

Optimasi Aliran Turbulen pada Tangki Evaporator dengan *Computational Fluid Dynamics*

Optimization of Turbulent Flow in Evaporator Tanks using Computational Fluid Dynamics

Yayan Heryana^{1*}, Ni Putu Dian Nitamiwati¹, Maharani Dewi Solikhah¹

¹ Pusat Riset Konversi dan Konservasi Energi, Badan Riset dan Inovasi Nasional

*Email korespondensi: yaya023@brin.go.id

Article Info

Submitted: July 27, 2023

Accepted: December 22, 2023

Keywords:

Biodiesel, dewatering,
computational fluid dynamics
(CFD), sparger, turbulence

Abstract

The increase in water content during biodiesel storage poses a significant challenge that necessitates finding a solution. One proposed approach is the implementation of a thermal vacuum dewatering system for biodiesel, which effectively reduces the water content to meet the required specifications. In this study, the evaporator tank is the main component of the dewatering system. While the current water content reduction meets the standard, continuous optimization is essential to achieve a water content in biodiesel below 200 ppm. This research aims to optimize the turbulent flow within the evaporator tank by employing a pipe sparger with various hole configurations through computational fluid dynamics (CFD) simulations. Additionally, these simulations aim to enhance the understanding of biodiesel flow behavior as it passes through the orifice plate and pipe sparger, ultimately identifying the best operational conditions. The research encompasses CFD simulations of the evaporator tank using both orifice plate and pipe sparger setups. Four models were investigated: evaporator tank equipped with an orifice plate, pipe sparger A, pipe sparger B, and pipe sparger C. The simulation results indicate that the evaporator tank with pipe sparger C offers the most optimal turbulent flow, as evidenced by the velocity distribution observed at $Re=5000$, $Re=10000$, and $Re=50000$. Consequently, installing pipe sparger C in the evaporator tank holds promise for achieving higher water content reduction compared to the orifice plate, pipe sparger A, and pipe sparger B configurations.

Doi: <https://doi.org/10.19028/jtep.012.1.1-20>

1. Pendahuluan

Biodiesel merupakan bahan bakar motor diesel yang terbuat dari minyak nabati maupun lemak hewani dengan alkohol rantai pendek misalnya metanol sehingga produknya menjadi *fatty acid methyl ester* (FAME) (Knothe & Razon, 2017). Sebagai bahan bakar nabati, biodiesel memiliki perbedaan karakteristik dengan minyak solar, dimana biodiesel merupakan bahan bakar oksigenat. Biodiesel sifatnya lebih higroskopis dan bersifat solven sehingga pengaplikasiannya di lapangan menyebabkan beberapa isu teknis. Beberapa parameter penting yang menjadi perhatian pemerintah untuk peningkatan kualitas biodiesel yaitu kadar air, kadar monogliserida dan stabilitas oksidasi. Spesifikasi teknis biodiesel di Indonesia saat ini diatur dalam Keputusan Dirjen EBTKE No.195.K/EK.05/DJE/2022

jo. Keputusan Dirjen EBTKE No.207.K/EK.05/DJE/2022 tentang Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Nabati (*Biofuel*) Jenis Biodiesel sebagai Bahan Bakar Lain yang Dipasarkan di Dalam Negeri (EBTKE, 2022). Berdasarkan spesifikasi teknis tersebut kadar air maksimum yang diijinkan dalam biodiesel yaitu 340 ppm.

Peningkatan kadar air dalam proses penyimpanan biodiesel merupakan permasalahan yang harus dicari solusinya. Salah satu solusi yang ditawarkan yaitu dengan menghilangkan kandungan air pada biodiesel dengan teknologi vakum termal. Berdasarkan percobaan skala laboratorium oleh Pamungkas *et al.* (2023), kadar air pada biodiesel berkurang menjadi <200 ppm menggunakan teknologi vakum termal. Sedangkan *scale up* dari percobaan laboratorium tersebut yaitu dengan percobaan kapasitas 300 liter/jam menggunakan tangki evaporator tipe horizontal yang dilengkapi sekat dan pada bagian *inlet* dilengkapi *orifice plate*, kadar air berkurang menjadi 200-300 ppm. Dengan adanya gap tersebut perlu dilakukan optimasi agar pengurangan kadar air minimal bisa menyamai percobaan laboratorium. Aliran turbulen dalam tangki evaporator dengan teknologi vakum termal merupakan faktor penting agar pengurangan kadar air menjadi optimal terutama untuk mendapatkan aliran turbulen yang optimal.

Beberapa penelitian aliran turbulen dapat dijadikan acuan dalam penelitian ini terutama dalam melakukan simulasi dengan software berbasis computational fluid dynamics (CFD). Gajbhiye *et al.* (2020) melakukan simulasi aliran turbulen pada *fitting* sistem perpipaan menggunakan ANSYS Fluent. *Fitting* sistem perpipaan yang diteliti meliputi *reducer*, *elbow*, *bend* dan *tee*. Fluida kerja yang digunakan yaitu air. Kondisi batas *inlet* meliputi bilangan Reynolds [$Re=10000$ ($v=0.39$ m/s)], sedangkan pada outlet dikondisikan pada tekanan atmosfer. Dengan Simulasi CFD tersebut dapat diketahui koefisien kerugian dari berbagai *fitting* perpipaan seperti *reducer*, *elbow*, *bend* dan *tee* yang berguna dalam merancang jaringan perpipaan. Simulasi CFD membantu memahami ketidak idealan dan pola aliran yang kompleks dalam sistem *fitting* perpipaan yang berbeda. Bhandari dan Singh (2012) melakukan penelitian aliran turbulen pada pipa menggunakan CFD.

Penelitian tersebut menganalisis variasi kecepatan aksial dan koefisien gesek kulit sepanjang pipa. Hasil yang diperoleh secara komputasional memiliki kesesuaian dengan hasil yang diperoleh secara analitis. Dabirian *et al.* (2015) melakukan penelitian pola aliran gas-cair dalam pipa horizontal menggunakan simulasi CFD dan membandingkan hasilnya dengan data eksperimen. Selain itu melakukan investigasi struktur aliran turbulen di bawah *interface* gas-cair dengan menghitung profil kecepatan aliran. Validasi hasil CFD dengan data eksperimen menunjukkan simulasi CFD memiliki potensi untuk digunakan dalam desain fasilitas dan proses *scale-up* di industri perminyakan. Dutta *et al.* (2015) melakukan penelitian aliran turbulen fase tunggal melalui lengkungan pipa 90° dengan perbandingan kelengkungan yang berbeda ($Rc/D = 1$ sampai 5) kemudian diteliti secara numerik

untuk bilangan Reynolds (Re) mulai dari 1×10^5 sampai 10×10^5 . D merupakan diameter pipa, sedangkan R_c merupakan jari-jari lengkungan pada belokan pipa. Tujuan dari penelitian adalah untuk mensimulasikan secara numerik pola aliran dan karakterisasi perputaran aliran sekunder pada lengkungan 90° . Simulasi aliran menggunakan CFD untuk memahami fenomena yang terjadi. Validasi model dilakukan dengan data eksperimental yang telah dipublikasikan. Kecenderungan pemisahan aliran lebih tinggi untuk belokan dengan perbandingan kelengkungan rendah, dan kemampuan untuk mengatasi pola aliran yang tidak stabil dan kompleks lebih tinggi untuk belokan dengan perbandingan kelengkungan tinggi.

Penelitian mengenai penggunaan *orifice plate* dapat dijadikan acuan juga dalam penelitian ini karena tangki evaporator yang akan diteliti aliran turbulennya dilengkapi dengan *orifice plate* pada *inlet nozzle*. Simulasi aliran melalui sebuah *orifice plate* yang dilakukan oleh Ahmed *et al.* (2023) menunjukkan adanya fenomena peningkatan amplitudo fluktuasi turbulen, namun hal ini juga diikuti kavitasi. Hal ini menjadi pertimbangan dalam mendisain *orifice plate* agar penurunan tekanan tidak terjadi. Talageri *et al.* (2021) melakukan eksperimen *single stage* dan *multistage orifice plates*, hasil eksperimen dibandingkan dengan analisis simulasi CFD. Berdasarkan hasil simulasi CFD, pada area *downstream* terjadi turbulensi akibat kavitasi. Hasil tersebut dapat digunakan sebagai pedoman dalam pengendalian aliran instalasi pembangkit listrik tenaga air skala kecil dan pipa gas bertekanan tinggi. Berdasarkan penelitian tentang penggunaan *orifice plate*, dapat disimpulkan bahwa *orifice plate* dapat meningkatkan aliran turbulen, namun dikarenakan lokasinya pada tangki evaporator terletak pada *inlet nozzle*, perlu dipikirkan agar aliran turbulen tersebut merata pada area tangki.

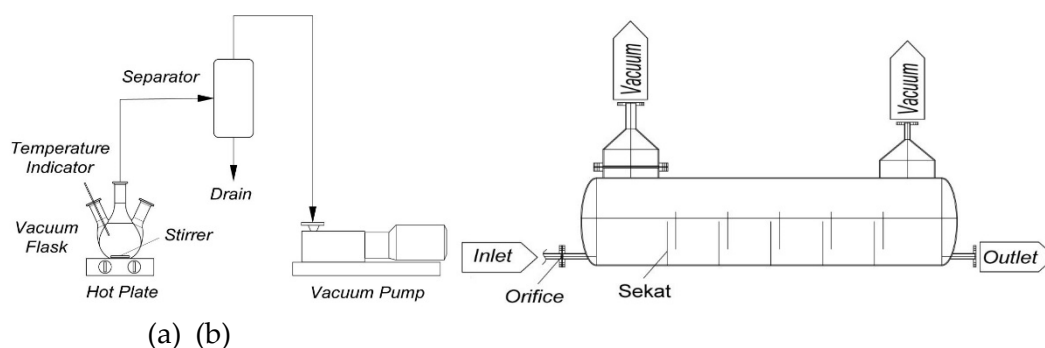
Beberapa penelitian tentang penggunaan *sparger* menjadi acuan dalam upaya optimasi aliran turbulen pada tangki evaporator tipe horizontal. Walaupun pada berbagai kasus *sparger* digunakan untuk menyuntikan fase yang lebih ringan ke dalam fase yang lebih berat sebagaimana penelitian Kulkarni *et al.* (2007), Gallego Marcos *et al.* (2015), Pourtousi *et al.* (2016), Besagni *et al.* (2018), dan Wang *et al.* (2023), namun penerapan pada tangki evaporator dimungkinkan untuk mengalirkan biodiesel ke dalam tangki evaporator untuk menciptakan efek pengadukan, sebagaimana penelitian Hofman *et al.* (2004) bahwa agitator di dalam tangki diperlukan untuk mencampur bahan secara merata dan menjaga zat kimia tetap terlarut, hal tersebut dicontohkan dengan penggunaan *jet agitator* dan *sparger tube* dimana dari segi biaya lebih murah dibandingkan dengan agitator mekanik yang dilengkapi poros dan bilah.

Penelitian ini meliputi simulasi aliran turbulen pada tangki evaporator yang merupakan bagian dari sistem *dewatering* biodiesel dengan teknologi vakum termal dengan bantuan *software* berbasis *Computational Fluids Dynamics* (CFD). Penelitian ini bertujuan memperoleh aliran turbulen yang optimal dari tangki evaporator yang dilengkapi *sparger* pipa dengan variasi lubang yang berbeda.

Selain itu, simulasi ini diharapkan dapat memberikan pemahaman mengenai perilaku aliran biodiesel ketika melewati *orifice plate* dan *sparger* pipa sehingga diperoleh kondisi operasi yang terbaik.

2. Bahan dan Metode

Penelitian untuk mengurangi kandungan air dalam biodiesel telah dilakukan baik skala laboratorium kapasitas 300 ml maupun *scale up* dengan kapasitas 300 liter/jam dengan tujuan kandungan air dalam biodiesel memenuhi Spesifikasi teknis biodiesel di Indonesia yang diatur dalam Keputusan Dirjen EBTKE No.195.K/EK.05/DJE/2022 jo. Keputusan Dirjen EBTKE No.207.K/EK.05/DJE/2022 tentang Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Nabati (*Biofuel*) Jenis Biodiesel sebagai Bahan Bakar Lain yang Dipasarkan di Dalam Negeri (EBTKE, 2022) dimana kadar air maksimum yang diijinkan dalam biodiesel yaitu 340 ppm. Penelitian skala laboratorium yaitu menggunakan labu ukur dan *magnetic stirrer*, sedangkan penelitian kapasitas 300 liter/jam yaitu menggunakan tangki evaporator tipe horizontal yang dilengkapi sekat-sekat pada bagian dalamnya serta pada lubang masuk (*inlet nozzle*) dipasang *orifice plate*. Adapun skema 4isban *dewatering* biodiesel skala laboratorium dan *scale up* dapat dilihat pada **Gambar 1**.

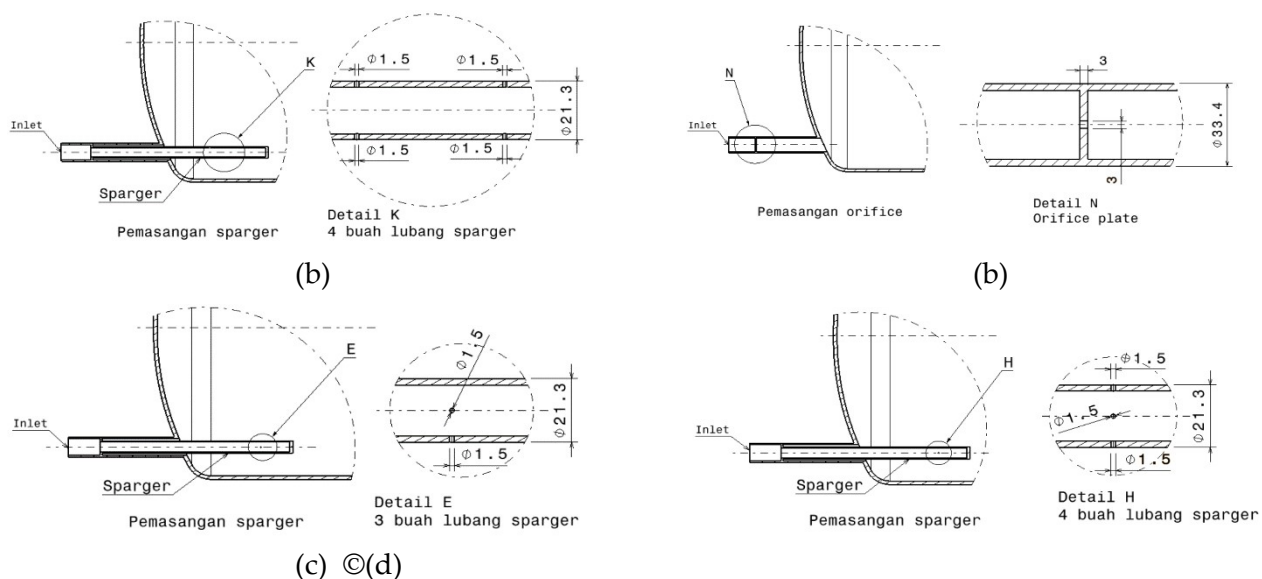


Gambar 1. Skema proses mengurangi kandungan air dalam biodiesel a). 4isban pengaduk (skala lab), b). tangki evaporator tipe horizontal (*scale up*)

Kandungan air yang dihasilkan pada penelitian skala laboratorium yaitu < 200 ppm sedangkan pada percobaan kapasitas 300 liter/jam yaitu 200-300 ppm. Dengan adanya gap yang terjadi antara percobaan laboratorium dan *scale up* maka diperlukan pemecahan masalah agar hasilnya mendekati bahkan sama dengan percobaan laboratorium. Pemecahan masalah mengarah kepada aliran turbulen yang dihasilkan tangki evaporator. Turbulen yang optimum juga ditandai dengan sebaran molekul dengan kecepatan yang merata di dalam tangki sehingga penguapan air lebih cepat dibandingkan jika pada aliran turbulen yang tidak optimum dimana hanya terjadi pada titik tertentu di dalam tangki atau hanya pada bagian dasar tangki. Sebagai langkah awal diperlukan pengamatan fenomena

turbulensi pada tangki evaporator yang memerlukan peralatan dan biaya yang tidak sedikit jika dilakukan melalui eksperimen. Selanjutnya, hasil pengamatan terhadap turbulensi digunakan sebagai dasar modifikasi desain peralatan yang tentu membutuhkan biaya dan waktu. Diperlukan alternatif metode analisis yang dapat menjabarkan parameter-parameter desain dan operasi dengan biaya dan dapat dilakukan dalam waktu lebih cepat. Oleh karena itu *software* berbasis *Computational Fluids Dynamics* (CFD) digunakan dalam penelitian ini.

Penelitian meliputi simulasi CFD tangki evaporator kapasitas 300 liter/jam menggunakan *orifice plate* dan simulasi CFD tangki evaporator kapasitas 300 liter/jam menggunakan *sparger* pipa untuk optimasi proses evaporasi. Adapun gambaran mengenai *orifice plate* dan *sparger* pipa pada 5isban evaporator dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Tangki evaporator a). dengan pemasangan *orifice plate* (*existing*), b). dengan pemasangan *sparger* pipa A, c). dengan pemasangan *sparger* pipa B, d). dengan pemasangan *sparger* pipa C

Pada **Gambar 2a**, terdapat *orifice plate* dengan diameter 3 mm. Pada **Gambar 2b**, terdapat *sparger* pipa dengan 4 lubang masing-masing berdiameter 1,5 mm dengan konfigurasi lubang sejajar pipa (*sparger* pipa A). Pada **Gambar 2c**, terdapat *sparger* pipa dengan 4 lubang masing-masing berdiameter 1,5 mm dengan konfigurasi mengelilingi diameter pipa (*sparger* pipa B). Sedangkan pada **Gambar 2d**, terdapat *sparger* pipa dengan 3 lubang masing-masing berdiameter 1,5 mm dengan konfigurasi lubang mengelilingi diameter pipa (*sparger* pipa C). Melalui simulasi CFD dilakukan analisis aliran turbulen pada masing-masing model dengan acuan bilangan Reynolds 5isban nilainya minimal sama dengan

yang dilakukan skala laboratorium (menggunakan labu ukur dan *magnetic stirrer*). Adapun bilangan Reynolds diperoleh menggunakan **Persamaan 1** dan **Persamaan 2**. **Persamaan 1** merupakan persamaan umum untuk menentukan bilangan Reynolds sedangkan **Persamaan 2** digunakan untuk menentukan bilangan Reynolds pada 6isban berpengaduk.

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} \quad (1)$$

Re adalah bilangan Reynolds, ρ adalah massa jenis fluida, v adalah kecepatan fluida, D adalah diameter 6isban dan μ adalah viskositas dinamik fluida.

$$Re = \frac{\rho \cdot n \cdot D^2}{\mu} \quad (2)$$

Re adalah bilangan Reynolds, ρ adalah massa jenis fluida, n adalah kecepatan *impeller*, D adalah diameter *impeller* dan μ adalah viskositas dinamik fluida.

Simulasi CFD dilakukan untuk memberikan gambaran geometri serta menganalisa aliran fluida, sehingga dapat memvisualisasikan distribusi fluida pada tangki evaporator. Prosedur simulasi CFD dimulai dengan pembuatan geometri fluida pada tangki evaporator menggunakan *software Catia*. Proses selanjutnya yaitu *meshing* menggunakan *software ANSYS FLUENT*. *Meshing* merupakan ikatan-ikatan pembentukan geometri, 6isban *mesh* yang biasa diterima agar iterasi berjalan dengan baik adalah memiliki nilai *skewness* <0.9. Selanjutnya menentukan kondisi batas (*boundary layer*) yaitu nilai batas biodiesel yang dapat dilihat pada **Tabel 1**. Langkah selanjutnya visualisasi distribusi fluida dengan iterasi tertentu sesuai target yang diinginkan dengan memasukkan data inputan yang dibutuhkan.

Simulasi CFD aliran turbulen melibatkan persamaan berikut ini (ANSYS, 2013):

1. Persamaan kontinuitas

Bentuk umum persamaan kontinuitas yang berlaku untuk aliran tak termampatkan dan termampatkan:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \quad (3)$$

Pada **Persamaan 3**, ρ adalah densitas fluida dan \vec{v} adalah kecepatan fluida.

2. Persamaan kekekalan momentum

Persamaan kekekalan momentum adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\bar{\tau}) + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (4)$$

Pada **Persamaan 4**, p adalah tekanan statis, $\bar{\tau}$ adalah tegangan tensor, $\rho \vec{g}$ adalah gaya gravitasi benda, dan \vec{F} adalah gaya benda eksternal.

3. Model Turbulensi

Model turbulensi yang digunakan yaitu *Realizable k-ε* dengan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M + S_k \quad (5)$$

Dan

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \varepsilon u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \rho C_1 S_\varepsilon - \rho C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\nu \varepsilon}} + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} C_{3\varepsilon} G_b + S_\varepsilon \quad (6)$$

Dimana:

$$C_1 = \max \left[0.43, \frac{\eta}{\eta + 5} \right], \eta = S \frac{k}{\varepsilon}, S = \sqrt{2 S_{ij} S_{ij}} \quad (7)$$

Pada **Persamaan 5, 6 dan 7**, G_k menunjukkan pembentukan energi 7isband turbulensi yang disebabkan gradien kecepatan rata-rata, G_b menunjukkan pembentukan energi 7isband turbulensi yang disebabkan gaya apung, Y_M menunjukkan kontribusi fluktuasi yang luas dalam turbulensi aliran kompresibel terhadap keseluruhan laju disipasi, C_2 dan $C_{1\varepsilon}$ adalah konstanta, ∂_k dan ∂_ε adalah bilangan Prandtl turbulen untuk k dan ε , S_k dan S_ε adalah sumber yang ditentukan pengguna.

Simulasi aliran fluida dalam tangki evaporator melibatkan persamaan kontinuitas massa dan momentum. Aliran turbulen diperhitungkan dengan dengan pembentukan energi 7isband turbulensi yang berkaitan dengan 7isband acak dan kompleks dari fluida, dan pembentukannya dapat melibatkan interaksi antara 7isbanding sendiri atau dengan permukaan di mana fluida mengalir. Pada simulasi ini juga mempertimbangkan adanya gaya apung karena berkaitan dengan adanya interaksi kompleks antara 7isbanding sendiri dan dengan permukaan di mana fluida mengalir, 7isband hal ini juga memperhatikan perbedaan massa jenis 7isbanding sendiri dan massa fluida disekitarnya.

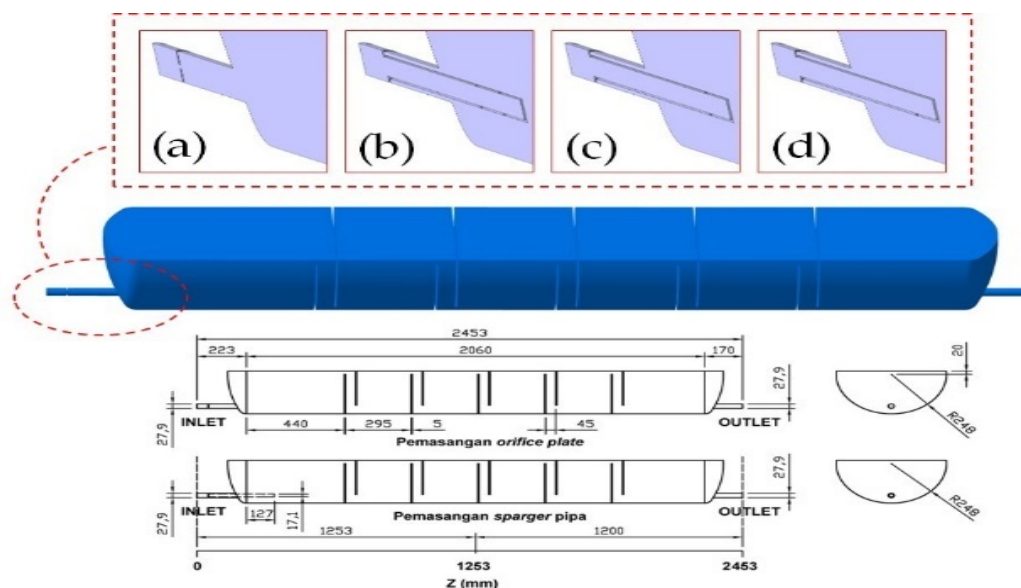
Adanya perbedaan massa jenis fluida yang diapungkan dengan massa jenis fluida di sekitarnya juga berkaitan dengan gaya apung, sehingga gaya apung perlu dilibatkan. Simulasi CFD tangki evaporator dilakukan dengan pemodelan 3D untuk mengamati pola aliran fluida akibat pemasangan *orifice plate* dan *sparger* pipa. Analisis parameter kecepatan, tekanan dan energi 7isband turbulen dilakukan pada bidang 2D yang dipotong sepanjang sumbu geometri. *Meshing* yang digunakan dalam model 3D tangki evaporator yaitu *polyhedral*. *Meshing* pada area yang sempit lebih halus dibandingkan dengan area lainnya agar hasil analisis lebih akurat. Model turbulensi yang dipilih yaitu *realizable k-ε*. Alasan pemilihan *realizable k-ε* yaitu berdasarkan penelitian *hydrofoil* yang dilakukan Mulvany *et al.* (2004) menggunakan model turbulensi *standard k-ε*, *realizable k-ε*, *standard k-ω*, dan *SST k-ω* hasilnya menunjukkan model turbulensi *realizable k-ε* lebih baik 7isbanding model turbulensi lainnya. Begitu juga dengan penelitian aliran turbulen yang dilakukan Hariyadi (Hariyadi,

2017) menggunakan model turbulensi *standard k-ε*, *realizable k-ε*, dan *RNG k-ε* hasilnya menunjukkan model turbulensi *realizable k-ε* adalah yang terbaik.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pemodelan 3D Fluida pada Tangki Evaporator

Tangki evaporator yang dianalisis pada ANSYS Fluent terdiri tangki evaporator dengan pemasangan *orifice plate* sebagai kondisi saat ini dan modifikasi tangki evaporator dengan pemasangan *sparger* pipa A, tangki evaporator dengan pemasangan *sparger* pipa B dan tangki evaporator dengan pemasangan *sparger* pipa C. Adapun pemodelan 3D fluida masing-masing tangki evaporator yang dibuat pada perangkat lunak Catia dapat dilihat pada **Gambar 3**. **Gambar 3** menunjukkan pemodelan 3D fluida yang melewati tangki evaporator untuk proses simulasi pada software ANSYS Fluent. Fluida tidak memenuhi tangki evaporator karena terjadi *overflow* pada sekat-sekat tangki. Sedangkan ruang kosong pada bagian atas tangki evaporator adalah ruangan untuk proses penguapan air dari biodiesel dan selanjutnya pada bagian atas dihisap oleh pompa vacuum. Pemodelan dengan pemasangan *sparger* pipa bertujuan meningkatkan turbulensi dalam tangki evaporator dibandingkan dengan pemasangan *orifice plate* pada mulut lubang masuk (*inlet nozzle*) dengan harapan turbulensinya minimal sama dengan penggunaan pengaduk pada skala laboratorium.



Gambar 3. Pemodelan 3D fluida tangki evaporator a). dengan pemasangan *orifice plate* (existing), b). dengan pemasangan *sparger* pipa A, c). dengan pemasangan *sparger* pipa B, d). dengan pemasangan *sparger* pipa C

3.2. Simulasi CFD Tangki Evaporator

Tahap awal sebelum melakukan simulasi CFD yaitu melakukan impor geometri yang dibuat pada *software Catia*. Geometri fluida dibuat dalam model 3D untuk mengetahui lebih jelas pola aliran yang terjadi. Adapun geometri fluida tampak depan dan samping dapat dilihat pada **Gambar 3**. Tahap selanjutnya *meshing* menggunakan *mesh* jenis *polyhedral*. *Mesh* jenis *polyhedral* dipilih dengan alasan agar iterasi berjalan lebih cepat dengan akurasi hasil simulasi yang tinggi sebagaimana penelitian yang dilakukan Heryana *et al.* (2022). Kualitas *mesh* mempengaruhi ketepatan hasil simulasi, oleh karena itu perlu dilakukan pengecekan yaitu dengan melihat nilai *skewness* ($<0,9$) serta melakukan studi independensi *mesh*.

Kondisi batas pada pemodelan tangki evaporator dengan pemasangan *orifice plate* dan *sparger* pipa terdiri dari *inlet*, *outlet* dan *wall*. Pada *inlet* tiap-tiap model diset dengan kecepatan 0,14 m/s, sedangkan pada *outlet* dikondisikan *mass flow rate* sebesar 0,07 kg/s. Fluida yang digunakan yaitu biodiesel pada kondisi suhu 105°C, dengan massa jenis 810,3 kg/m³.

3.3. Studi Independensi Mesh

Geometri tangki evaporator dengan pemasangan *orifice plate* selanjutnya dinilai kualitas *mesh* dari hasil studi independensi *mesh*. Ahmed *et al.* (2023) membandingkan laju aliran massa melalui hasil simulasi dengan *flow rate* aktual dalam menilai kualitas *mesh* yang akan digunakan untuk simulasi. Pemilihan *mesh* berdasarkan nilai eror terkecil dari beberapa jumlah elemen. Pada penelitian ini dilakukan pengujian *mesh* M1, M2 dan M3 dengan membandingkan nilai kecepatan yang diperoleh pada 3 (tiga) titik yaitu pada jarak 20 mm dari ujung *orifice plate* (kecepatan 1), jarak 40 mm dari ujung *orifice plate* (kecepatan 2), dan jarak 60 mm dari ujung *orifice plate* (kecepatan 3) dengan nilai *skewness* $<0,9$ yang dapat dilihat pada **Tabel 1**. Berdasarkan hasil yang diperoleh, *mesh* yang dipilih yaitu M2 dengan alasan keakuratan tidak jauh berbeda dengan M3 namun jumlah elemen lebih sedikit sehingga dapat mempersingkat waktu iterasi.

Tabel 1. Pengujian kualitas *mesh*

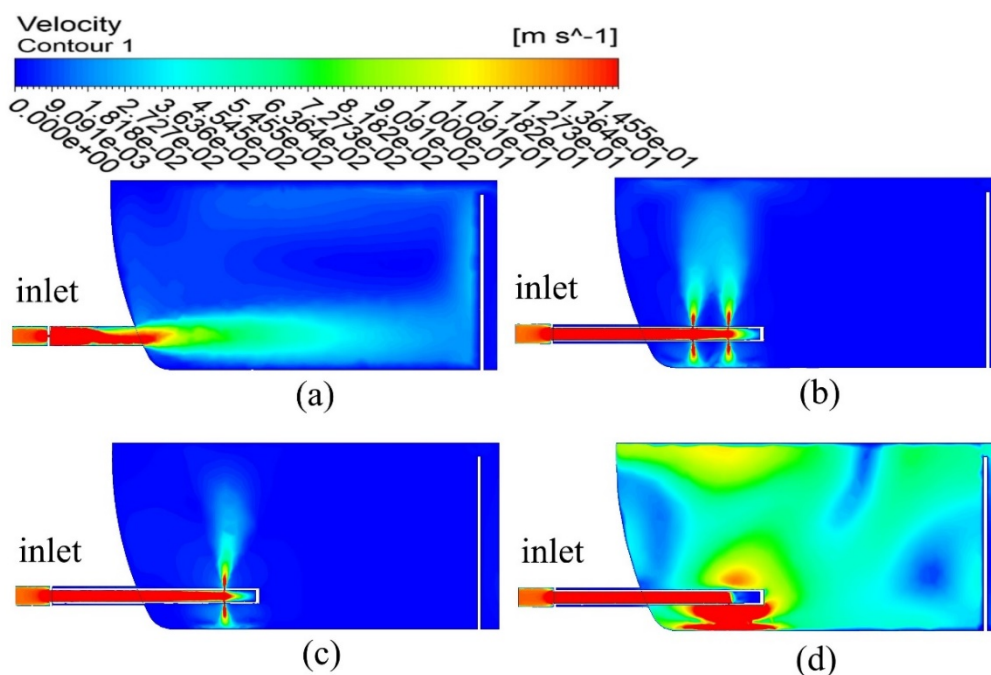
<i>Mesh</i>	Jumlah <i>Node</i>	Jumlah <i>Mesh</i>	Kecepatan 1 (m/s)	Kecepatan 2 (m/s)	Kecepatan 3 (m/s)	<i>Skewness</i> max
M1	53703	270154	3,028	1,087	0,384	0,817
M2	81212	417865	2,367	1,085	0,425	0,796
M3	125292	659708	2,457	1,051	0,422	0,774

3.4. Analisis Fluida pada Tangki Evaporator

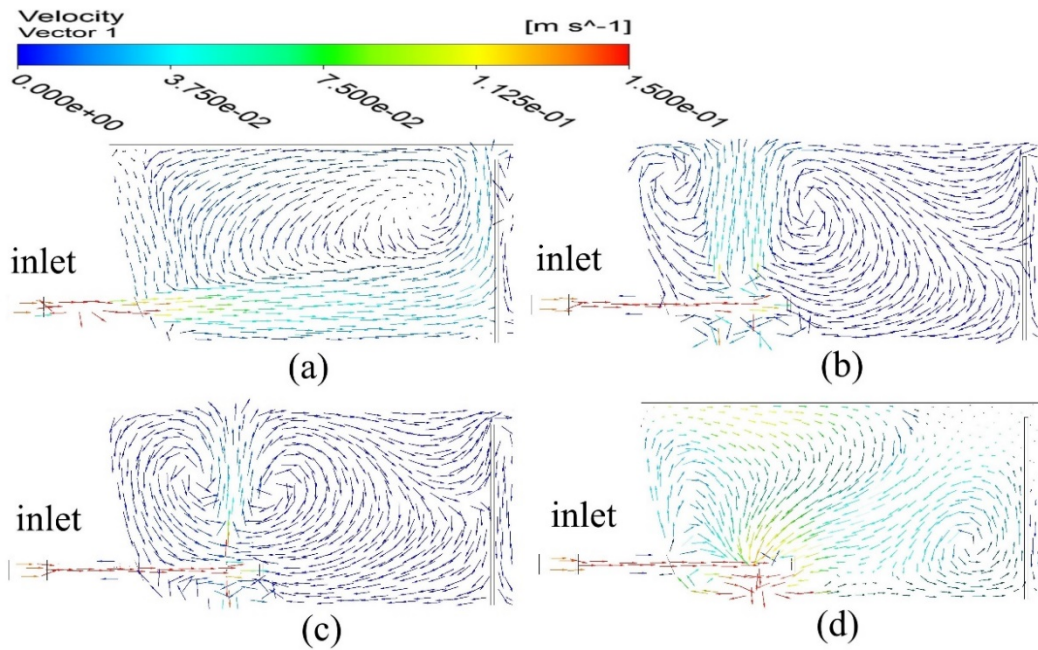
Analisis yang dilakukan pada tangki evaporator dengan pemasangan *orifice plate* dan *sparger* pipa meliputi parameter kecepatan, tekanan dan energi kinetik turbulen untuk memperoleh desain sistem *dewatering* biodiesel yang optimal dalam menurunkan kadar air dalam biodiesel.

3.4.1 Kecepatan

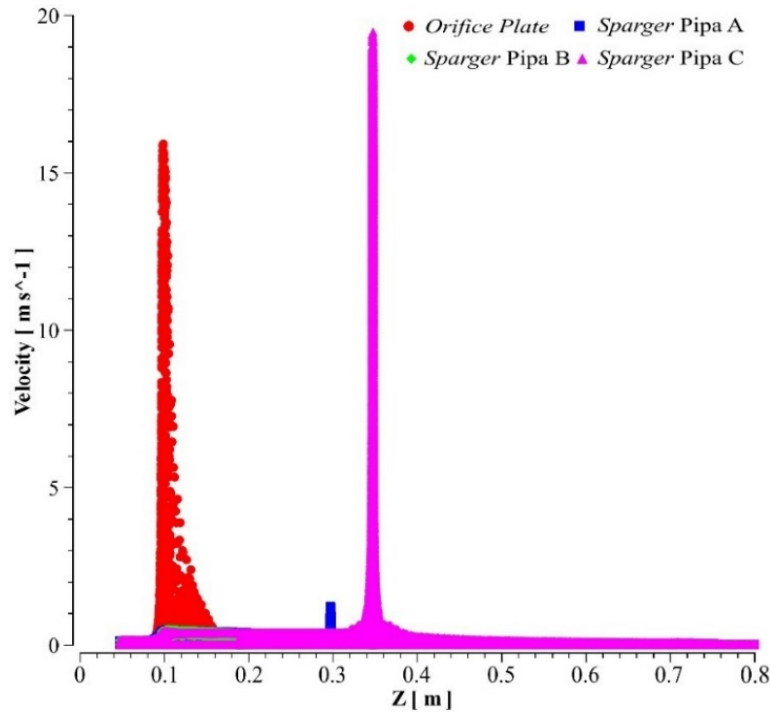
Parameter kecepatan fluida merupakan faktor penting dalam pembentukan aliran turbulen. Semakin besar fluktuasi kecepatan maka intensitas turbulensi pun semakin besar (Hariyadi, 2017). Demikian juga dengan penelitian Hossain *et al.* (2022) dikatakan bahwa nilai bilangan Reynolds yang tinggi meningkatkan medan kecepatan. Gambar 4 menunjukkan perbandingan kontur kecepatan yang terjadi pada tangki evaporator dengan pemasangan *orifice plate* (a), *sparger* pipa A (b), *sparger* pipa B (c) dan *sparger* pipa C (d). Kontur tersebut menampilkan kecepatan sampai dengan 0,15 m/s. Berdasarkan warna yang terbentuk, pada *sparger* pipa C sebaran fluida dengan kecepatan 0,075 hingga 0,15 m/s menjadi lebih merata di dalam tangki dibandingkan dengan pemasangan *orifice plate*, *sparger* pipa A dan *sparger* pipa B. Hal tersebut dapat dilihat juga pada vektor kecepatan yang terbentuk dimana pusaran aliran pada tangki evaporator dengan pemasangan *sparger* pipa C lebih banyak dibandingkan yang lainnya seperti terlihat pada Gambar 5. Pusaran aliran juga menyebar hingga area disekitar dinding tangki yang jika dibandingkan dengan *sparger* pipa A dan B, fluida dengan kecepatan rendah bahkan diam didapati lebih banyak.



Gambar 4. Kontur kecepatan pada tangki evaporator dengan pemasangan *orifice plate* (a), *sparger* pipa A (b), *sparger* pipa B (c) dan *sparger* pipa C (d)



Gambar 5. Vektor kecepatan pada tangki evaporator dengan pemasangan *orifice plate* (a), *sparger* pipa A (b), *sparger* pipa B (c) dan *sparger* pipa C (d)



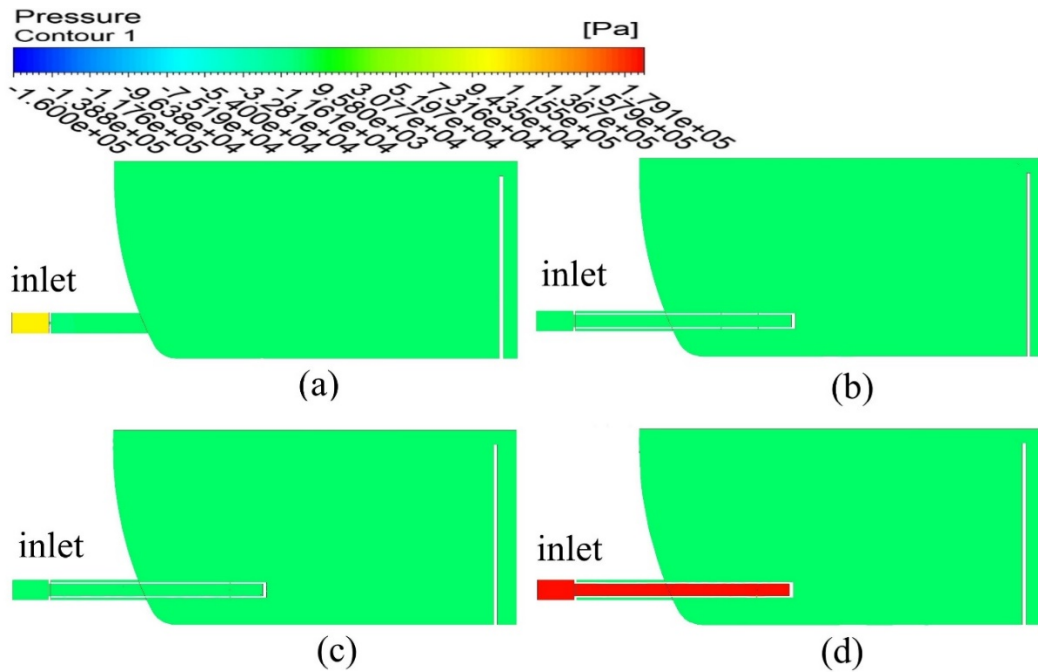
Gambar 6. Grafik kecepatan pada tangki evaporator dengan pemasangan *orifice plate*, *sparger* pipa A, *sparger* pipa B dan *sparger* pipa C

Gambar 6 menunjukkan grafik kecepatan pada tangki evaporator dengan pemasangan *orifice plate*, *sparger* pipa A, *sparger* pipa B dan *sparger* pipa C dimana sebaran kecepatan ditampilkan mulai dari *inlet* di posisi 0 m sampai posisi 0,8 m sepanjang sumbu Z. Adapun kecepatan maksimum yaitu 18,9 m/s pada lubang *sparger* pipa C sedangkan kecepatan maksimum pada *orifice plate* yaitu 15,9 m/s. Pada grafik ini, setelah melewati *orifice plate* dan *sparger* pipa terlihat bahwa sebaran fluida dengan kecepatan tinggi pada desain *sparger* pipa C lebih merata dibandingkan dengan pemasangan *orifice plate*, *sparger* pipa A dan B, hal ini sesuai dengan kontur kecepatan yang terbentuk pada Gambar 4. Molekul fluida yang keluar dari lubang memiliki kecepatan tinggi diakibatkan oleh luasan lubang pada *sparger* pipa C lebih kecil dibandingkan A dan B. Luasan lubang pada *sparger* pipa C yang lebih kecil, kecepatan aliran fluida akan meningkat. Fluida dengan kecepatan lebih tinggi, seperti pada pipa C, akan menyebabkan pergolakan pada fluida disisi lainnya dan molekul fluida terdistribusi lebih merata. Diharapkan dengan kondisi seperti itu akan mempercepat proses penguapan karena ada distribusi suhu yang merata akibat pergerakan molekul.

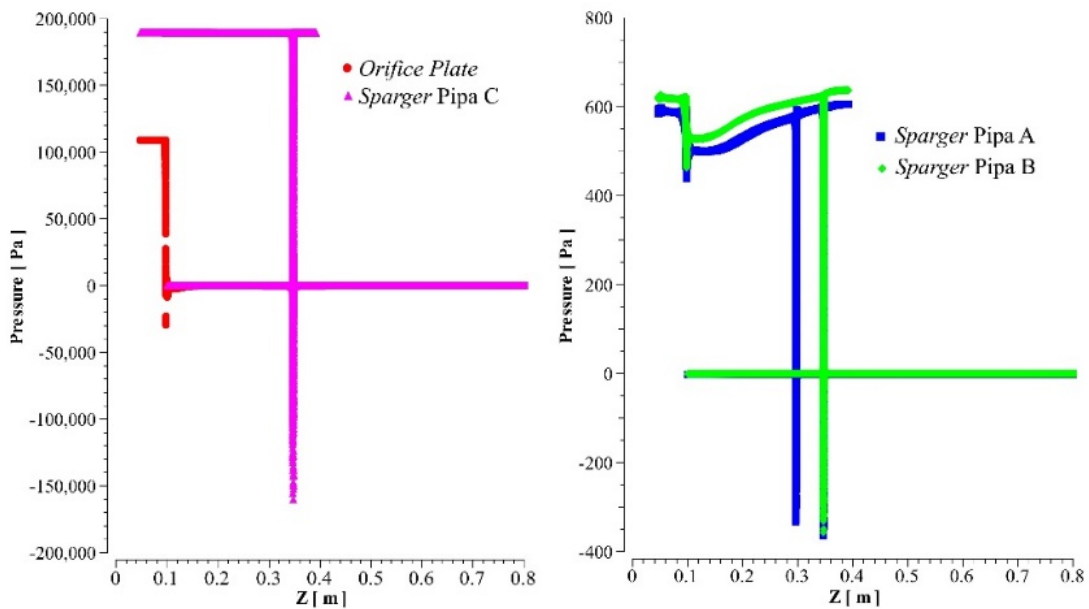
3.4.2 Tekanan

Parameter tekanan dapat dijadikan acuan dalam analisis terbentuknya aliran turbulen. Menurut Hossain *et al.*(2022), bilangan Reynolds yang lebih tinggi menghasilkan gradien tekanan yang lebih rendah dalam domain fluida. Gambar 7 menunjukkan perbandingan kontur tekanan yang terjadi pada tangki evaporator dengan pemasangan *orifice plate*, *sparger* pipa A, *sparger* pipa B dan *sparger* pipa C. Berdasarkan warna yang terbentuk, tekanan yang besar terjadi disepanjang pipa kemudian dilepaskan secara cepat melalui lubang *sparger* pipa C, hal ini menyebabkan penurunan tekanan drastis dibandingkan dengan pemasangan *orifice plate*, *sparger* pipa A dan *sparger* pipa B.

Gambar 8 menunjukkan grafik tekanan pada tangki evaporator dengan pemasangan *orifice plate*, *sparger* pipa A, *sparger* pipa B dan *sparger* pipa C dimana sebaran tekanan ditampilkan mulai dari *inlet* di posisi 0 m sampai posisi 0,8 m sepanjang sumbu Z. Tekanan *inlet* mengalami penurunan drastis saat melewati lubang *orifice plate* dan *sparger* pipa. Penurunan tekanan paling rendah terjadi pada tangki evaporator dengan pemasangan *sparger* pipa C dimana dari tekanan $1,9 \times 10^5$ Pa menjadi $-8,6 \times 10^4$ Pa. Pada saat aliran di dalam pipa C berada pada kondisi kecepatan tinggi yang berdampak pada adanya peningkatan tekanan dinamis, namun setelah melewati lubang mengalami penurunan kecepatan dan tekanan. Berbeda dari desain A dan B, aliran yang melewati *sparger* pipa A dan B memiliki kecepatan rendah dan tekanan yang timbul tidak sebesar pada C.



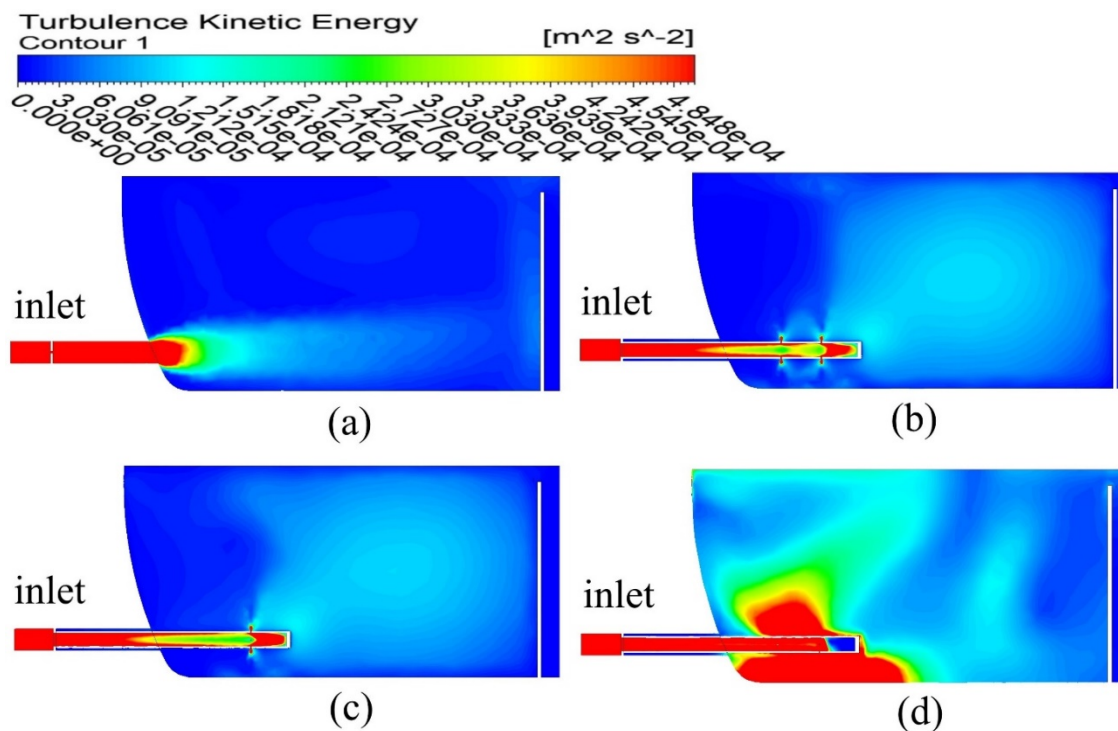
Gambar 7. Kontur tekanan pada tangki evaporator dengan pemasangan *orifice plate* (a), *sparger* pipa A (b), *sparger* pipa B (c) dan *sparger* pipa C (d)



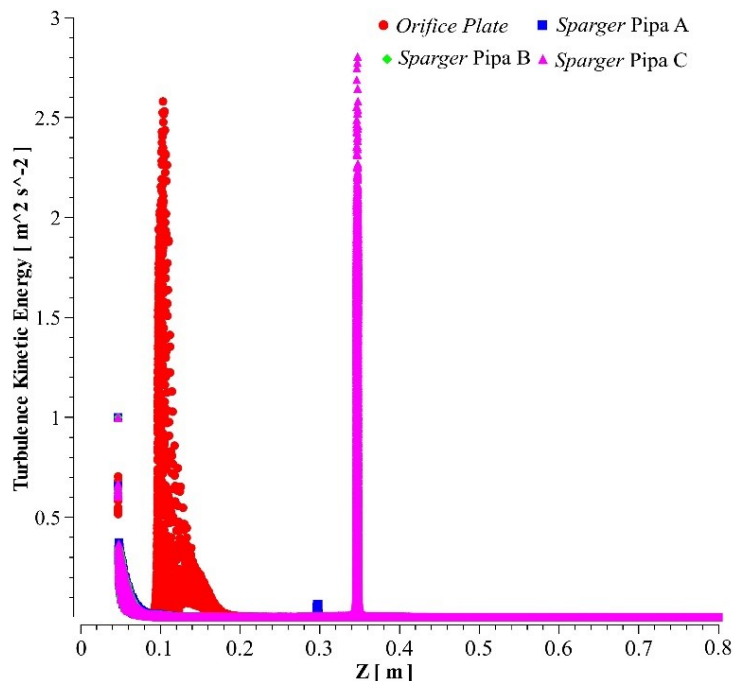
Gambar 8. Grafik tekanan pada tangki evaporator dengan pemasangan *orifice plate*, *sparger* pipa A, *sparger* pipa B dan *sparger* pipa C

3.4.3 Energi Kinetik Turbulen

Parameter energi kinetik turbulen dapat menggambarkan pusaran arus pada aliran turbulen dan berkaitan dengan terjadinya fluktuasi tekanan dan kecepatan serta transfer masa pada area *downstream*. Hal ini berkontribusi terhadap terjadinya aliran turbulen. Gambar 9 menunjukkan perbandingan kontur energi kinetik turbulen yang terjadi pada tangki evaporator dengan pemasangan *orifice plate*, *sparger* pipa A, *sparger* pipa B dan *sparger* pipa C. Kontur tersebut menampilkan energi kinetik turbulen sampai dengan $5 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}^2$. Berdasarkan warna yang terbentuk, energi kinetik turbulen tertinggi terjadi pada lubang *orifice* dan *sparger* kemudian menyebar sesuai dengan masing-masing lubang *orifice* dan *sparger* A, B, dan C. Energi kinetik turbulen pada Gambar 9 (d), menunjukkan aliran fluida memiliki energi kinetik turbulen yang lebih tinggi dan berlangsung hingga lubang *sparger* pipa C dibandingkan dengan pemasangan *orifice plate*, *sparger* pipa A dan *sparger* pipa B. Intensitas turbulen yang tinggi yang berlangsung disepanjang pipa inlet juga berhubungan dengan kecepatan aliran fluida yang tinggi pada pipa tersebut. Hal serupa juga dikemukakan oleh Ochowiak *et al.* (2021) pada aliran fluida melalui sebuah saluran berbentuk kerucut.



Gambar 9. Kontur energi kinetik turbulen pada tangki evaporator dengan pemasangan *orifice plate* (a), *sparger* pipa A (b), *sparger* pipa B (c) dan *sparger* pipa C (d)



Gambar 10. Grafik energi kinetik turbulen pada tangki evaporator dengan pemasangan *orifice plate*, *sparger pipa A*, *sparger pipa B* dan *sparger pipa C*

Gambar 10 menunjukkan grafik energi kinetik turbulen pada tangki evaporator dengan pemasangan *orifice plate*, *sparger pipa A*, *sparger pipa B* dan *sparger pipa C* dimana sebaran energi kinetik turbulen ditampilkan mulai dari *inlet* di posisi 0 m sampai posisi 0,8 m sepanjang sumbu Z. Adapun energi kinetik turbulen maksimum yaitu 2,8 m^2/s^2 pada lubang *sparger pipa C* sedangkan energi kinetik turbulen maksimum pada *orifice plate* yaitu 2,6 m^2/s^2 . Pada grafik ini, setelah melewati *orifice plate* dan *sparger pipa* terlihat bahwa sebaran energi kinetik turbulen pada *sparger pipa C* lebih tinggi dibandingkan dengan pemasangan *orifice plate*, *sparger pipa A* dan *sparger pipa B*, hal ini sesuai dengan kontur energi kinetik turbulen yang terbentuk pada Gambar 9.

3.4.4 Analisis Aliran Turbulen pada Tangki Evaporator

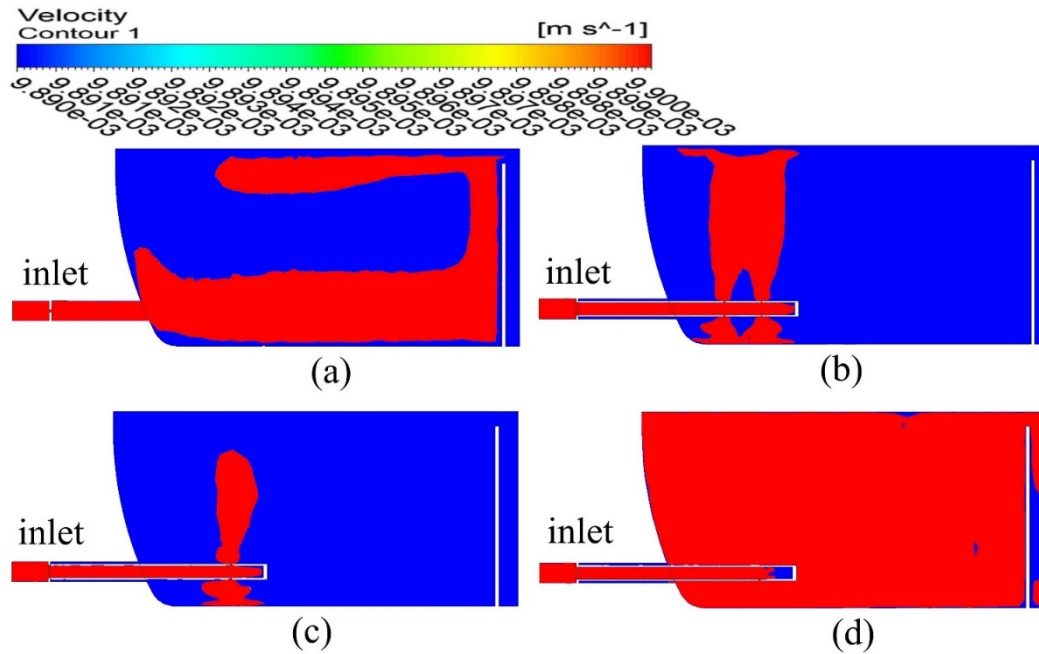
Aliran turbulen pada tangki evaporator dengan pemasangan *orifice plate* dan *sparger pipa* dapat dianalisis berdasarkan bilangan Reynolds dengan memasukkan data hasil simulasi CFD. Pada Tabel 2 dapat dilihat bilangan Reynolds yang diperoleh berdasarkan kecepatan maksimum fluida baik hasil simulasi CFD dengan pemasangan *orifice plate* maupun *sparger pipa*. Pada pengadukan skala laboratorium, bilangan Reynolds diperoleh sebesar 2532.2 pada putaran pengaduk 60 rpm.

Tabel 2 Kecepatan maksimum hasil simulasi dan bilangan Reynolds yang dihasilkan

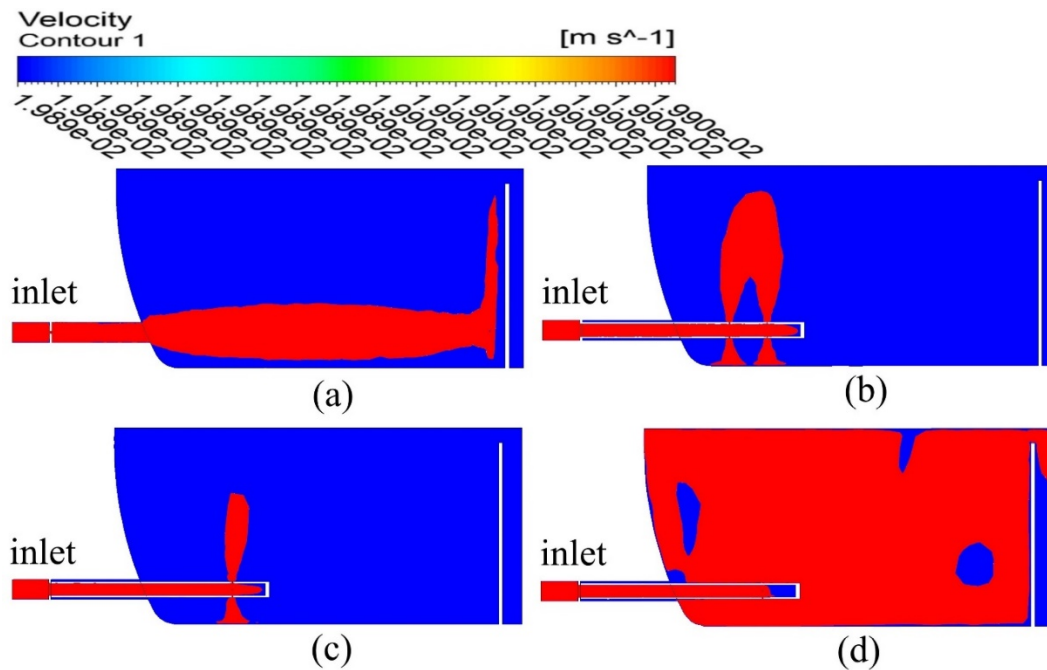
Evaporator Biodiesel	Kecepatan max fluida (m/s)	Reynolds Number
Pemasangan <i>orifice plate</i>	14.4	43756.20
Pemasangan <i>sparger</i> pipa A	1.24	622958.64
Pemasangan <i>sparger</i> pipa B	1.28	643054.08
Pemasangan <i>sparger</i> pipa C	20.08	10087910.88

Tabel 2 hanya menampilkan turbulensi pada titik tertentu saat tercapai kecepatan maksimum, sedangkan untuk mencari sebaran aliran turbulen pada tangki evaporator, dapat ditampilkan kontur sebaran kecepatan pada ANSYS Fluent dengan menentukan bilangan Reynolds mana yang akan ditampilkan. Pada penelitian ini sebaran kecepatan yang ditampilkan yaitu pada $Re=5000$, $Re=10000$, dan $Re=50000$, alasannya yaitu sebaran kecepatan pada $Re>50000$ semakin sedikit dan hanya pada lokasi *orifice plate* dan *sparger* pipa. Pada Gambar 11 dapat dilihat pada $Re=5000$, sebaran kecepatan pada tangki evaporator dengan pemasangan *sparger* pipa C lebih merata dibandingkan dengan pemasangan *orifice plate*, *sparger* pipa A dan *sparger* pipa B. Pada Gambar 12 dapat dilihat pada $Re=10000$, sebaran kecepatan pada tangki evaporator dengan pemasangan *sparger* pipa C lebih luas dibandingkan dengan pemasangan *orifice plate*, *sparger* pipa A dan *sparger* pipa B. Begitu juga pada $Re=50000$ yang ditunjukkan Gambar 13, sebaran kecepatan pada tangki evaporator dengan pemasangan *sparger* pipa C lebih luas dibandingkan dengan pemasangan *orifice plate*, *sparger* pipa A dan *sparger* pipa B.

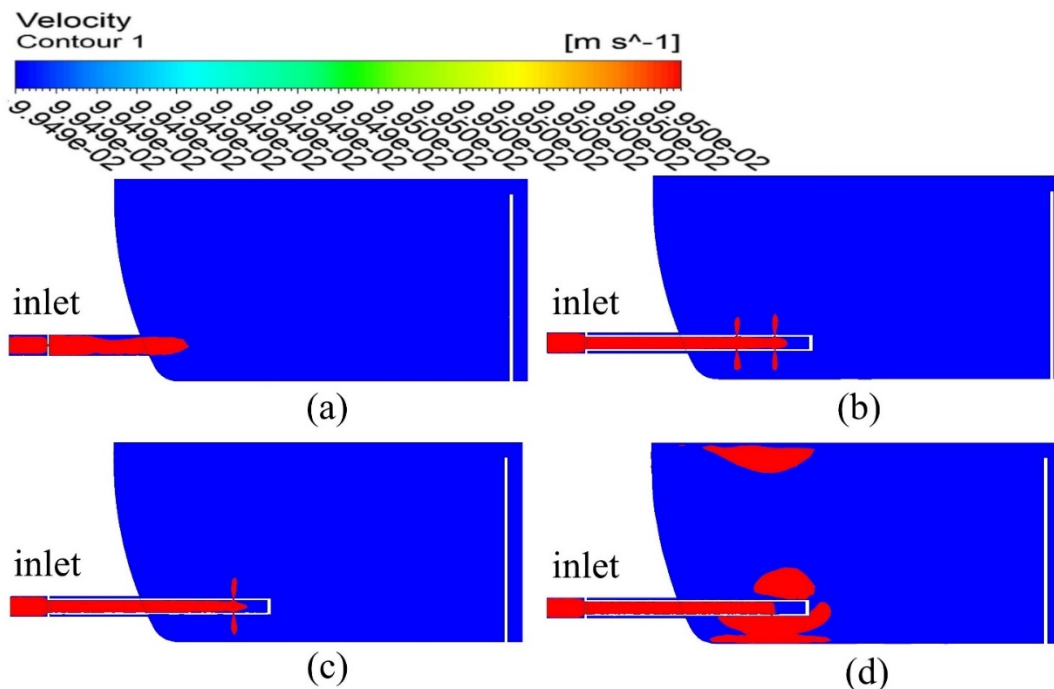
Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa tangki evaporator dengan pemasangan *sparger* pipa C merupakan yang paling optimal dalam menghasilkan aliran turbulen, sehingga berpotensi menurunkan kadar air lebih tinggi dibandingkan dengan pemasangan *orifice plate*, *sparger* pipa A dan *sparger* pipa B.



Gambar 11. Sebaran kecepatan 0,0099 m/s ($Re=5000$) pada tangki evaporator dengan pemasangan *orifice plate* (a), *sparger pipa A* (b), *sparger pipa B* (c) dan *sparger pipa C* (d)



Gambar 12. Sebaran kecepatan 0,0199 m/s ($Re=10000$) pada tangki evaporator dengan pemasangan *orifice plate* (a), *sparger pipa A* (b), *sparger pipa B* (c) dan *sparger pipa C* (d)



Gambar 13. Sebaran kecepatan 0,0995 m/s ($Re=50000$) pada tangki evaporator dengan pemasangan *orifice plate* (a), *sparger* pipa A (b), *sparger* pipa B (c) dan *sparger* pipa C (d)

4. Kesimpulan

Simulasi CFD yang dilakukan terhadap tangki evaporator yang dilengkapi *orifice plate* (1 lubang berdiameter 3 mm), *sparger* pipa A (4 lubang masing-masing berdiameter 1,5 mm dengan konfigurasi lubang sejajar pipa), *sparger* pipa B (4 lubang masing-masing berdiameter 1,5 mm dengan konfigurasi lubang mengelilingi diameter pipa) dan *sparger* pipa C (3 lubang masing-masing berdiameter 1,5 mm dengan konfigurasi lubang mengelilingi diameter pipa) menunjukkan bahwa tangki evaporator yang dilengkapi *sparger* pipa C merupakan yang paling optimal dalam menghasilkan aliran turbulen. Hal tersebut berdasarkan sebaran kecepatan yang ditampilkan pada $Re=5000$, $Re=10000$, dan $Re=50000$. Dengan demikian, tangki evaporator dengan pemasangan *sparger* pipa C berpotensi menurunkan kadar air lebih tinggi dibandingkan dengan pemasangan *orifice plate*, *sparger* pipa A dan *sparger* pipa B.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Laboratorium Teknologi Termodinamika, Motor, dan Propulsi yang telah memberi fasilitas *software* melalui E-Layanan Sains BRIN.

5. Daftar Pustaka

- Ahmed, S., Hassan, A., Zubair, R., Rashid, S., & Ullah, A. (2023). Design modification in an industrial multistage orifice to avoid cavitation using CFD simulation. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 104833. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jtice.2023.104833>
- ANSYS. (2013). *ANSYS Fluent Theory Guide, Release 15.0*. Ansys, Inc.
- Besagni, G., Gallazzini, L., & Inzoli, F. (2018). Effect of gas sparger design on bubble column hydrodynamics using pure and binary liquid phases. *Chemical Engineering Science*, 176, 116–126. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ces.2017.10.036>
- Bhandari, D., & Singh, S. (2012). Analysis of Fully Developed Turbulent Flow In A Pipe Using Computational Fluid Dynamics. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 1 (5), 1–8. www.ijert.org
- Dabirian, R., Mansouri, A., Mohan, R., & Shoham, O. (2015). CFD Simulation of Turbulent Flow Structure in Stratified Gas/Liquid Flow and Validation with Experimental Data. *Paper Presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition*. <https://doi.org/https://doi.org/10.2118/174964-MS>
- Dutta, P., & Nandi, N. (2015). Effect of Reynolds number and curvature ratio on single phase turbulent flow in pipe bends. *Mechanics and Mechanical Engineering*, 19(1), 5–16.
- EBTKE. (2022). *Standar Dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Nabati (Biofuel) Jenis Biodiesel Sebagai Bahan Bakar Lain Yang Dipasarkan Di Dalam Negeri D. EBTKE-ESDM Keputusan Dirjen EBTKE No.195.K/EK.05/DJE/2022 Jo. Keputusan Dirjen EBTKE No.207.K/EK.05/DJE/2022*.
- Gajbhiye, B. D., Kulkarni, H. A., Tiwari, S. S., & Mathpati, C. S. (2020). Teaching turbulent flow through pipe fittings using computational fluid dynamics approach. *Engineering Reports*, 2(1), e12093. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/eng2.12093>
- Gallego Marcos, I., Filich, L., Villanueva, W., & Kudinov, P. (2015). *Modelling of the Effects of Steam Injection through Spargers on Pool Thermal Stratification and Mixing*. NKS Report 347.
- Hariyadi, S. (2017). Simulasi Dinamika Aliran Turbulen Pada Flat Plate Boundary Layer Menggunakan Turbulent Model $k - \epsilon$ (Standard, Realizable, RNG). *Jurnal Teknologi Penerbangan*, 1(1), 1–11.
- Heryana, Y., Wulandani, D., & Supriyanto, S. (2022). Orifice Analysis in Biodiesel Reactor with Hydrodynamic Cavitation System using Computational Fluid Dynamics. *Jurnal Keteknik Pertanian*, 10(1), 85–94. <https://doi.org/10.19028/jtep.010.1.85-94>
- Hofman, V., & Solseng, E. (2004). *Spray Equipment and Calibration*. NDSU Extension Service, North Dakota State University of Agriculture and Applied Science, and U.S. Department of Agriculture cooperating.
- Hossain, R., Hasan, M. J., Azad, A. K., & Rahman, M. M. (2022). Numerical study of low Reynolds number effect on MHD mixed convection using CNT-oil nanofluid with radiation. *Results in Engineering*, 14, 100446. <https://doi.org/10.1016/J.RINENG.2022.100446>
- Knothe, G., & Razon, L. F. (2017). Biodiesel fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*, 58, 36–59. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.pecs.2016.08.001>

- Kulkarni, A. V, Roy, S. S., & Joshi, J. B. (2007). Pressure and flow distribution in pipe and ring spargers: Experimental measurements and CFD simulation. *Chemical Engineering Journal*, 133(1), 173–186. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.03.011>
- Mulvany, N. J., Chen, L., Tu, J. Y., & Anderson, Brendon. (2004). Steady-State Evaluation of Two-Equation RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes) Turbulence Models for High-Reynolds Number Hydrodynamic Flow Simulations. *DSTO Platform Sciences Laboratory*.
- Ochowiak, M., Janecki, D., Krupińska, A., Włodarczak, S., Wilk, T., & Olszewski, R. (2021). Conical two-phase swirl flow atomizers—numerical and experimental study. *Energies*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/en14061745>
- Pamungkas, A., Solikhah, M. D., Pratiwi, F. T., Romelan, Matheofani, & Wirawan, S. S. (2023). Investigation of Biodiesel Stability under Vacuum Heating Process. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1187(1), 012017. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1187/1/012017>
- Pourtousi, M., Ganesan, P., Sandaran, S. C., & Sahu, J. N. (2016). Effect of ring sparger diameters on hydrodynamics in bubble column: A numerical investigation. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 69, 14–24. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.10.006>
- Talageri, A. M., & Nagaraj Sitaram, D. C. (2021). A Comparative Study on Multistage Orifice Assembly with Experimental and CFD Analysis. *In Nat Conf on Cost Effec Civ Prac Rural Urb Infrs Dev*, 7(1), 2456–6667.
- Wang, X., Grishchenko, D., & Kudinov, P. (2023). Simulation of jets induced by steam injection through multi-hole sparger using effective heat and momentum models. *Nuclear Engineering and Design*, 405, 112222. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2023.112222>