika mengubah jumlah lubang orifice dari 3 lubang menjadi 2 lubang. Perubahan diameter orifice (DO) menghasilkan perubahan sudut semburan paling kecil dibandingkan dengan dua variabel lainnya. Dengan demikian, variabel diameter nosel merupakan variabel yang paling berpengaruh terhadap sudut semburan, diikuti jumlah lubang orifice dan diameter orifice.

Simulasi CFD tidak berarti apa-apa tanpa adanya validasi dengan eksperimen. Dalam persiapan melakukan eksperimen, model nosel yang disiapkan menemui kendala dalam proses manufakturnya. Ditinjau dari tingkat kesulitan dalam teknik manufaktur terhadap ketiga variabel, maka dapat diurutkan dari tingkat tersulit sebagai berikut: JLO, DO dan DN. Memproduksi lubang nosel paling mudah dibandingkan membuat lubang orifice ataupun menghasilkan jumlah lubang orifice. Oleh karena itu, variabel yang selanjutnya dipilih dalam simulasi berikutnya adalah DN dan DO dengan JLO dipilih 2 lubang karena 2 lubang lebih baik dari 3 lubang dilihat dari sudut semburan yang dihasilkan.

Dalam simulasi tahap kedua, model orifice-nosel yang disimulasikan masih berbentuk flat nose akan tetapi posisi lubang orifice eksentrik tangensial berjumlah dua lubang (gambar 3a). Variabel yang disimulasikan adalah diameter orifice (DO) dan diameter nosel (DN) yang ditentukan secara acak. Kedua variabel dengan dua level disimulasikan dalam Fluent sebanyak empat kali untuk mendapatkan sudut semburannya (tabel 4).



(a) Model orifice-nosel “Flat Nose” dengan posisi lubang orifice eksentrik tangensial



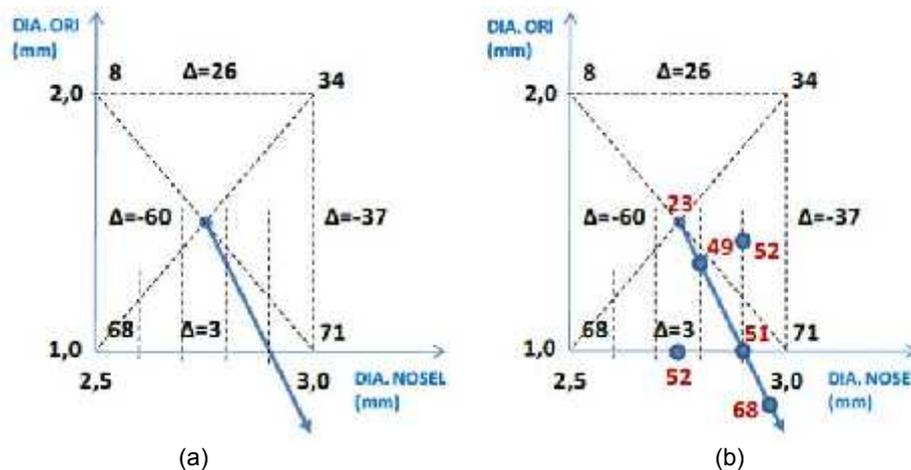
(b) Citra kontur lintasan partikel untuk variasi DO dan DN

Gambar 3. Hasil simulasi lubang orifice eksentrik tangensial berjumlah dua lubang

Tabel 4. Hasil simulasi model orifice-nosel dengan posisi lubang orifice eksentrik tangensial

SIMULASI KE	DO	DN	SUDUT SEMBURAN RATA ² (deg)
1	1	2,5	68
2	2	2,5	8
3	1	3,0	71
4	2	3,0	34

Melihat angka-angka sudut semburan hasil simulasi, sudut terbesar 68° diperoleh dari pasangan diameter orifice 1 mm dan diameter nosel 3 mm. Dengan mengamati kontur kecepatan dan lintasan partikel, tampak bahwa aliran fluida keluar nosel mengalami putaran (swirling). Penggunaan orifice berdiameter 1 mm mengawali terjadinya putaran lebih baik dibandingkan diameter 2 mm. Kecepatan fluida keluar dari lubang orifice sangat mempengaruhi terbentuknya putaran fluida. Semakin tinggi kecepatannya, semakin besar juga sudut putarannya. Apabila orifice berperan sebagai inisiator dari terbentuknya aliran berputar, demikian juga dengan nosel. Ukuran nosel ikut mempengaruhi besar kecilnya sudut semburan yang dihasilkan. Semakin besar diameter nosel, semakin besar juga sudut semburan yang terjadi. Akan tetapi sampai seberapa besar diameter nosel yang mampu membangkitkan sudut semburan yang besar. Tentu saja ada batas tertentu yang masih mampu menghasilkan sudut semburan lebih besar atau bahkan lebih kecil. Metode permukaan respon dapat diterapkan untuk mendapatkan jawabannya. Dengan menggunakan metode ini, angka-angka hasil simulasi disusun dalam sistem koordinat kartesian seperti dalam gambar 4. Variabel diameter nosel diletakkan di sumbu mendatar dan variabel diameter orifice diletakkan di sumbu vertikal. Selanjutnya angka-angka sudut semburan diplot pada masing-masing pasangan diameter nosel dan diameter orifice. Dari angka-angka itu, diperoleh perubahan rata-rata sudut semburan dalam arah mendatar sebesar 14,5° dan perubahan rata-rata dalam arah vertikal sebesar -48,5°. Resultan dari perubahan kedua arah itu berada pada angka resultan -73,35° (di tandai dengan garis berpanah pada diagram di gambar 4).



Gambar 4. (a) Arah kecenderungan sudut semburan lebih besar, (b) Titik-titik simulasi dan hasil sudut semburan

Jika melihat diagram dalam gambar 4, terdapat kecenderungan bahwa sudut semburan masih dapat bertambah lebih besar jika diameter orifice diperkecil dan diameter nosel diperbesar. Dengan mengikuti arah perubahan itu, maka pasangan orifice dan nosel yang akan disimulasikan di tahap berikutnya mengikuti persamaan $DO = -3,34 DN + 10,69$. Dengan persamaan itu, pasangan diameter orifice dan diameter nosel yang diusulkan diperlihatkan dalam tabel 6.

Tabel 6. Pasangan DN dan DO.

DN (mm)	DO (mm)	SUDUT SEMBURAN (deg)
2,75	1,5	23
2,80	1,3	49
2,90	1,0	51

Tabel 7. Pasangan DN dan DO lainnya.

DN (mm)	DO (mm)	SUDUT SEMBURAN (deg)
2,96	0,8	68
2,75	1,0	52
2,90	1,4	52

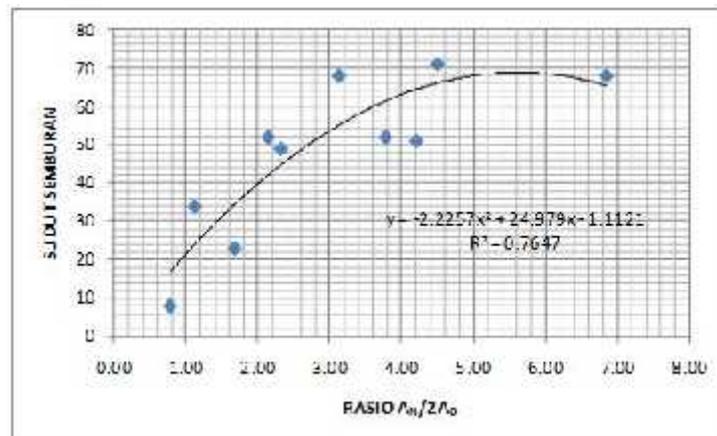
Selain menentukan tiga pasangan DN dan DO, pasangan lainnya ditentukan secara acak yaitu pasangan-pasangan di sebelah kiri dan kanan garis berpanah. Pasangan itu menghasilkan sudut semburan dan ditunjukkan dalam tabel 7 dan gambar 4b. Hasil simulasi menunjukkan sudut semburan terbesar 68° yang tidak lebih besar dari hasil simulasi sebelumnya. Sudut semburan yang sama mungkin dihasilkan dari pasangan diameter orifice dan diameter nosel berbeda. Sebagai contoh, sudut semburan 68° dihasilkan dari pasangan DO = 1 mm, DN = 2,5 mm dan pasangan DO = 0,8 mm, DN = 2,96 mm. Untuk melakukan analisis lebih jauh dari pasangan orifice dan nosel, korelasi kedua variabel dibangun melalui perbandingan luas lubang orifice terhadap luas lubang nosel atau sebaliknya. Perbandingan luas lubang ini cukup erat kaitannya dengan fenomena aliran dari lubang orifice dan lubang nosel. Semakin kecil lubang orifice, akan menghasilkan kecepatan aliran lebih tinggi. Dengan posisi lubang orifice eksentrik tangensial, aliran fluida bergerak berputar di dalam saluran nosel dengan kecepatan tinggi. Kemudian aliran itu berlanjut menuju lubang nosel. Semakin kecil lubang nosel, dapat menjadi hambatan keluarnya fluida, sedangkan semakin besar lubang nosel lebih memudahkan fluida mengalir keluar nosel karena lebih kecilnya hambatan. Dengan demikian perlu ditelusuri lebih lanjut perbandingan luas lubang nosel dan luas lubang orifice dimana perbandingan itu mungkin menghasilkan sudut semburan lebih besar dari sudut yang sudah dihasilkan dari simulasi sebelumnya.

Tabel 8. Rasio luas penampang lubang nosel terhadap luas penampang lubang orifice

DN (mm)	DO (mm)	Sudut Semburan (deg)	RASIO $A_N/2A_O$
2,75	1,5	23	1,68
2,80	1,3	49	2,32
2,90	1,0	51	4,21
2,96	0,8	68	6,85
2,75	1,0	52	3,78
2,90	1,4	52	2,15
2,50	1,0	68	3,13
2,50	2,0	8	0,78
3,00	1,0	71	4,50
3,00	2,0	34	1,13

Keterangan: A_N = luas penampang lubang nosel (mm^2); A_O = luas penampang lubang orifice (mm^2)

Korelasi antara sudut semburan dan rasio luas lubang nosel terhadap luas lubang orifice diperlihatkan dalam gambar 5 berikut ini



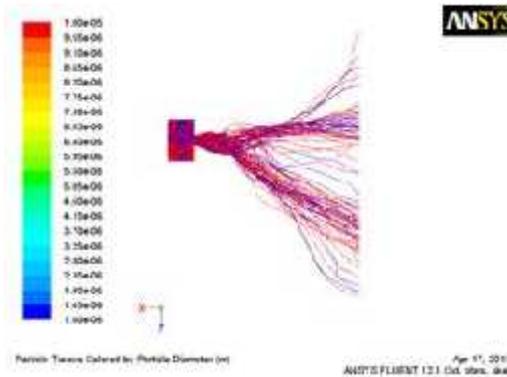
Gambar 5. Model kuadratik hubungan $A_N/2A_O$ vs sudut semburan

Dengan memilih model regresi berupa model kuadratik (gambar 5), korelasi antara sudut semburan dan rasio $A_N/2A_O$ memiliki nilai maksimum di titik $A_N/2A_O = 5,61$. Dengan rasio itu, sudut semburan maksimum yang dihasilkan yaitu 69° pada perbandingan diameter $d_N/d_O = 3,35$. Hasil ini adalah hasil dari model kuadratik pada titik tertinggi. Pasangan diameter orifice 1 mm dan diameter nosel 3,35 yang diperoleh dari model kuadratik akan disimulasikan dalam Fluent dan menghasilkan sudut semburan rata-rata sebesar 73° . Citra kontur lintasan partikel dari pasangan orifice-nosel itu diperlihatkan dalam gambar 6.

Pola aliran di dalam dan keluar nosel sekali lagi menunjukkan pola aliran berputar (swirling). Diawali dengan aliran berputar di dalam saluran nosel akibat kecepatan tinggi dari lubang orifice, aliran fluida kemudian keluar dari lubang nosel dengan pola aliran berputar dan menghasilkan sudut semburan terbesar untuk model nosel dengan posisi lubang orifice eksentrik tangensial.

Untuk memeriksa apakah simulasi CFD ini benar dalam arti pemilihan model viskos k- ϵ dan model fasa diskret (discrete phase model) sudah sesuai, maka perlu divalidasi melalui studi eksperimen. Dalam eksperimen, peralatan yang dibutuhkan terdiri dari tabung bertekanan, orifice-nosel, selang karet dan kamera digital. Model orifice nosel yang diuji disesuaikan dengan apa yang sudah disimulasikan dalam Fluent. Terdapat dua model

orifice-nosel yang diuji, yaitu model orifice-nosel dengan posisi lubang orifice di depan dan model orifice-nosel dengan posisi lubang orifice eksentrik tangensial. Eksperimen diarahkan dengan metode desain faktorial yang sama dengan yang dilakukan melalui simulasi CFD.



Gambar 6. Citra kontur lintasan partikel untuk orifice-nosel dengan DN = 3,35 mm dan DO = 1 mm

Dalam eksperimen, air sebagai fluida kerja ditampung dalam tabung bertekanan kemudian diberi tekanan sebesar 3 bar. Aliran air bergerak menuju orifice-nosel melalui selang karet kemudian pola aliran yang keluar dari nosel difoto dengan menggunakan kamera digital.

Dalam eksperimen tahap kesatu, model orifice-nosel dengan posisi lubang orifice di depan (seperti terlihat dalam gambar 1) diuji pertama kali dan hasilnya ditunjukkan dalam tabel 9.

Tabel 9. Hasil eksperimen model orifice-nosel dengan posisi lubang orifice di depan

NO	JLO (buah)	DO (mm)	DN (mm)	Sudut Semburan (deg)
1	2	1	2,5	8,7
2	3	1	2,5	17,3
3	2	2	2,5	4,4
4	3	2	2,5	2,9
5	2	1	3,0	25,8
6	3	1	3,0	17,3
7	2	2	3,0	5,8
8	3	2	3,0	2,9

Setelah diolah lebih lanjut dengan algoritma Yates dan diperbandingkan dengan hasil simulasi maka keduanya memperlihatkan adanya kesamaan dan perbedaan. Adanya perbedaan jika ditinjau dari urutan variabel yang berpengaruh terhadap sudut semburan. Dari hasil simulasi urutan yang berpengaruh adalah DN-JLO-DO sedangkan dari hasil eksperimen urutan yang berpengaruh adalah DO-DN-JLO. Variabel DO (diameter orifice) adalah variabel yang kurang konsisten. Dari hasil simulasi CFD, variabel DO merupakan variabel yang kurang berpengaruh sedangkan dari hasil eksperimen, variabel DO adalah variabel yang paling berpengaruh. Ketidakkonsistenan ini dapat disebabkan oleh kekurangpresisian dalam pembuatan lubang orifice. Lubang orifice berdiameter kecil sangat sulit diproduksi dibandingkan lubang berukuran lebih besar, demikian juga dengan peletakkannya.

Kesamaan yang ditunjukkan hasil simulasi dan eksperimen antara lain dilihat dari tanda plus dan minus pada masing-masing variabel tunggal JLO, DO dan DN. Tanda plus berarti perubahan dari level minus ke plus dan tanda minus berarti perubahan dari level plus ke minus (lihat tabel 1). Kesamaan tanda plus dan minus ini menunjukkan bahwa pemilihan model pada saat simulasi CFD sudah sesuai atau dengan kata lain hasil simulasi sudah mendekati hasil eksperimen.

SUDUT SEMBURAN	I	II	III	PEMBAGI		
6,9	14,10	31,70	74,90	8	9,36	RATA-RATA
7,2	17,60	43,20	-3,10	4	-0,78	JLO
6,9	24,50	4,10	-2,30	4	-0,57	DO
10,7	18,70	-7,20	12,90	4	3,23	JLO-DO
16,4	0,30	3,50	11,50	4	2,88	DN
8,1	3,80	-5,80	-11,30	4	-2,83	JLO-DN
8,8	-8,30	3,50	-9,30	4	-2,33	DO-DN
9,9	1,10	9,40	5,90	4	1,48	JLO-DO-DN

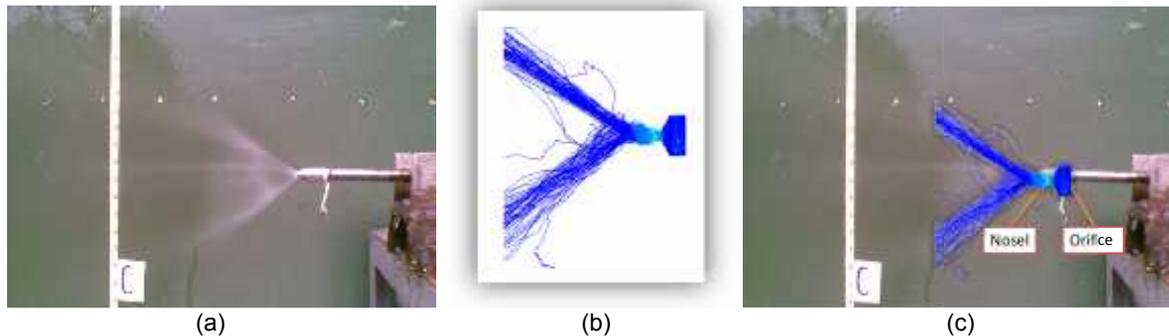
(a)

SUDUT SEMBURAN	I	II	III	PEMBAGI		
8,72	26	33,3	85,13	8	10,641	RATA-RATA
17,33	7,27	51,8	-4,17	4	-1,042	JLO
4,36	43,1	7,16	-53,1	4	-13,28	DO
2,91	8,73	-11	-4,55	4	-1,138	JLO-DO
25,75	8,62	-19	18,49	4	4,6226	DN
17,33	-1,5	-34	-18,5	4	-4,623	JLO-DN
5,82	-8,4	-10	-15,6	4	-3,896	DO-DN
2,91	-2,9	5,52	15,59	4	3,8964	JLO-DO-DN

(b)

Gambar 7. (a) Pengolahan data hasil simulasi, (b) Pengolahan data hasil eksperimen

Validasi lainnya dilakukan dengan melakukan perbandingan citra hasil simulasi dan citra hasil eksperimen. Salah satu contoh perbandingan itu ditunjukkan dalam gambar 8. Citra itu mewakili model orifice-nosel dengan pasangan diameter orifice 1 mm dan diameter nosel 3 mm. Pola aliran semburan yang dihasilkan menyerupai topi kerucut dengan kekosongan di bagian tengah, fluida hanya mengisi di bagian selimut kerucut. Aliran fluida keluar nosel diawali dengan aliran berputar dengan jarak tempuh yang singkat kemudian terbentuk lembaran (sheet) yang akhirnya menjadi butiran (droplet) akibat mekanisme pemecahan lembaran (sheet breakup). Fenomena semburan berupa lembaran yang terpecah menjadi butiran ini sangat diharapkan terutama semburan dengan sudut yang besar. Jika fluida dialirkan dengan laju massa konstan dan bergerak dengan kecepatan tinggi akibat melewati lubang berdiameter kecil maka menghasilkan sudut semburan yang besar. Pemecahan semburan lembaran bersudut besar mampu menghasilkan ukuran butiran lebih halus. Ditinjau dari efektivitas proses desalinasi, butiran halus ini mampu meningkatkan laju desalinasi. Akan tetapi hal ini perlu pembuktian lebih lanjut dengan mempelajari karakteristik pemecahan lembaran melalui pengamatan langsung pada lembaran tersebut.



Gambar 8. (a) Citra semburan hasil eksperimen, (b) Citra semburan hasil simulasi, (c) Citra semburan yang saling ditumpangin.

4. SIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan beberapa kesimpulan, antara lain:

1. Simulasi CFD yang menggunakan viscous model: $k-\epsilon$, standard dan discrete phase model cukup mewakili fenomena aliran keluar orifice-nosel.
2. Model orifice-nosel "flat nose" dengan posisi lubang orifice eksentrik tangensial menghasilkan sudut semburan lebih besar dibandingkan model orifice-nosel "flat nose" dengan posisi lubang orifice di depan.
3. Desain optimum model orifice-nosel "flat nose" adalah diameter lubang orifice 1 mm, diameter lubang nosel 3,35 mm dan jumlah lubang orifice 2 buah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Box, George E.P., *Statistics for Experimenters*, Second Edition, 2005.
- [2] Montgomery, Douglas C., *Design and Analysis of Experiments*, Fifth Edition, John Wiley & Sons, Inc., 1997.
- [3] Zhao, Y, Akbarzadeh, A and Andrews, J 2007, *Combined Water Desalination and Power Generation Using Salinity Solar Pon'*, in ISES Solar World Congress 2007 Proceedings, Beijing, China, 18-21 September 2007.
- [4] <http://www.greenearthenergy.com.au>, *Geothermal Project To Produce Clean Energy and Fresh Water*, RMIT University, January 19th, 2010.
- [5] [<http://en.wikipedia.org/wiki/Desalination>]