

ANALISA PENGARUH SUDUT CONVERGING DUCT PADA PERFORMANSI CONSTANT PRESSURE THERMO VAPOR COMPRESSOR MENGGUNAKAN CFD

¹⁾MSK Tony Suryo Utomo* dan ²⁾Ahmad Sarip Hidayatulloh

¹⁾Staff Pengajar Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²⁾Mahasiswa Jurusan Teknik mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

*E-mail: msk_tony@undip.ac.id

ABSTRAK

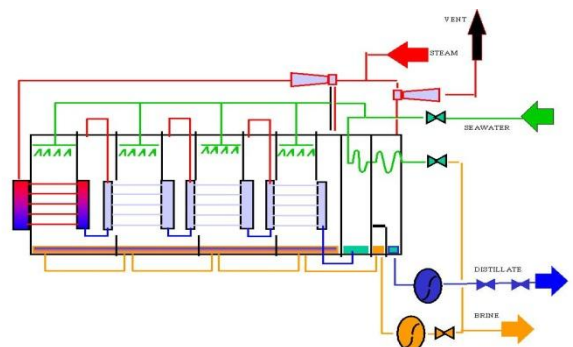
Desalinasi merupakan teknologi yang berfungsi mengubah air laut menjadi air bersih. Salah satu jenis teknologi desalinasi yang telah teruji adalah MED (*Multi Effect Desalination*). Teknologi desalinasi MED yang beroperasi pada suhu rendah. Teknologi desalinasi MED merupakan salah satu proses desalinasi menggunakan termal yang efisien. Pada saat ini pengembangan lain dari sistem MED adalah MED-TVC (*Multi Effect Desalination-Thermo Vapor Compressor*). TVC merupakan bagian yang penting dalam proses desalinasi untuk meningkatkan nilai GOR pada sistem desalinasi MED. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui parameter-parameter yang tepat pada simulasi aliran fluida dalam *thermo vapor compressor* dan mengetahui pengaruh modifikasi pada *converging duct* dengan variasi sudut sebesar 5°; 7,5°; 10°; 12,5° dan 15° dengan memvariasikan tekanan pada *suction* untuk mendapatkan nilai *entrainment ratio* yang optimum. Hasil simulasi menunjukkan semakin besar sudut *converging duct* menyebabkan penurunan pada *secondary flow*, yang menyebabkan penurunan nilai *entrainment ratio* pada TVC. Pada sudut 5° nilai *entrainment ratio* TVC sebesar 1,307, sudut 7,5° sebesar 1,267, sudut 10° sebesar 1,247, sudut 12,5° sebesar 1,239 dan sudut 15° sebesar 1,241. TVC dengan sudut *converging duct* 5° memiliki nilai yang terbaik sebesar 1,307.

Kata kunci:GOR, *Thermo vapor compressor*, sudut *converging duct*, *entrainment ratio*, CFD, Desalinasi

PENDAHULUAN

Pada saat ini kebutuhan untuk air tawar sangat meningkat dengan pesat, pada 2015 jumlah penduduk Indonesia melonjak menjadi lebih dari 250 juta jiwa. Jumlah tersebut mengakibatkan pemenuhan kebutuhan air meningkat menjadi 9,391 miliar meter kubik atau naik 47% dari tahun 2000. Padahal ketersediaan air cenderung menurun setiap tahunnya. Di Pulau Jawa, misalnya, ketersediaan air hanya 1.750 meter kubik per kapita per tahun atau sekitar 87,5% kebutuhan air bersih yang dibutuhkan penduduk di Pulau Jawa, sedangkan standar kebutuhan air bersih yang dibutuhkan yaitu sebesar 2.000 meter kubik per kapita per tahun. Jika hal ini tidak ditanggulangi, dipastikan Indonesia akan mengalami kelangkaan air bersih pada 2020 [1].

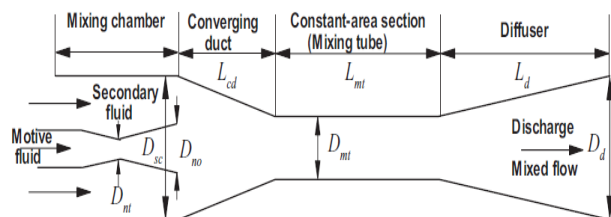
Diperkirakan, ketersediaan air bersih pada tahun 2020 hanya 1.200 meter kubik per kapita per tahun. Hal ini sangat ironis mengingat Indonesia termasuk dalam 10 negara yang kaya akan air. Untuk mendapatkan air bersih yang layak dikonsumsi sangat sulit didapatkan terutama untuk dibagian wilayah NTT [1]. Maka saat ini dikembangkan teknologi untuk melakukan proses desalination yaitu proses yang mengubah air laut menjadi air tawar yang layak dikonsumsi atau dimanfaatkan dalam proses industri. Salah satu teknologi yang digunakan adalah MED (*multi effect desalination*). Gambar 1 menunjukkan skema sistem MED.



Gambar 1. Skema Sistem *Multi Effect Desalination* (MED)[2].

Teknologi desalinasi MED yang beroperasi pada suhu rendah, merupakan salah satu proses desalinasi secara termal yang paling efisien saat ini dibandingkan dengan fasilitas desalinasi yang lain, seperti MVC (*mechanical vapor compression*) dan RO (*reverse osmosis*). Teknologi desalinasi dengan menggunakan MED telah berkembang dengan pesat diantaranya pengembangan pada *tube* evaporator / kondensor dengan perpindahan panas yang tinggi, peningkatan ketahanan korosi, konstruksi modular dengan peningkatan prosedur fabrikasi dan pengurangan waktu konstruksi. Pengembangan lain dari sistem MED adalah sistem MED-TVC. *Thermo Vapor Compressor* (TVC) adalah suatu jenis *ejector* uap yang berfungsi untuk menaikkan tekanan dan

menghisap uap tekanan rendah dengan kecepatan aliran supersonik [3]. Pada Gambar 2 dibawah ini merupakan gambar skema dari TVC.



Gambar 2. Skema Thermo Vapor Compressor [3].

Untuk menunjukkan performansi TVC yaitu dengan didapatkan nilai *entrainment ratio* (ω) [3]. Untuk memperoleh *entrainment ratio* yang optimum maka dapat memodifikasi diameter area pencampuran (*mixing tube diameter*), sudut *converging duct* dan panjang saluran konvergen (*converging duct length*) [3]. Dalam melakukan penelitian diperlukan model TVC dengan geometri sedemikian rupa dan parameter lain seperti tekanan *motive* P_m , tekanan *suction* P_s , temperatur *motive* T_m dan temperatur *suction* T_s . Hal ini tentu saja membutuhkan biaya yang sangat besar dan juga waktu yang cukup lama. Oleh karena itu penelitian ini menggunakan pemodelan simulasi TVC dengan memvariasikan tekanan pada *suction*, sudut *converging duct*, variasi diameter *suction* dan panjang dari *mixing chamber*. Pemodelan simulasi ini menggunakan FLUENT 6.3.26.

DASAR TEORI

1. Multi Effect Desalination

Multi effect desalination dapat ditemui pada industri gula, kertas, tekstil dan desalinasi. Pada tahun 1960 MED yang digunakan untuk industri hanya berkapasitas kurang dari 500 m³/hari. Perkembangan teknologi sangat pesat, pada tahun 2006 kapasitas dari MED meningkat sampai 36000 m³/hari [4].

Pada umumnya MED digunakan pada operasi temperatur yang rendah kurang dari 70 °C. Hal ini disebabkan karena menggunakan evaporator yang disusun secara horizontal, dimana air laut disemprotkan pada permukaan tabung evaporator. Oleh karena itu suhu yang rendah digunakan untuk mencegah pembentukan kerak pada permukaan tabung evaporator. Selain itu, suhu operasi MED yang rendah memungkinkan untuk kombinasi termal dan *mechanical vapor compression* (MVC) [4].

Proses dengan menggunakan uap berkompresi dikembangkan untuk meningkatkan *performance* dari MED (*mass flow rate product* (kg) / *mass flow rate heating* (kg)). Untuk mengetahui performansi dari MED dapat dilihat dengan nilai GOR (*Gained Output*

Ratio). GOR merupakan perbandingan ratio dari jumlah produksi air hasil distilasi dengan *motive steam* yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

$$GOR = \frac{\dot{m}_t (\cong n \times \dot{m}_d)}{\dot{m}_m}$$

dimana :

\dot{m}_t : Jumlah air distilasi yang dihasilkan (kg/s)

n : Jumlah *effect* yang digunakan

\dot{m}_d : *Mass flow rate* yang mengalir pada *discharge* (kg/s)

\dot{m}_m : Jumlah *motive steam* yang diperlukan (kg/s)

2. Thermo Vapor Compressor (TVC)

Thermal Vapor Compressiion (TVC) adalah suatu jenis *ejector* uap untuk menaikkan tekanan, dan menghisap uap tekanan rendah dengan kecepatan supersonik. TVC telah lama digunakan dalam proses industri desalinasi karena geometrinya yang sederhana dan ketahanan pemakaian. Untuk menunjukkan performansi TVC yaitu dengan didapatkan nilai *entrainment ratio* (ω).

$$ER (\omega) : \frac{\dot{m}_s}{\dot{m}_m}$$

dimana :

ω : *entrainment ratio*

\dot{m}_s : *mass flow rate secondary flow*

\dot{m}_m : *mass flow rate primary flow*

3. Aliran Kompresibel

Aliran kompresibel terjadi bila kecepatan aliran melebihi dari bilangan *Mach* 0,3. Ketika suatu fluida bergerak dengan kecepatan yang bisa dibandingkan dengan kecepatan suara, dan densitasnya berubah secara signifikan maka aliran tersebut dikatakan aliran kompresibel. Dalam aliran kompresibel, gradient tekanan besar, variasi dari densitas gas dengan tekanan memiliki dampak yang signifikan terhadap kecepatan, tekanan dan temperatur [5].

a. Persamaan Dasar Aliran Kompresibel

Persamaan untuk menghitung tekanan dan temperatur aliran kompresibel berdasarkan fungsi bilangan *mach*, kondisi isentropik digunakan dalam persamaan.

$$\frac{P_0}{P} = \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

dan

$$\frac{T_o}{T} = \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

dimana :

P_o = total pressure (Pa)

P = static pressure (Pa)

T_o = total temperature (K)

T = static temperature (K)

γ = specific heat capacity ratio

M = Mach number

Dalam aliran kompresibel, densitas fluida berubah sebagai fungsi dari tekanan dan temperatur. Untuk hukum gas ideal, densitas fluida dapat dihitung [6].

$$\rho = \frac{(P_{op} + P)}{\frac{R}{M_w} T}$$

dimana :

ρ = fluid density (kg/m³)

P_{op} = operating pressure (Pa)

P = local static pressure (Pa)

R = universal gas constant = 8.314 J/(gmol · K)

T = temperature (K)

MW = molecular weight (g/gmol)

b. *Mach Number*

Angka *Mach* disimbolkan sebagai *M* atau *Ma* adalah satuan kecepatan untuk mengeskspresikan kecepatan suatu benda relative terhadap kecepatan suara. Satuan biasanya ditempatkan sebelum angka pengukurannya seperti Mach 1.0 untuk kecepatan suara. Angka sebenarnya kecepatan suara tergantung kepada tingkat tekanan dan suhu atmosfer. Pada suhu udara 0 °C dan tekanan 1 atmosfer (atm), kecepatan suara adalah 331,6 m/s [5].

$$c = \sqrt{kRT}$$

$$M = \frac{V}{c}$$

dimana :

V = kecepatan aliran (m/s)

c = kecepatan suara (m/s)

k = rasio spesifik panas $\left(k = \frac{c_p}{c_v}\right)$

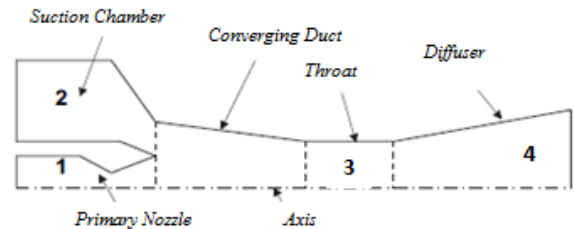
C_p = kalor spesifik gas pada tekanan konstan (KJ kg⁻¹K⁻¹)

C_v = kalor spesifik gas pada volume konstan (KJ kg⁻¹K⁻¹)

PEMODELAN

1. Pemodelan Benda

Simulasi pada tugas akhir ini dilakukan pada TVC seperti pada Gambar 3 merupakan model dasar dari TVC yang akan disimulasikan dengan menggunakan CFD FLUENT 6.3.26 yang disesuaikan dengan literatur [7].



Gambar 3. Model Dasar TVC [7].

Material yang digunakan TVC terbuat dari *carbon steel* dan panjang seluruh dari TVC yang akan disimulasikan yaitu sebesar 2800 mm. Area rasio *nozzle* dengan perbandingan antara area *throat* dan area *discharge* nosel sebesar 2,897. Pada Tabel 1 dibawah ini merupakan spesifikasi dimensi model dasar TVC yang akan disimulasikan.

Tabel 1. Spesifikasi TVC

No	Spesifikasi	Nilai
1	Primary inlet D	52,7 mm
2	Secondary inlet D	195.9 mm
3	Throat D	78.1 mm
4	Outlet D	202.7 mm

2. Proses Simulasi

a. *Preprocessing*.

Tahapan ini merupakan tahapan awal dalam melakukan proses analisa dengan menggunakan CFD. Dalam tahapan ini dilakukan dua hal, yaitu membangun permodelan benda dengan menggunakan *software* CAD, pembuatan *mesh* yang sesuai, kemudian menentukan kondisi batas. Dari sini dapat dihasilkan suatu domain komputasi yang selanjutnya diekspor ke FLUENT 6.3.26. Pada tugas akhir ini pembuatan model simulasi TVC menggunakan GAMBIT 2.3.16 (*Geometry And Mesh Building Intelligent Toolkit*) sebagai *preprocessing*.

b. *Solving*

Merupakan tahapan utama dari simulasi dengan CFD, yaitu dengan melakukan iterasi atau perhitungan terhadap kondisi kondisi-kondisi batas yang telah ditentukan dalam tahapan *preprocessing*. Dalam proses ini data-data mengenai karakteristik kondisi batas dan material atau jenis fluida yang digunakan dimasukkan ke dalam program.

c. *Postprocessing*

Postprocessing adalah langkah terakhir dalam analisis CFD. Hal yang dilakukan pada langkah ini adalah mengolah dan menginterpretasi data hasil simulasi CFD yang bisa berupa data, gambar, grafik ataupun animasi.

3. Pembuatan Model dan Kondisi Batas

a. Model Komputasi

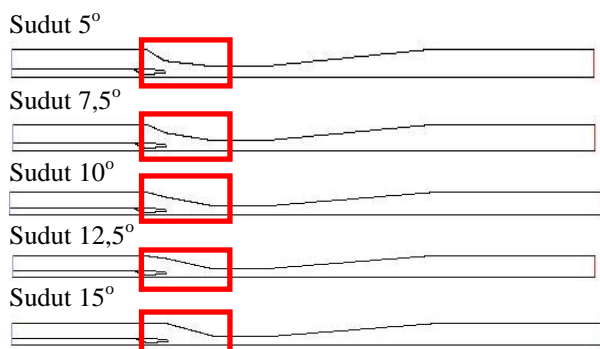
Pembuatan model TVC dilakukan dengan GAMBIT dengan teknik *bottom-up*, yaitu pembuatan geometri yang dimulai dari pembuatan entiti yang paling dasar (titik), kemudian dari kumpulan titik dihubungkan menjadi garis, dan dari kumpulan garis dihubungkan hingga membentuk bidang.

Model TVC yang digunakan ini adalah model dasar TVC berdasarkan pada referensi, TVC yang dimodifikasi dengan merubah sudut dari *converging duct*, tetapi untuk nozzle tidak dimodifikasi dengan perbandingan antara area *throat* dan area *discharge* nosel sebesar 2.897 (ukuran TVC dalam satuan mm). kemudian TVC divariasikan sudut *converging duct* sebesar 5°; 7,5°; 10°; 12,5°; dan 15°. Pada Tabel 2 menunjukkan spesifikasi dari nosel yang digunakan pada simulasi sesuai dengan referensi [17].

Tabel 2. Dimensi Nosel Simulasi pada TVC

Diameter throat, d_t (mm)	Diameter exit nozzle, d_{pl} (mm)	Nosel Rasio (A_{pl} / A_t)
17,80	30,30	2,897

Dalam melakukan analisa, dilakukan beberapa variasi pada simulasi TVC. Variasi yang digunakan pada simulasi TVC, dilakukan dengan memvariasikan sudut *converging duct* sebesar 5°, 7,5°, 10°, 12,5°, dan 15°. Gambar 4 menunjukkan variasi *converging duct* pada TVC

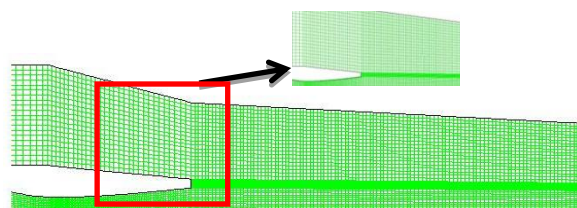


Gambar 4. Variasi Sudut pada TVC

b. Penggenerasian Mesh

TVC dimodelkan dalam bentuk 2 dimensi dengan geometrinya *axisymmetric* dapat dilihat pada Gambar 5. Struktur grid yang digunakan pada simulasi adalah tipe quad. Jumlah awal grid sebelum diadaptasi sebanyak

24.000 elemen dan setelah diadaptasi jumlah grid dibatasi hanya sebanyak 30.000 elemen.



Gambar 5. Grid *Quadrilateral* pada Domain.

Jenis meshing dijelaskan seperti pada Tabel 3

Tabel 3. Jenis *Meshing* yang digunakan TVC

Jenis <i>Meshing</i>	<i>Mesh Faces</i> TVC
<i>Elements</i>	<i>Quad</i>
<i>Type</i>	<i>Sub Map</i>
<i>Interval count</i>	10

c. *Solver* dan Model Turbulensi

Proses simulasi pada TVC menggunakan metode solusi *Density Based Axisymmetric* dan model turbulensi yang digunakan adalah model *k-epsilon standard wall function* dan menggunakan metode energi dalam pada proses simulasi.

d. Pendefinisian Material

Fluida kompresibel yang digunakan dalam penelitian ini adalah *saturated steam* yang digunakan dengan properti fluida seperti terlihat pada Tabel 4

Tabel 4. Spesifikasi Fluida

Properti	Value
Density	Ideal gas
Cp (kalor spesifik)	2170 J/Kg ⁰ K
Konduktivitas	0.0276 W/m ⁰ K
Viskositas	1.031619x10 ⁻⁵ kg/ms
Berat Molekul	18.015 kg/mol ⁰ K

e. Proses Iterasi

Adapun control solusi yang digunakan pada komputasi ini dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Kontrol Solusi

<i>Flow</i>	<i>Second order upwind</i>
<i>Turbulent kinetic energy</i>	<i>Second order upwind</i>

Turbulent dissipation rate	Second order upwind
Courant Number	1
Turbulent kinetic energy	0,6
Turbulent dissipation rate	0,6
Turbulent viscosity	0,7
Solid	0,6
Kriteria konvergensi	1e-06

f. Proses Adapsi

Setelah proses iterasi selesai, langkah selanjutnya adalah melakukan adapsi yang bertujuan untuk memperhalus mesh pada bagian tertentu agar didapatkan hasil yang lebih teliti. Adapsi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah adapsi y^+ . Untuk melakukan adapsi ini sebelumnya dimasukkan dulu nilai maksimum dan minimum yang diijinkan, hal ini tergantung dari model viskos yang kita gunakan. Karena pada penelitian ini menggunakan model viskos *k-epsilon standard wall functions*, maka nilai y^+ yang diizinkan adalah 30-50. Setelah memasukkan nilai tersebut kemudian kita *compute*. Jika hasilnya telah memenuhi kriteria, maka proses adapsi selesai. Tetapi jika hasilnya belum memenuhi kriteria (nilai y^+ lebih besar dari 50), maka kita harus kembali melakukan iterasi sampai hasil adapsinya memenuhi kriteria, yakni nilainya antara 30-50

HASIL DAN ANALISA

1. Hasil Simulasi Variasi Tekanan Suction

Pada simulasi pada Tekanan suction akan di variasikan pada $P_s=0,013\text{MPa}$ (50°C), $P_s =0.016\text{MPa}$ (54°C), $P_s = 0.019\text{MPa}$ (59°C) agar dapat diketahui pengaruhnya terhadap nilai laju aliran massa pada *primary flow*, *secondary flow* dan perhitungan nilai *entrainment ratio* (ω) yang terbaik pada TVC dengan berbagai variasi sudut *converging duct* dan memvariasikan tekanan *suction* setiap masing-masing TVC. Pada Tabel 6 hasil simulasi pada TVC CDV1, sedangkan pada Tabel 7 merupakan hasil simulasi pada TVC CDV2

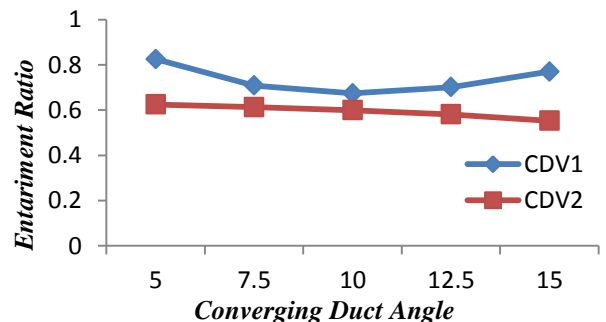
Tabel 6.Hasil Simulasi TVC CDV1

	$P_m=0,266\text{MPa}$ $P_d= 0.025\text{MPa}$	mm (Kg/s)	ms (Kg/s)	ω
CDV1 5°	$P_s = 0.013\text{MPa}$	0,099	0,082	0,825
	$P_s = 0.016\text{MPa}$	0,099	0,107	1,079
	$P_s = 0.019\text{MPa}$	0,099	0,129	1,307
	$P_m=0,266\text{MPa}$ $P_d= 0.025\text{MPa}$	mm (Kg/s)	ms (Kg/s)	ω
CDV1 $7,5^\circ$	$P_s = 0.013\text{MPa}$	0,099	0,070	0,708
	$P_s = 0.016\text{MPa}$	0,099	0,103	1,044
	$P_s = 0.019\text{MPa}$	0,099	0,125	1,267

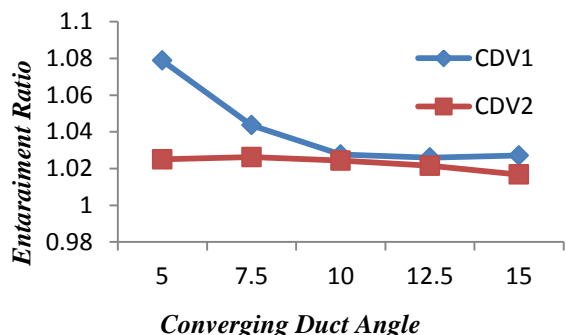
	$P_m=0,266\text{MPa}$ $P_d= 0.025\text{MPa}$	mm (Kg/s)	ms (Kg/s)	ω
CDV1 10°	$P_s = 0.013\text{MPa}$	0,099	0,067	0,674
	$P_s = 0.016\text{MPa}$	0,099	0,102	1,028
	$P_s = 0.019\text{MPa}$	0,099	0,123	1,247
	$P_m=0,266\text{MPa}$ $P_d= 0.025\text{MPa}$	mm (Kg/s)	ms (Kg/s)	ω
CDV1 $12,5^\circ$	$P_s = 0.013\text{MPa}$	0,099	0,069	0,701
	$P_s = 0.016\text{MPa}$	0,099	0,101	1,026
	$P_s = 0.019\text{MPa}$	0,099	0,123	1,239
	$P_m=0,266\text{MPa}$ $P_d= 0.025\text{MPa}$	mm (Kg/s)	ms (Kg/s)	ω
CDV1 15°	$P_s = 0.013\text{MPa}$	0,099	0,076	0,770
	$P_s = 0.016\text{MPa}$	0,099	0,102	1,027

Tabel 7.Hasil Smulasi TVC CDV2

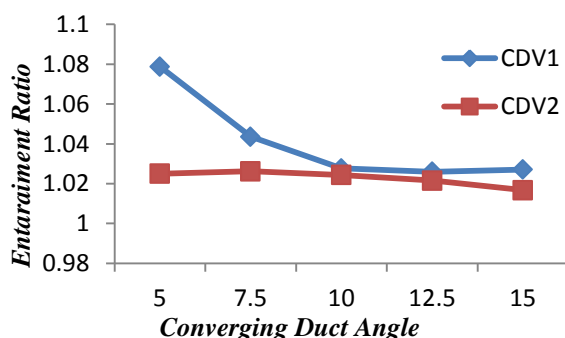
	$P_m=0,266\text{MPa}$ $P_d= 0.025\text{MPa}$	mm (Kg/s)	ms (Kg/s)	ω
CDV2 5°	$P_s = 0.013\text{MPa}$	0,100	0,063	0,625
	$P_s = 0.016\text{MPa}$	0,100	0,103	1,025
	$P_s = 0.019\text{MPa}$	0,100	0,124	1,243
	$P_m=0,266\text{MPa}$ $P_d= 0.025\text{MPa}$	mm (Kg/s)	ms (Kg/s)	ω
CDV2 $7,5^\circ$	$P_s = 0.013\text{MPa}$	0,100	0,061	0,613
	$P_s = 0.016\text{MPa}$	0,100	0,103	1,026
	$P_s = 0.019\text{MPa}$	0,100	0,123	1,233
	$P_m=0,266\text{MPa}$ $P_d= 0.025\text{MPa}$	mm (Kg/s)	ms (Kg/s)	ω
CDV2 10°	$P_s = 0.013\text{MPa}$	0,100	0,060	0,599
	$P_s = 0.016\text{MPa}$	0,100	0,102	1,024
	$P_s = 0.019\text{MPa}$	0,100	0,123	1,225
	$P_m=0,266\text{MPa}$ $P_d= 0.025\text{MPa}$	mm (Kg/s)	ms (Kg/s)	ω
CDV2 $12,5^\circ$	$P_s = 0.013\text{MPa}$	0,100	0,058	0,581
	$P_s = 0.016\text{MPa}$	0,100	0,102	1,022
	$P_s = 0.019\text{MPa}$	0,100	0,122	1,219



Gambar 6. Grafik Nilai Entrainment Ratio pada Tekanan Suction 0,013 MPa.



Gambar 7. Grafik Nilai Entrainment Ratio pada Tekanan Suction 0,016 MPa.



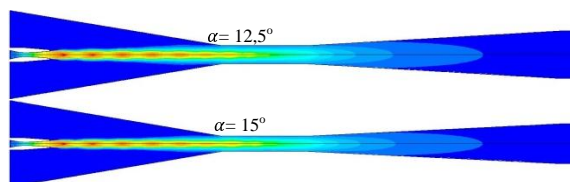
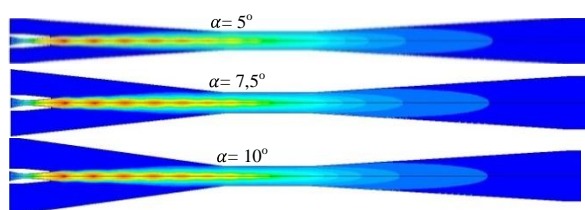
Gambar 8. Grafik Nilai Entrainment Ratio pada Tekanan Suction 0,019 MPa.

Tabel 6 dan Tabel 7 dapat dilihat hasil simulasi hubungan antara variasi tekanan suction dan sudut converging duct pada TVC dengan variasi CDV1 dan CDV2, didapatkan nilai hasil laju aliran massa (*mass flow rate*) untuk *primary flow* dan *secondary flow*, serta perhitungan *entrainment ratio* (ω) untuk tiap variasi pada tekanan suction pada setiap sudut converging duct TVC. Dari Gambar 6, Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan bahwa nilai *entrainment ratio* yang terbaik yaitu sebesar 1,307, terdapat pada TVC dengan variasi CDV1 dengan sudut converging duct sebesar 5° dan tekanan pada suction sebesar 0,019 MPa, sedangkan untuk nilai *entrainment ratio* yang terkecil yaitu sebesar 0,581, terdapat pada TVC dengan variasi CDV2 dengan sudut converging duct sebesar 15° dan tekanan pada suction sebesar 0,013 MPa.

2. Karakteristik Operasi TVC

a. Kontur Bilangan Mach

Gambar 9 menunjukkan pengaruh dari sudut converging duct pada kontur bilangan mach TVC CDV1 dengan sudut converging duct sebesar $5^\circ, 7,5^\circ, 10^\circ, 12,5^\circ$; dan 15° . Pada tekanan suction sebesar 0,013 MPa.

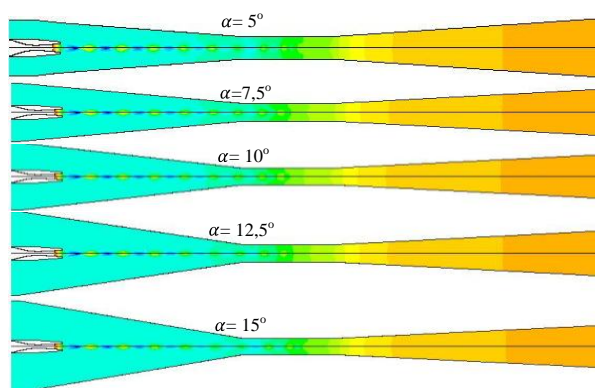


Gambar 9. Pengaruh Sudut Converging Duct pada Kontur Mach Number

Pengaruh dari sudut converging duct pada kontur bilangan mach TVC CDV1 dengan sudut converging duct sebesar $5^\circ, 7,5^\circ, 10^\circ, 12,5^\circ$; dan 15° . Pada tekanan suction sebesar 0,013 MPa dapat dilihat pada Gambar 9. Gambar tersebut memperlihatkan bagaimana perbedaan variasi tekanan pada suction dan sudut converging duct ternyata menjadikan fluks aliran massa *primary flow* meningkat dan menurunkan fluks aliran massa *secondary flow* sehingga *entrainment ratio* yang dihasilkan semakin menurun. Semakin meningkatnya tekanan pada *primary flow* akan menghasilkan bilangan Mach yang semakin tinggi dan *jet core* atau *primary-flow core* semakin besar sehingga *effective area secondary flow* semakin kecil, dengan demikian fluks aliran massa *motive* semakin besar dan fluks aliran massa suction semakin kecil sehingga menyebabkan perbandingan nilai *entrainment ratio* semakin kecil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.

b. Kontur Tekanan Statik

Gambar 10 kontur tekanan statik menunjukkan pengaruh sudut converging duct TVC CDV1 dengan sudut converging duct sebesar $5^\circ, 7,5^\circ, 10^\circ, 12,5^\circ$; dan 15° . Pada tekanan suction sebesar 0,013.

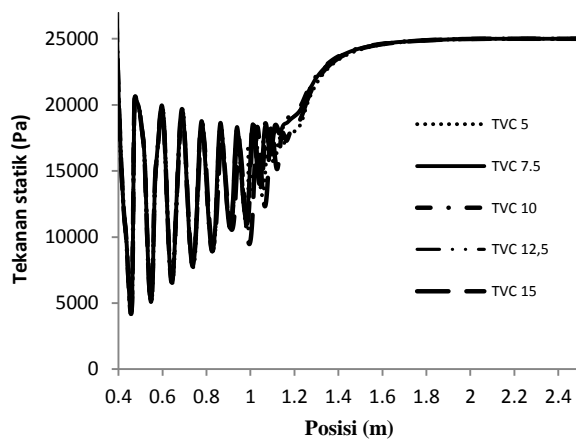


Gambar 10. Pengaruh Sudut Converging Duct pada Kontur Tekanan Statik

Nilai *entrainment ratio* ditentukan dari besar *effective area secondary flow* pada *mixing chamber* dan *constant area section*. Semakin besar *effective area secondary* akan meningkatkan nilai *entrainment ratio* pada sebuah TVC. Nilai *entrainment ratio* juga ditentukan oleh besarnya area *mixing chamber*, semakin kecil area *mixing chamber* maka *effective area secondary flow* dan fluks aliran *primary* menarik aliran dari suction semakin kecil sehingga nilai *entrainment*

ratio yang dihasilkan semakin kecil. Hal tersebut ditunjukkan dalam bentuk grafik tekanan statik.

Pada Gambar 11 TVC CDV1 saat kondisi tekanan motive dengan $P_m=0.266\text{MPa}(129^\circ\text{C})$, suction dengan $P_s=0.013\text{MPa}(50^\circ\text{C})$, dan discharge dengan $P_d=0.025\text{MPa}(65^\circ\text{C})$. Semakin besar area mixing chamber maka fluks massasecondary flow semakin besar dan akan meningkatkan nilai *entrainment ratio*. Nilai *entrainment ratio* akan kembali menurun. Hal ini disebabkan tekanan dan temperatur motive dan suction tidak terlalu besar untuk membentuk profil kecepatan yang seragam sehingga menambah total kehilangan energi di TVC diffuser.



Gambar 11. Grafik Tekanan Statik TVC CDV1 pada Tekanan Suction 0.013MPa.

KESIMPULAN

Dari penelitian dan analisa data yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan bahwa:

1. Nilai *Entrainment Ratio* (ω) dapat ditingkatkan dengan meningkatkan tekanan dan temperatur effect atau suction (P_s dan T_s).
2. Peningkatan besar sudut pada *converging duct* berpengaruh pada penurunan *secondary flow*,

yang menyebabkan penurunan nilai *entrainment ratio*.

3. Nilai *entrainment ratio* yang paling besar dalam simulasi *thermo vapor compressor* pada TVC CDV1 5° yaitu sebesar 1,307 dengan tekanan pada suction 0,019 MPa. Sedangkan untuk nilai *entrainment ratio* yang paling kecil dalam simulasi *thermo vapor compressor* pada TVC CDV2 15° yaitu sebesar 0,581 dengan tekanan pada suction 0,013 MPa.

REFERENSI

1. Dwi Riyanto Agustiar. "Indonesia Terancam Kekurangan Air Bersih," dengan alamat http://www.tempointeraktif.com/hg/nasional/2007/03/20/brk,2007032095894_id.html. Diakses tanggal 30 Maret 2011.
2. Owais, Mughal. Pakistan's First MED Plant. <http://freewebs.com>. Diakses tanggal 24 Maret 2012 pukul 15:24 WIB.
3. Park, I.S., Park, S.M., Ha, J.S. Design and application of thermal vapor compressor for multi effect desalination plant. Desalination 182 (2005) 199–208.
4. A. Cipolina, G. Micale, L. Rizzuti, Seawater Desalination Conventional and Renewable Energy Processes, Springer, 2009
5. Fox, Robert W dan Alan T. Mc Donald, Introduction to Fluid Mechanics, fourth edition, SI Version, John Wiley & Sons, Inc, Canada, 1994.
6. Somsak Watanawanavet, Optimization of High-Efficiency Jet Ejector By Computational Fluid Dynamics Software, 2005.
7. Utomo, Tony., Jeong, Hyomin., Chung, Hanshik. CFD analysis of flow inside thermo vapor compressor influenced by operating condition and converging duct angle. Journal of Mechanical Science and Technology 23 (2009) 2366-2375.