

# ANALISIS SISTEM *EJECTOR* UNTUK PEMULIHAN GAS SUAR BAKAR PADA FASILITAS PRODUKSI MINYAK DAN GAS LEPAS PANTAI

Agus Eko Setyono<sup>1,5\*</sup>, Arii Bowo Yudhaprasetya<sup>2,5</sup>, Jimmy J T Samara<sup>3,5</sup>,  
Niko Hardiananto<sup>4,5</sup>, Bhakti Kurniawan<sup>5</sup>, Ibtahaj Zhoriya Al-Muflih<sup>5</sup>, Tri Yogowibowo<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Magister Energi, Universitas Diponegoro, Jl. Imam Bardjo SH No. 5, Semarang, 50241

<sup>2</sup>Science Mécanique Appliquée – Hydrodynamique, énergétique, et propulsion, Ecole Centrale de Nantes, France

<sup>3</sup>Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jl. Teknik Kimia, Surabaya, 60111

<sup>4</sup>Teknik Material, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesa No.10, Bandung, 40132

<sup>5</sup>PHE ONWJ, Jl. Prof. DR. Satrio No.164, Jakarta Selatan, 12950

\*E-mail: agus.setyono@pertamina.com

## ABSTRAK

Gas suar bakar merupakan salah satu sumber hilangnya energi dan pencemaran udara pada industri minyak dan gas. Karena dampak negatif yang dihasilkan, *world bank* menginisiasi *zero routine flaring* pada tahun 2030. Hal tersebut memaksa setiap negara dan perusahaan minyak & gas di seluruh dunia untuk meminimalkan gas suar bakar di wilayahnya masing-masing. Teknologi *vapor recovery unit* selama ini menjadi opsi untuk memulihkan gas suar bakar, tetapi faktanya memiliki kekurangan terkait faktor keekonomisan dan *safety*. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, paper ini akan membahas pendekatan pemodelan yang cepat, murah dan aplikatif untuk merancang sebuah desain *ejector* dengan *extended vacuum entrainment* yang handal untuk memulihkan gas suar bakar di lokasi lepas pantai. Menggunakan *green-gauss finite volume method*, dengan fokus desain pada *area primary / motive inlet, secondary inlet, mixing chamber, throat dan diffuser*. Pada *motive inlet* di modelkan 2 jenis *motive*, yaitu *single motive* (ESM) dan *double motive* (EDM). Hasilnya *ejector single motive* memiliki *entrainment ratio* yang lebih tinggi, sehingga dipilih untuk di lakukan pengujian di lapangan. Hasil pengujian di lapangan menunjukkan bahwa ESM dapat beroperasi dengan stabil dan handal untuk memulihkan gas suar bakar. Dengan teknologi ESM, rata-rata perharinya dapat memulihkan gas suar bakar sebesar 90 MSCF atau setara dengan menurunkan emisi sebesar 6,036 ton CO<sub>2</sub>e.

**Kata kunci:** Gas suar bakar, Ejector system, *Extended vacuum entrainment*, Menurunkan emisi

## 1. PENDAHULUAN

Sistem operasi minyak dan gas bumi memiliki tantangan yang cukup besar terkait peran dan tanggung jawabnya dalam penurunan emisi di lingkungan kerjanya. Salah satu titik kerja yang memiliki potensi besar untuk dikendalikan dalam sebuah sistem operasi kerja lepas pantai adalah sistem suar bakar [1]. Sistem suar bakar merupakan sistem pembakaran gas terkontrol yang tidak dapat diproses lebih lanjut karena alasan teknis maupun ekonomis. Gas suar bakar melepaskan sejumlah bahan berbahaya ke lingkungan seperti CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub> yang menyebabkan hujan asam dan pemanasan global [2]. Mengingat dampak negatif yang dihasilkan, *world bank* menginisiasi *zero routine flaring* pada tahun 2030 [3]. Hal tersebut mendorong pemerintah dan perusahaan minyak & gas di seluruh dunia untuk meminimalkan pembakaran gas suar bakar di wilayahnya masing-masing untuk meminimalkan dampak emisi terhadap lingkungan.

Dalam proses pemulihan gas suar bakar, ada beberapa metode yang bisa digunakan yaitu yang paling umum menggunakan *mini compressor* atau *vapor recovery unit* (VRU). Gas suar bakar dengan tekanan rendah dinaikkan tekanannya menggunakan VRU dan diproses lebih lanjut sebelum dimanfaatkan untuk produk akhir [4]. Penelitian penggunaan VRU telah

dilakukan oleh comodi, hasilnya energi yang dapat dipulihkan dari gas suar bakar pertahunnya adalah sebesar 2900 TOE dengan payback period selama 2,5 tahun [5]. sementara itu Evbuomwan, melakukan penelitian penggunaan *mini compressor* untuk memulihkan gas suar bakar, hasilnya dibutuhkan *payback period* selama 4 tahun 4 bulan [6].

Penggunaan VRU dalam pemulihan gas suar bakar terbukti cukup memungkinkan, namun penerapannya membutuhkan energi yang lebih tinggi dan potensi paparan bahaya fisik terhadap personel dan fasilitas, seperti tingginya kebisingan dan getaran selama pengoperasian. Berdasarkan kondisi tersebut, metode yang efisien dan aman harus dikembangkan untuk mewujudkan strategi pemulihan gas suar bakar. Untuk mengatasi masalah tersebut, sistem ejector diusulkan sebagai solusi untuk memulihkan gas suar bakar. Sistem ejector merupakan suatu peralatan mekanis yang bekerja berdasarkan efek venturi dengan prinsip kekekalan energi mekanik atau asas *Bernoulli* [7]. Seperti dilakukan oleh Leagas yang telah melakukan studi penggunaan ejector untuk memulihkan gas suar bakar, hasilnya adalah karena tekanan gas suar yang sangat rendah maka dibutuhkan rasio yang tinggi sehingga dipilih sistem ejector bertingkat dalam proses pemulihan gas suar tersebut. akan tetapi penelitian yang dilakukan oleh Leagas masih dalam tahap konseptual, belum terbukti hasil pemulihan gas suar bakarnya [8].

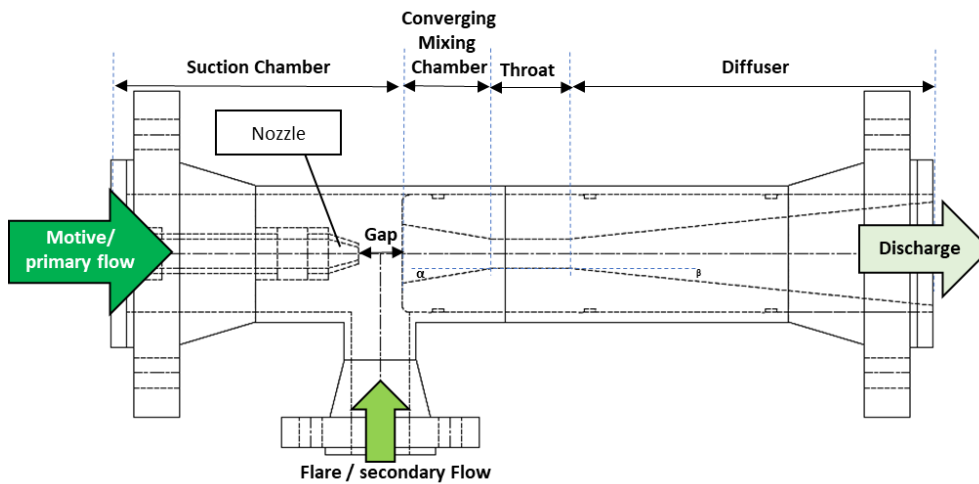
Penggunaan sistem ejector dalam aplikasi pemulihan gas suar bakar yang ada di dunia masih sangat jarang dan hanya baru sebatas tahap konseptual, belum ada pengujian secara langsung dan terbukti berhasil. Hal tersebut karena rata-rata gas suar bakar yang akan dipulihkan memiliki tekanan sangat rendah (tekanan *atmosphere*), sehingga dibutuhkan desain ejector dengan tingkat kevakuman absolut. Oleh karena itu dalam studi ini akan mengembangkan secara teknis desain ejector yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan efek vakum absolut dan melakukan proses penghisapan gas suar bakar bertekanan rendah hingga 1 PSIG menggunakan metode pemodelan *computational fluid dynamic* dan pengujian secara langsung di lapangan.

## 2. METODE

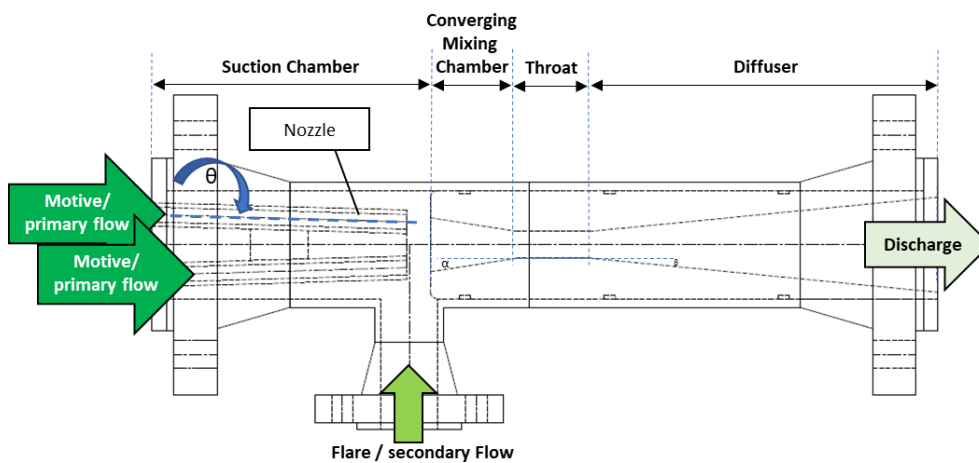
### A. Pemodelan *Computational Fluid Dynamic* (CFD)

Dalam studi penggunaan sistem ejector untuk memulihkan gas suar bakar disini digunakan 2 metode, yaitu pemodelan *computational fluid dynamic* dan pengujian di lapangan secara langsung. Pada pemodelan *computational fluid dynamic*, 2 desain ejector yang dikembangkan yaitu ejector single motive (Gambar 1) dan ejector double motive (Gambar 2) dengan detail ukuran seperti yang tertera pada Tabel 1. Dari kedua desain tersebut, ada lima konfigurasi yang dipertimbangkan sebagai fokus desain ejector yang ditingkatkan untuk menghasilkan *extended vacuum entrainment*, yaitu: *primary / motive inlet*, *secondary inlet*, *mixing chamber*, *throat* dan *diffuser*.

Dari hasil pemodelan selanjutnya akan dipilih desain ejector dengan *entrainment ratio* yang terbaik untuk di fabrikasi dan dilakukan pengujian secara langsung di lapangan. Pemodelan dalam *computational fluid dynamic* menggunakan *green-gauss finite volume method* dengan *cell-centered formulation* yang terbukti handal dipakai untuk melakukan pemodelan *convective-diffusive* dari kombinasi *turbulent kinetic energy* ( $k$ ) dan *rate of dissipation of turbulent kinetic energy* ( $\epsilon$ ). Model *turbulence standard k-epsilon* ( $k-\epsilon$ ) digunakan dalam paper ini karena kemampuannya memiliki persentase kesalahan rata-rata yang minimum dibandingkan dengan *k-omega SST*, *RNG k-epsilon*, and *realizable k-epsilon* berdasarkan penelitian dari Colarossi [9]. Pendekatan ini dipilih untuk menangkap area *extended vacuum entrainment* dari *early mixing chamber*, *throat* dan *diffuser* pada sisi keluaran ejector.



Gambar 1. Desain *Ejector Single Motive (ESM)*



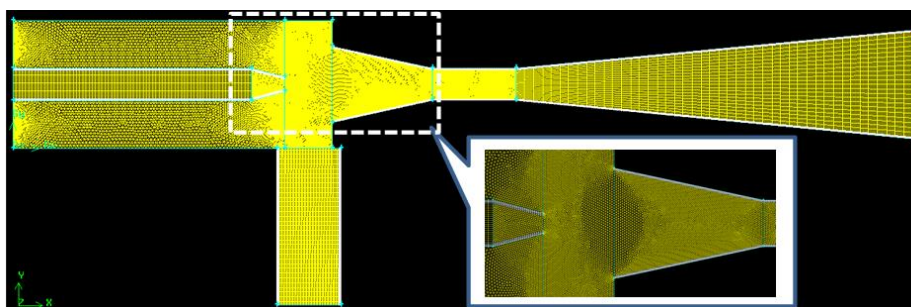
Gambar 2. Desain *Ejector Double Motive (EDM)*

Tabel 1. Desain parameter ESM dan EDM

Parameter	Unit	ESM	EDM
Primary nozzle exit position	mm	207	207
Diameter of primary nozzle	mm	11	11
Diameter of throat	mm	24	24
Length of throat	mm	63	63
Diameter of secondary flow inlet	mm	51	51
Inclination angle of mixing chamber	deg	8.8	8.8
Inclination angle of diffuser	deg	5.5	5.5
Inclination angle of motive nozzle	deg	90	92
Total of motive nozzle	-	1	2

Ejector dimodelkan dalam 2 dimensi yang dibuat dengan *Ansys design modeler*, menggunakan tipe *mesh* terstruktur, tipe *element* segi empat dan segitiga. Untuk menjaga akurasi, total *element* ditentukan sekitar 55.000 *mixed cells* dengan ukuran *grid* berkisar dari 0,5844 sampai 1 mm. Selain itu, untuk *wall boundary* ditentukan sebesar 0.2 mm *depth*, 1.2 *growth factor*, dan 4 *row increment* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Sebagian besar fenomena didalam ejector disebabkan oleh kondisi turbulen yang akan menghasilkan *local vortex* yang tidak diinginkan yang akan membatasi kinerja ejector. Model turbulen yang akan digunakan dalam paper ini adalah *Boussinesq equation* yang didasarkan pada *eddy viscosity assumption* dan *averaging Reynold stress tensor*. Seperti yang disebutkan sebelumnya bahwa model *turbulence standard k-epsilon* (k-ε) dipilih dalam paper ini, yang berarti *turbulent viscosity* dihitung secara dinamis berdasarkan persamaan *transport* dua dimensi dalam formulasi *transient first order implicit*. Semua *convective: momentum, k*, dan *ε* didiskritisasi menggunakan *first order upwind*. Selain itu, *convergence residual criterion* menggunakan nilai  $10^{-5}$  untuk *continuity, x-velocity, y-velocity, k*, and *epsilon*.



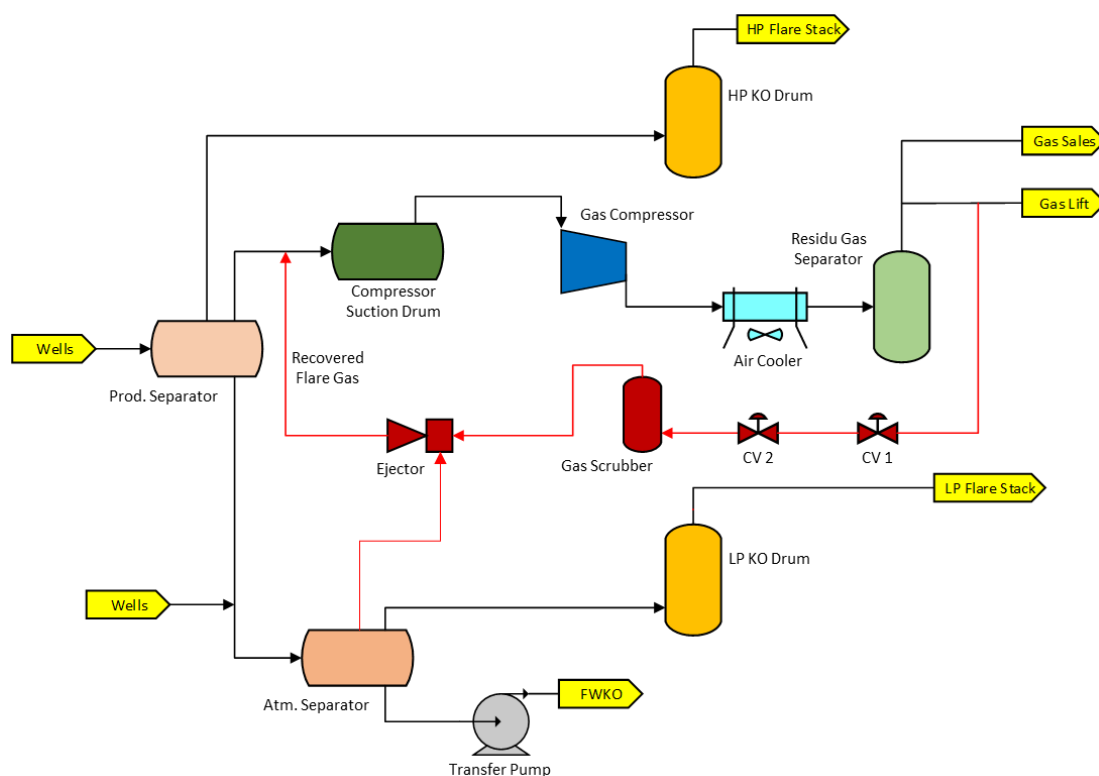
**Gambar 3. Visualisasi dari konfigurasi single motive ejector meshing**

### B. Pengujian Lapangan

Setelah dilakukan pemodelan dari 2 desain ejector, kemudian salah satu hasil desain yang terbaik dilakukan pengujian dilapangan dengan sistem proses seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Secara singkat proses yang ada yaitu gas hasil pemisahan *atmospheric separator* dialirkan menuju LP KO drum dan kemudian dibakar pada suar bakar atau *flare stack*. Ejector disini digunakan untuk memulihkan gas dari *atmospheric separator* untuk diproses lebih lanjut melalui *compressor suction drum* yang memiliki tekanan 50 Psig, sehingga gas pada suar bakar akan berkurang. Tekanan motive yang digunakan adalah 170 PSIG seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

**Tabel 3. Gas properties LP dan HP**

Parameter	LP gas secondary (atm separator)	HP gas primary (gas motive)
Pressure (Psig)	1	170
Density (lb/ft <sup>3</sup> )	0,1027	1,1510
Moleqular weight	33,88	22,23
Specific gravity	1,1698	0,7676
Z factor	0,9902	0,9230
Cp/CV	1,170	1,336
Viscosity	0,01034	0,01132

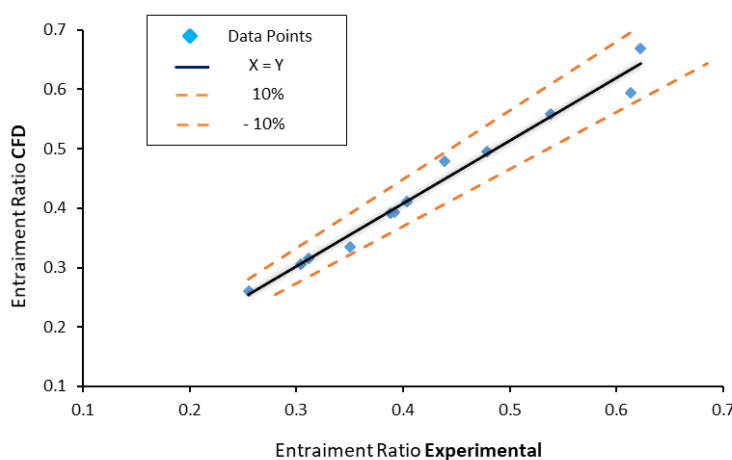


Gambar 4. Proses flow diagram pemasangan sistem ejector

### 3. PEMBAHASAN

#### A. Validasi Pemodelan Computational Fluid Dynamic

Untuk memvalidasi pemodelan *computational fluid dynamic*, pada studi ini menggunakan referensi hasil pengujian yang telah dilakukan oleh Huang & Chang [10]. Pengujian ejector dilakukan pada sistem refrigerant dengan fluida R141b dengan tekanan discharge 0,06 MPa, tekanan motive dan tekanan hisap masing masing sebesar 0,4 – 0,604 MPa dan 0,04 – 0,047 MPa. Berdasarkan hasil simulasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, diketahui bahwa simpangan terbesar antara pemodelan dan pengujian yaitu sebesar 8,3%. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pemodelan yang dilakukan sudah sesuai.



Gambar 5. Perbandingan hasil ejector modeling dengan experimental

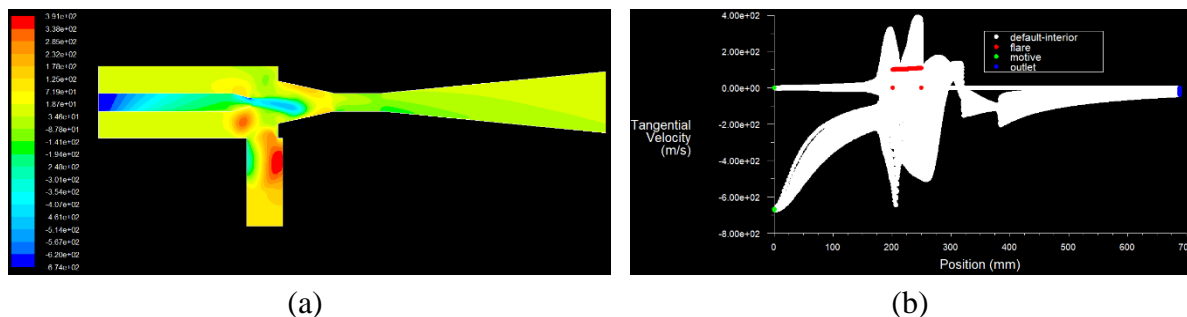
## B. Hasil Pemodelan Ejector Single Motive (ESM)

### 1. Primary / motive inlet

Konfigurasi *primary / motive inlet* memiliki rasio diameter nozzle terhadap diameter inlet-pipe sebesar 0,14 yang menghasilkan kecepatan aliran induced motive dari Mach 2 sampai 2,155 yang berarti kecepatan supersonic pada area keluaran motive nozzle. Kinerja yang lebih baik akan didapat dengan menempatkan keluaran motive nozzle sebelum area *mixing chamber*, yang dikenal sebagai *constant pressure mixing ejector* oleh Keenan [11]. Motive inlet menggunakan konfigurasi tipe *knock-down*, area keluaran motive nozzle dapat diatur dengan celah 0,74x sampai 1,48x Diameter *converging mixing chamber*, ditunjukkan pada Gambar 1. Tujuannya adalah untuk menghasilkan pencampuran turbulen yang diinginkan antara dua aliran berbeda dan meningkatkan konversi energi dari tekanan ke kecepatan [12]. Kondisi ini dianggap sebagai fenomena vakum berkecepatan tinggi di sepanjang ejektor.

### 2. Secondary inlet

Aliran *secondary inlet* ditempatkan tegak lurus dengan titik tengah antara keluaran *motive nozzle* dan area masuk *mixing chamber*. Perlu diperhatikan bahwa tujuan praktis dari ejector untuk menarik sejumlah gas suar bakar yang memiliki tekanan 1 atm dengan laju aliran massa motive yang optimal. Berdasarkan data dilapangan diketahui bahwa berat molekul motive dan gas suar bakar menunjukkan nilai yang berbeda, yaitu 22,23 dan 33,88 lb/mol. Hasil penelitian dari Holton menyatakan bahwa *entrainment ratio* merupakan fungsi dari berat molekul, oleh karena itu secondary inlet dirancang sedemikian rupa untuk mengatasi ranging *entrainment ratio* dari 0,13 sampai 0,45 [13]. Gagasan desain tegak lurus adalah mengembangkan beberapa *tangential shear interaction* di sepanjang *secondary inlet* tanpa munculnya *local vortex* seperti yang dijelaskan oleh watanawanavet [12]. Gambar 6. Menunjukkan dua titik utama kecepatan tangensial yang dominan menarik gas suar bertekanan rendah.

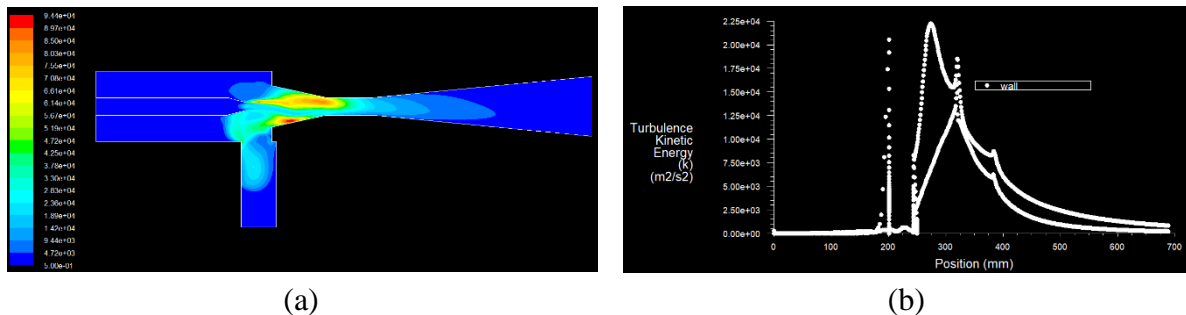


Gambar 6. (a) Kontur relative tangential velocity didalam ESM-EVE  
(b) Relative tangential velocity plotting berdasarkan posisi ejector

### 3. Mixing chamber

Rendahnya energi gas suar bakar menjadi tantangan besar dalam merancang *mixing chamber* agar dapat dialirkan dan diinduksi ke dalam ejector tanpa menimbulkan local vortex yang tidak diinginkan dan menyebar di sepanjang secondary inlet. Gambar 7 Menunjukkan bahwa selama operasi transient, *shock wave* menciptakan osilasi turbulensi di sepanjang *mixing chamber*. Oleh karena itu, geometri area ini dirancang dengan panjang 3,135x diameter *throat* dengan sudut ( $\alpha$ )  $8.8^\circ$  untuk menghasilkan pencampuran turbulen yang dinamis dan memaksa pencampuran antara aliran dari *motive inlet* dan *secondary inlet* hanya terjadi di area *mixing chamber*. Wu dkk, menyebutkan bahwa dengan adanya pencampuran yang baik di dekat dinding, kecepatan aliran di area axis akan selalu jauh lebih tinggi dibanding area dekat dinding itu sendiri, sehingga kondisi tersebut menjaga aliran didalam ejector dari efek Coanda [14]. Pada Gambar 7. menunjukkan penyebaran aliran turbulen secara merata di area *mixing*

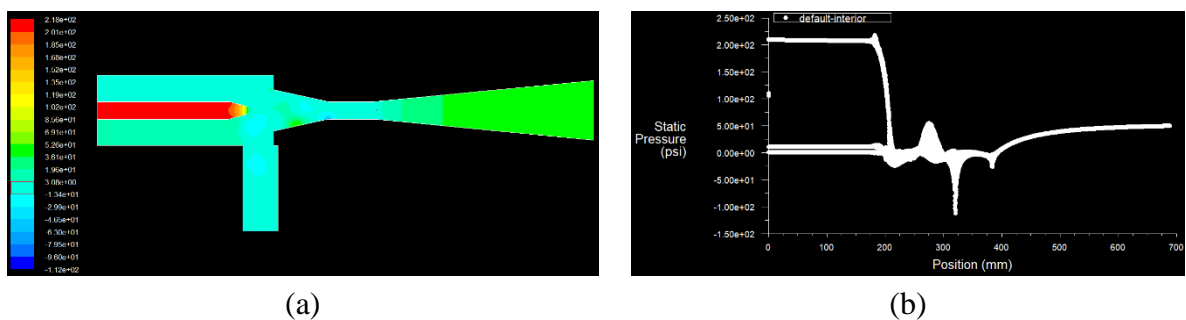
chamber, sehingga mempercepat proses pencampuran dan mengurangi dampak kerugian yang tidak diinginkan pada area *throat*.



(a) (b)  
**Gambar 7. (a) Kontur turbulensi kinetik energi di dalam ESM-EVE**  
**(b) Turbulent kinetic energy plotting berdasarkan posisi ejector**

#### 4. Throat

Manifestasi dinamis dari *extended vacuum entrainment* (EVE) dirancang khusus di area ini. Dari sudut pandang *computational fluid dynamic*, berkat operasi mode transient, pendekatan ini membantu pemodelan iterasi untuk menentukan keberhasilan sisi *throat* yang menghasilkan EVE dengan rasio panjang / diameter *throat* 2,6. Panjang *throat* sangat pendek untuk mengurangi kerugian gesekan dan mengakomodasi masuknya aliran akhir dari *secondary inlet*. Distribusi vacuum yang merata pada area throat ditunjukkan pada Gambar 8. Pemodelan telah berhasil membuat EVE tanpa adanya gradien tekanan yang merugikan area *diffuser* dan energi kinetik turbulen dapat diminimalkan secara bertahap.



(a) (b)  
**Gambar 8. (a) Kontur static pressure di dalam ESM-EVE**  
**(b) Plot tekanan berdasarkan posisi ejector**

#### 5. Diffuser

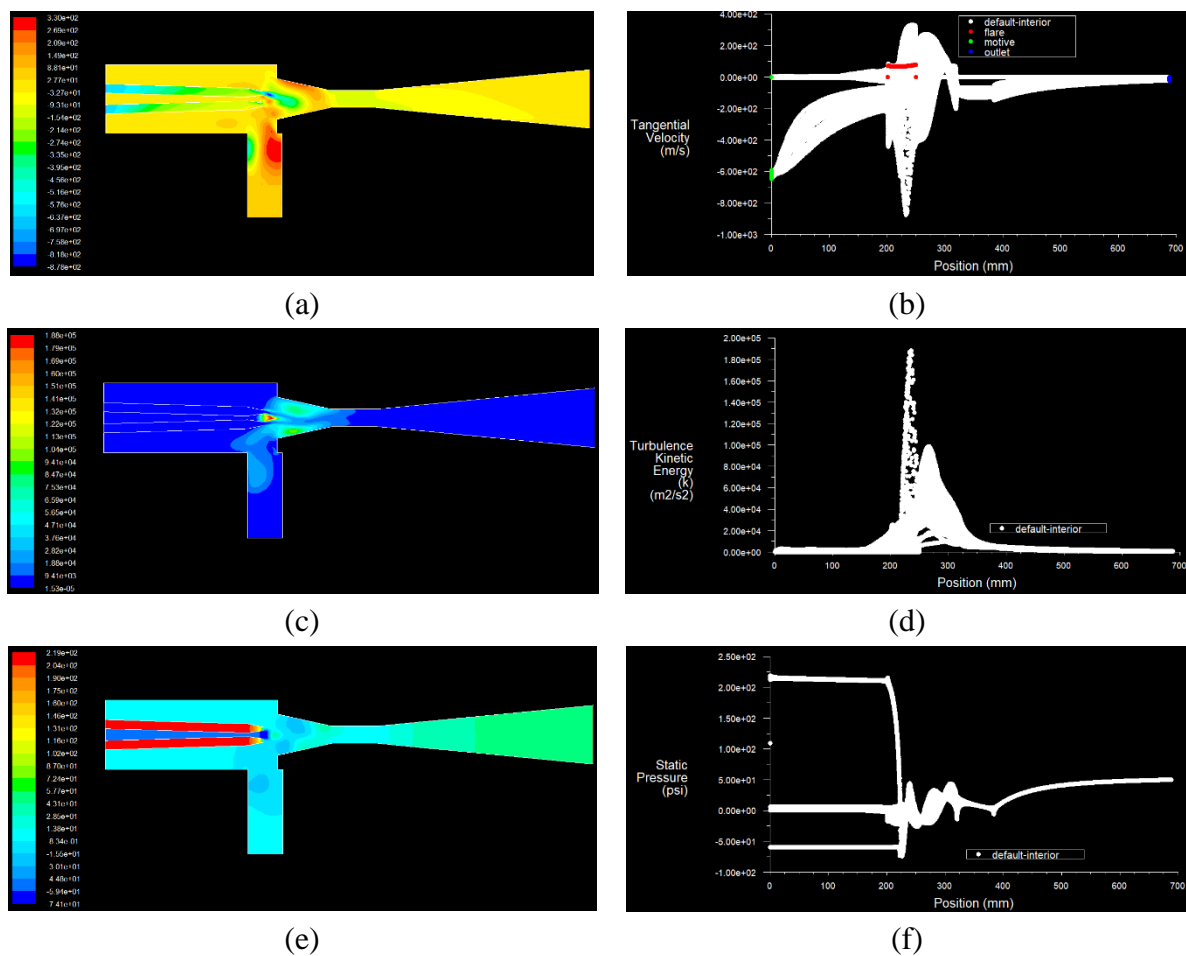
Area *diffuser* didesain dan dimodelkan untuk menaikkan tekanan aliran sampai dengan tekanan keluaran ejector yang diinginkan. Wu dkk, menyatakan bahwa *entrainment ratio* akan menurun seiring dengan kenaikan sudut diffuser dari 6° sampai 16° dengan potensi aliran balik yang menyebabkan kehilangan energi yang sangat besar [14]. Oleh karena itu, ejector ini didesain dengan sudut  $\beta$  sebesar 5.5° untuk mengatasi energi kinetik turbulensi sisa yang ditunjukkan pada Gambar 7 dan secara progresif meningkatkan tekanan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.

### C. Hasil Pemodelan Ejector Double Motive (EDM)

*Ejector double motive* dirancang untuk menciptakan desain pemulihan gas suar bakar yang lebih mudah dengan geometri *secondary inlet*, *mixing chamber*, *throat* dan *diffuser* yang sama dengan *ejector single motive*. Fokus utamanya adalah memodifikasi tipe bagian *primary / motive inlet* dari satu menjadi dua dengan sudut tertentu. Dalam paper ini sudut ( $\theta$ ) 92°

digunakan untuk mengarahkan aliran *motive jet* ke dalam *mixing chamber*, dengan rasio panjang / diameter *motive* sebesar 10,45. Pemodelan dinamika fluida penting untuk dilakukan dalam menangkap gangguan aliran antara kedua *motive inlet*. Tujuan *double motive* adalah untuk menghasilkan tingkat kevakuman yang lebih baik, pencampuran aliran *primary* dan *secondary* yang lebih cepat, dan penyempurnaan EVE di area *throat*

Hasil simulasi EDM-EVE menunjukkan peningkatan yang cukup baik dengan adanya proses pencampuran yang lebih baik pada area *mixing chamber* dengan *tangential shear interaction* yang besar pada area *secondary inlet* dan area *diffuser* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9(a). kondisi tersebut menyebabkan sisa energi kinetik turbulen yang kecil pada area *throat* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9(c). Pada akhirnya EVE pada area *throat* lebih efisien yang ditunjukkan dengan static pressure yang dihasilkan lebih rendah pada area sepanjang *throat* tersebut (Gambar 9(e)).



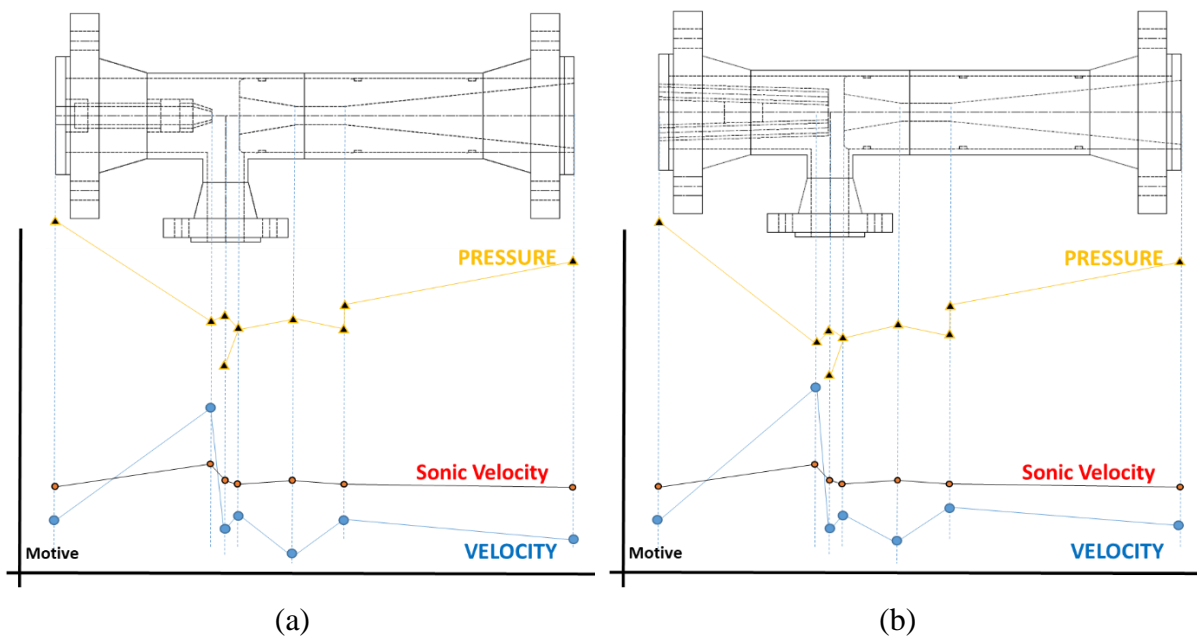
**Gambar 9. Hasil simulasi EDM-EVE : (a) Kontur relative tangential velocity, (b) Relative tangential velocity plotting berdasarkan posisi ejector , (c) Kontur turbulent kinetic energy, (d) Turbulent kinetic energy plotting berdasarkan posisi ejector , (e) Kontur tekanan static, (f) Plotting tekanan berdasarkan posisi ejector**

#### D. Hasil perbandingan kinerja ESM-EVE dan EDM EVE

Hasil pemodelan *computational fluid dynamic* menunjukkan, baik desain *single motive* maupun *double motive* layak untuk mengatasi tantangan pemulihan gas suar tekanan rendah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. Desain *double motive* memiliki kinerja yang lebih baik dalam menghasilkan konversi energi dari tekanan menjadi kecepatan pada area keluaran *motive nozzle* dan area *diffuser* sekitar 7%. Peningkatan efisiensi energi dalam energi

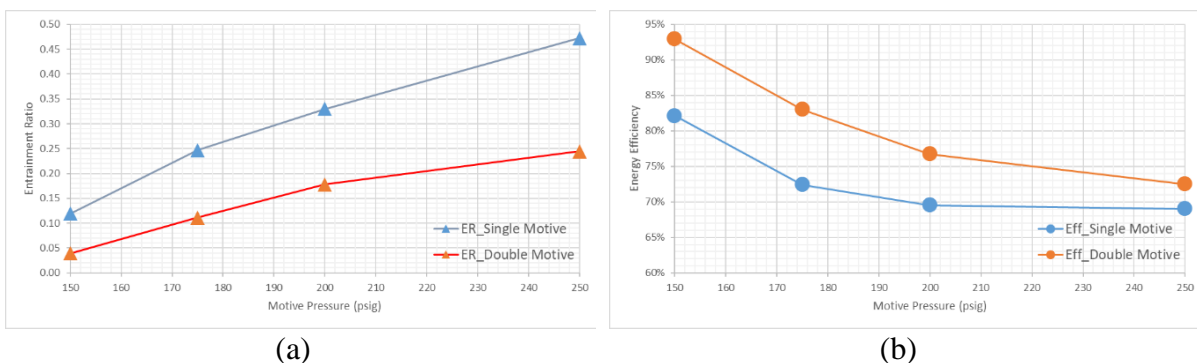


kinetic sekitar 13% yang ditunjukkan pada Gambar 10. Selain itu juga *double motive* menghasilkan proses pencampuran yang lebih baik tanpa adanya gangguan di area *mixing chamber*.



Gambar 10. Karakteristik performance tekanan dan velocity sepanjang lokasi ejector : (a) ESM-EVE and (b) EDM-EVE

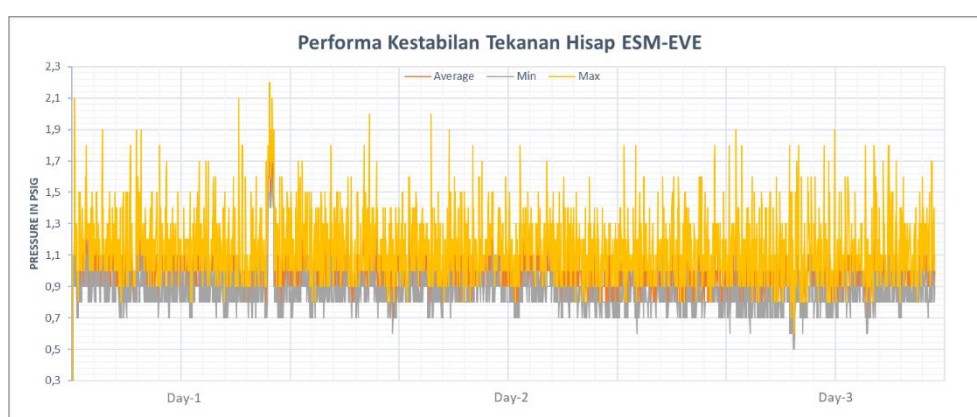
Dari nilai *entrainment ratio*, desain *single motive* memiliki hasil yang lebih baik dibandingkan dengan *double motive* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11. Seperti disebutkan sebelumnya, tekanan *motive* operasi dilapangan yang tersedia adalah 170 PSIG dan kondisi yang diharapkan untuk *enhanced ejector* adalah memulihkan sejumlah besar gas suar bakar untuk mengurangi emisi di area lepas pantai. Oleh karena itu ESM-EVE adalah desain yang lebih tepat diaplikasikan karena memiliki *entrainment ratio* yang lebih baik, yaitu sebesar 0,47. Singkatnya, ESM-EVE akan mampu menarik gas suar bakar sebesar 0,1-0,5 MMSCFD dengan laju aliran *motive* sebesar 1,3-1,7 MMSCFD. Sedangkan jika menggunakan EDM-EVE untuk memulihkan gas suar bakar dengan nilai yang sama akan membutuhkan laju aliran *motive* yang lebih besar.



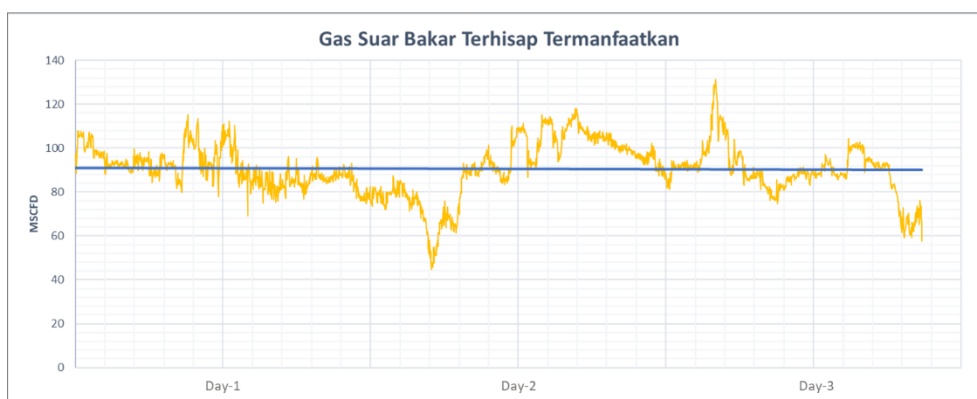
Gambar 11. Perbandingan ESM and EDM EVE : (a) *Entrainment ratio* (b) *Energy Efficiency*

### E. Hasil pengujian lapangan

Berdasarkan pemodelan *computational fluid dynamic* yang sudah dilakukan, ESM-EVE dipilih untuk dilakukan pengujian secara langsung di lapangan. Menyesuaikan dengan ketersediaan gas sebagai *motive ejector*, maka untuk pengujian dilakukan dengan pressure motive sebesar 170 PSIG. Pengujian dilakukan selama 3 hari dengan parameter proses yang sama. Hasilnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12. tekanan kerja sisi hisap cukup stabil dan menunjukkan kontinuitas aliran di dalam ejector terjadi dengan baik. Terlihat operasi kerja ESM-EVE ini membutuhkan laju alir gas motive +/- 1,2 MMSCFD untuk menghisap gas suar bakar max 120 MSCFD atau rerata harian di 90 MSCFD (Gambar 13) setara dengan menurunkan emisi sebesar 6,036 ton CO<sub>2e</sub>. Hasil pengujian tersebut jika kita bandingkan dengan hasil pemodelan *computational fluid dynamic* masih sedikit lebih rendah karena adanya faktor *head loss* pada sistem perpipaan yang tidak dapat diperhitungkan pada pemodelan *computational fluid dynamic* sebelumnya.



Gambar 12. Performa kestabilan tekanan hisap ESM-EVE



Gambar 13. Gas suar bakar terhisap termanfaatkan

## 4. SIMPULAN

Dalam studi ini, desain ejector di kembangkan dan di sempurnakan untuk dapat di aplikasikan sebagai teknologi memulihkan gas suar bakar. Tujuan utama dari pengembangan dan penyempurnaan tersebut adalah untuk mendapatkan desain ejector dengan *extended vacuum entrainment*. konfigurasi yang dipertimbangkan sebagai fokus utama yaitu *primary / motive inlet, secondary inlet, mixing chamber, throat* dan *diffuser*. 2 desain ejector yang di kembangkan yaitu ejector single motive dan ejector double motive. Berdasarkan hasil pemodelan *computational fluid dynamic* menggunakan *green-gauss finite volume method*,

*extended vacuum entrainment* terjadi pada beberapa posisi, yaitu area keluaran  *motive nozzle*,  *mixing chamber* dan *throat*. Selain itu desain tersebut berhasil meminimalisir munculnya *local vortex* pada area *secondary inlet* dan efek coanda pada area *mixing chamber*. Secara kinerja ejector single motive memiliki nilai *entrainment ratio* yang lebih baik, sehingga dipilih untuk di fabrikasi dan dilakukan pengujian secara langsung di lapangan. Berdasarkan hasil pengujian di lapang selama 3 hari, didapatkan bahwa ejector single motive dapat beroperasi dengan stabil dan handal. Ejector single motive mampu memulihkan gas suar bakar perharinya rata-rata 90 MSCF setara dengan penurunan emisi sebesar 6,036 ton CO<sub>2e</sub>.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. K. Orisaremi, F. T. Chan and N. S. Chung, "Potential reductions in global gas flaring for determining the optimal sizing of gas-to-wire (GTW) process: An inverse DEA approach," *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, vol. 93, p. 103995, 2021.
- [2] Y. Xu, S. Wang and Q. Xu, "An integrated flare minimization methodology for simultaneous turnaround operations of two chemical plants," *Journal of Cleaner Production*, vol. 277, p. 123181, 2020.
- [3] World Bank, "Global Gas Flaring," World Bank Publications, Washington DC, 2023.
- [4] A. K. Garakani, M. Iravaninia and M. Nezhadfar, "A review on the potentials of flare gas recovery applications in Iran," *Journal of Cleaner Production*, vol. 279, p. 123345, 2021.
- [5] G. Comodi, M. Renzi and M. Rossi, "Energy efficiency improvement in oil refineries through flare gas recovery technique to meet the emission trading targets," *Energy*, vol. 109, pp. 1-12, 2016.
- [6] B. O. Evbuomwan, V. Aimikhe and J. Y. Datong, "Simulation and Evaluation of a Flare Gas Recovery Unit for Refinery," *European Journal of Advances in Engineering and Technology*, vol. 5, no. 10, pp. 775-781, 2018.
- [7] A. E. Setyono, M. T. S. Utomo and J. Aminata, "Improvement in Upstream Oil and Gas Production Through Flare Gas Recovery using Ejector System," *International Energy Journal*, vol. 23, p. 209 – 218, 2023.
- [8] T. Leagas, G. Seefeldt and D. Hoon, "Ejector Technology for Efficient and Cost Effective Flare Gas Recovery," in *Proceedings of the GPA-GCC 24th Annual Technical Conference*, Kuwait City, 2016.
- [9] M. Colarossi, N. Trask, D. P. Schmidt and M. J. Bergander, "Multidimensional modeling of condensing two-phase ejector flowModélisation multidimensionnelle de l'écoulement diphasique dans un éjecteur à condensation," *International Journal of Refrigeration*, vol. 35, no. 2, pp. 290-299, 2012.
- [10] B. Huang and J. Chang, "Empirical Correlation for Ejector Design," *International Journal of Refrigeration*, vol. 22, p. 379–388, 1999.
- [11] J. H. Keenan, E. P. Neumann and F. Lustwerk, "An Investigation of Ejector Design by Analysis and Experiment," *Journal of Applied Mechanics*, vol. 17, no. 3, pp. 299-309, 1950.
- [12] S. Watanawanavet, "CFD optimization study of high-efficiency jet ejectors," 2008.
- [13] W. C. Holton, "Effect of Molecular Weight of Entrained Fluid on the Performance of Steam-Jet Ejectors," *Journal of Applied Mechanics*, vol. 73, no. 7, pp. 905-907, 1951.
- [14] Y. Wu, H. Zhao, C. Zhang, L. Wang and J. Han, "Optimization analysis of structure parameters of steam ejector based on CFD and orthogonal test," *Energy*, vol. 151, pp. 79-93, 2018.