

Simulasi Reaktor Elektrokoagulasi *Plate Column* Berpengaduk Secara Kontinu Berbasis CFD Pada Pengolahan Limbah Cair Kelapa Sawit

Tika Amelisa*, Idral Amri, Sunarno

Program Studi Magister Teknik Kimia, Universitas Riau, Pekanbaru 28293, Indonesia

ARTICLE HISTORY

Received : 12-01-2025

Accepted : 21-03-2025

Published : 24-03-2025

KEYWORDS

Electrocoagulation

CFD

Flow rate

Distance between electrode plates

*Correspondence author:

Email: amelisatika@gmail.com



ABSTRACT

Palm oil mill effluent continues to increase in line with the increase in palm oil production in Indonesia. Therefore, another alternative technology is needed such as the continuous stirred plate column electrocoagulation. Many laboratory scale studies have been carried out. CFD simulation is used as an advanced technology in treating palm oil mill effluent. The objective for this study is to obtain optimum equipment design conditions for an electrocoagulation reactor using CFD, see the phenomena that occur due to the influence of flow rate variables and electrode distance, and see the trajectory of the solution profile in the reactor. This study was done based on Software Ansys Fluent Version 16.2 64 program with the k-ε standard turbulence model. After doing pre-processing, solving and post-processing steps in simulation, then the result of this simulation is analyzed. The simulation results obtained were optimal conditions at a flow rate of 0.4 L/min and a plate distance of 2 cm with consecutive residence time values of 2.77; 4.0; and 3.88 hours. In the variation in the influence of flow rate, it can be seen that the phenomenon that the faster the flow rate, the greater the turbulence. In the variation of electrode distance, it can be seen that the phenomenon of electrode distance affects the level of turbulence in the reactor, too far a distance can cause the flow to be too slow. The latter is that the CFD model can accurately predict the trajectory of the solution profile in the stirred plate column electrocoagulation reactor.

1. PENDAHULUAN

Industri minyak sawit di Indonesia dari tahun ke tahun cenderung mengalami peningkatan, berdasarkan data terbaru dari Badan Pusat Statistik (BPS) dalam publikasi statistik kelapa sawit Indonesia 2022, industri minyak sawit di Indonesia terus menunjukkan peningkatan hingga tahun 2022. Pada tahun 2022 luas areal perkebunan kelapa sawit mencapai 16,38 juta hektar, meningkat dibandingkan tahun 2021 yang sebesar 16,36 juta hektar. Produksi minyak sawit (CPO) pada tahun 2022 mencapai 46,73 juta ton, jika dibandingkan dengan tahun-tahun sebelumnya, produksi tahun 2022 masih tergolong tinggi.

Proses ekstraksi minyak sawit menghasilkan limbah berupa serabut, cangkang, tandan kosong sawit (TKS), dan *Palm Oil Mill Effluent* (POME). Hanya POME yang secara komersial tidak digunakan kembali oleh industri, sementara serabut dan cangkang dibakar di dalam boiler menghasilkan uap untuk listrik, dan TKS sebagai pupuk pada penanaman sawit. Dalam hal ini muncullah problem bagi negara Indonesia, yakni meningkatnya jumlah limbah cair hasil dari pengolahan minyak kelapa sawit. Membuang POME langsung ke sungai adalah pelanggaran karena dapat menimbulkan akibat yang merugikan. Melalui Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014, pemerintah mengatur tingkat kandungan yang diperbolehkan dalam POME yang telah diolah untuk dibuang langsung ke sungai oleh pabrik (Rahayu, 2015).

Terdapat beberapa metode proses pengolahan limbah cair seperti koagulasi, flotasi elektrokimia dan elektrokoagulasi, dibandingkan dari beberapa metode tersebut, metode elektrokoagulasi merupakan metode yang paling sederhana dan ramah lingkungan karena pada dasarnya proses pengolahan limbah cair menggunakan metode elektrokoagulasi membutuhkan waktu relatif lebih singkat dibandingkan dengan metode lainnya dalam mengolah limbah cair. Penerapan metode elektrokoagulasi sebagai teknologi pengolahan limbah cair telah banyak dilakukan dan terbukti mampu untuk menetralkan polutan-polutan yang terkandung di dalam limbah cair tersebut (Mollah dkk., 2008).

Telah banyak dilakukan penelitian laboratorium pada metode elektrokoagulasi dan terbukti mampu menetralkan polutan-polutan yang terkandung dalam limbah cair, namun penelitian laboratorium memiliki keterbatasan dalam hal visualisasi aliran, dimana sulit untuk mengamati secara langsung bagaimana aliran fluida dan proses elektrokoagulasi berlangsung di dalam reaktor. *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dapat mengatasi keterbatasan tersebut, dimana CFD memungkinkan simulasi dan visualisasi aliran fluida dan proses elektrokoagulasi di dalam reaktor, memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang fenomena yang terjadi.

Pada penelitian ini dilakukan simulasi dengan menggunakan CFD untuk mendapatkan kondisi optimum desain peralatan suatu reaktor elektrokoagulasi *plate column* berpengaduk secara kontinu dengan bantuan komputer yang menggunakan (CFD). Melihat fenomena yang terjadi pada pengaruh variabel laju alir (0,4; 0,7; dan 1,2 liter/menit) dan variabel jarak elektroda (1; 2; dan 3 cm) terhadap hasil percobaan. Menentukan *trajectory* profil larutan di dalam reaktor elektrokoagulasi *plate column* berpengaduk secara kontinu.

1.1 Pengertian Elektrokoagulasi

Menurut Mollah (2008), elektrokoagulasi adalah proses kompleks yang melibatkan fenomena kimia dan fisika dengan menggunakan elektroda untuk menghasilkan ion koagulan yang digunakan untuk mengolah air limbah. Koagulasi dapat diperoleh dengan cara kimia maupun listrik. Koagulasi kimiawi sekarang ini menjadi kurang diminati karena biaya pengolahan yang tinggi, menghasilkan volume lumpur yang besar, pengelompokan logam hidroksida sebagai limbah berbahaya, dan biaya untuk bahan kimia yang membantu koagulasi.

Pada penelitian laboratorium, untuk setiap variasi geometri yang diteliti, model fisik harus dibuat terlebih dahulu. Kemudian dilakukan percobaan untuk pengukuran data. Untuk mendapatkan dimensi fisik geometri yang baik, metode eksperimen laboratorium memerlukan waktu dan biaya yang tidak sedikit. Metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD) merupakan alat bantu yang sangat berguna dalam merancang geometri. Metode CFD lebih efisien, cepat dan lebih hemat biaya dibandingkan eksperimen laboratorium. Sehingga pemodelan dengan metode CFD menjadi cara yang paling cocok untuk mendapatkan desain yang optimal dan hasil yang lebih baik. CFD merupakan salah satu sarana yang dapat digunakan dalam menganalisa fenomena pola aliran fluida, sebagai contoh fenomena yang terjadi sekitar kehidupan manusia (Indrawati, 2017).

1.2 Computation Fluid Dynamics (CFD)

Computation Fluid Dynamic (CFD) merupakan metode analisa sistem yang digunakan untuk memprediksi aliran fluida, perpindahan panas dan massa, reaksi kimia, dan fenomena

terkait dengan menyelesaikan serangkaian persamaan matematika yang mengatur secara numerik: kekekalan massa, momentum, energi, dan massa spesies. CFD digunakan dalam mekanika fluida untuk memecahkan dan menganalisis masalah yang melibatkan aliran fluida melalui numerik dan algoritma dengan perkiraan penyelesaian persamaan diferensial parsial yang mengatur aliran. Penggunaan CFD harus menunjukkan letak kesalahan dan ketidakpastian yang terjadi pada hasil analisa agar memiliki hasil prediksi yang baik (Mrope dkk. 2021).

2. METODE.

2.1 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Software Ansys Fluent* Version 16.2 64, Laptop HP 8GB RAM. Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu *liquid* berupa POME dengan *properties*: Densitas ($950\text{-}980\text{ kg/m}^3$) dan Viskositas (2-10 cP).

2.2 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan Simulasi (CFD) yang menggunakan *ansys fluent* dimana simulasi dilakukan adalah secara *steady state*. Prosedur simulasi menggunakan tiga tahap yaitu *pre-processing*, *solver*, dan *post-processing*.

Pada tahapan *Pre-Processing* dilakukan proses pembuatan geometri domain simulasi dari reaktor elektrokoagulasi berpengaduk sesuai alat yang telah ada di laboratorium yaitu: dimensi reaktor (panjang, lebar dan tinggi), dimensi pengaduk (panjang, lebar, jarak dan diameter) dan dimensi *plate* (panjang, lebar, tebal dan jarak). Kemudian dilakukan diskritisasi domain menjadi sel-sel (*meshing*) dengan *type meshing* (*Poly-Hexa Core*) dan *Cell Size* (*Minimum cell* = 0,000586 dan *Maximum cell* = 0,018752).

Pada tahap *Solver* dilakukan setup simulasi CFD *Ansys* yaitu *generals* (*default setting*), *materials* ($\eta = 2\text{ cP}$ dan $\rho = 980\text{ kg/m}^3$), *models* (K- ϵ). Selanjutnya dilakukan setup variabel CFD *Ansys* yaitu *boundary conditions* (1,2; 0,7; 0,4 L/menit), *Cell zone conditions* (3; 2; dan 1 cm). Kemudian melakukan *initialization* dengan *number of iteration* (10000). Kemudian dilakukan *running* dan evaluasi konvergensi.

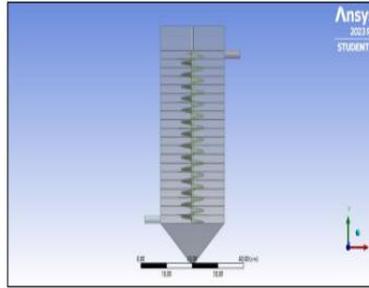
Pada tahap *post-processing* diperoleh hasil simulasi berupa data gambar, data numerik, atau titik-titik yang telah sesuai bidang pengamatan kemudian dilakukan analisis terhadap hasil simulasi dengan membandingkan terhadap hasil percobaan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Geometri dan *Meshing* Reaktor Elektrokoagulasi *Plate Column* Berpengaduk

3.1.1 Geometri Reaktor Elektrokoagulasi *Plate Column* Berpengaduk

Geometri dari reaktor elektrokoagulasi *plate column* berpengaduk yang telah dirancang menggunakan *software Ansys Fluent* Version 16.2 64 disesuaikan dengan ukuran geometri model reaktor elektrokoagulasi *plate column* berpengaduk yang berada di laboratorium, dapat dilihat pada Gambar 3.1 dibawah ini.



Gambar 3.1 Geometri Menggunakan *Software Ansys Fluent*

3.1.2 Meshing Reaktor Elektrokoagulasi Plate Column Berpengaduk

Meshing dari reaktor elektrokoagulasi *plate column* berpengaduk yang telah dirancang menggunakan *software Ansys Fluent* Version 16.2 64 dapat dilihat pada Gambar 3.2 dibawah ini.

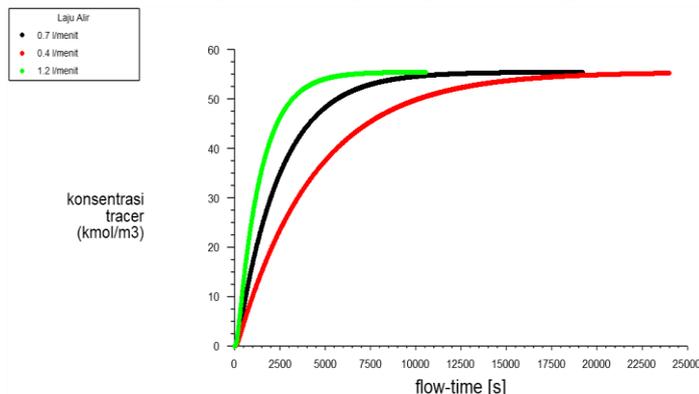


Gambar 3.2 *Meshing* Tampak Depan

Secara umum semakin kecil ukuran *mesh* akan menghasilkan hasil komputasi yang lebih detail dan akurat, namun akan menambah jumlah elemennya, sehingga akan membutuhkan *effort* komputasi yang lebih tinggi.

3.2 Kondisi Optimum Desain Peralatan Reaktor Elektrokoagulasi *Plate Column* Berpengaduk Dengan Bantuan Komputer Yang Menggunakan (CFD).

Pada simulasi tahap awal diatur dengan variasi laju alir 0,4; 0,7; dan 1,2 L/menit dengan jarak *plate* 3 cm dan kecepatan pengadukan 366 RPM. Pada simulasi ini, kondisi optimum perbandingan pengaruh laju alir dapat dilihat pada grafik sebagai berikut:



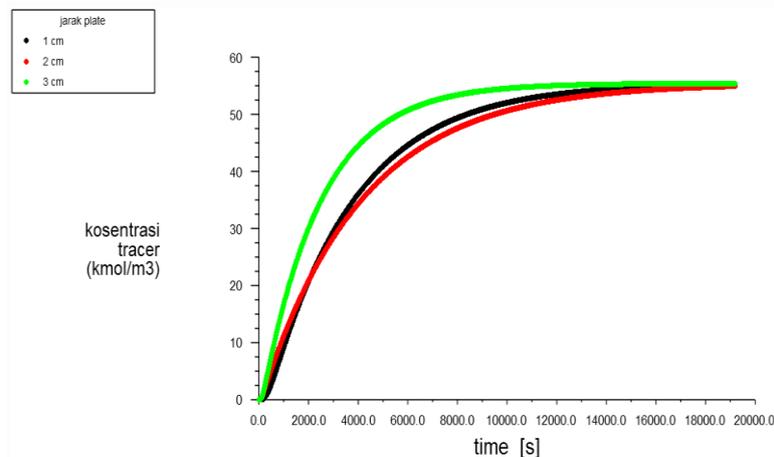
Gambar 3.3 Grafik Kondisi Optimum Pada Perbandingan Pengaruh Laju Alir (1,2; 0,7; dan 0,4 L/menit) dengan jarak *plate* (3 cm)

Berdasarkan Gambar 3.3 di atas dapat dilakukan analisis dimana grafik menampilkan hubungan antara konsentrasi *tracer* (kmol/m^3) dan *flow-time* (s). Pada laju alir 0,4 L/menit, konsentrasi *tracer* mencapai nilai stabil atau *steady state* setelah waktu sekitar 10.000 detik atau sekitar 2,77 jam. Pada laju alir 0,7 L/menit, konsentrasi *tracer* mencapai nilai stabil atau *steady state* setelah waktu sekitar 7.000 detik atau sekitar 1,94 jam. Pada laju alir 1,2 L/menit, konsentrasi *tracer* mencapai nilai stabil atau *steady state* setelah waktu sekitar 5.000 detik atau sekitar 1,38 jam.

Jadi berdasarkan grafik diatas dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi laju alir semakin cepat waktu yang dibutuhkan untuk mencapai konsentrasi stabil di *outlet*. Hal tersebut disebabkan oleh laju alir yang mempengaruhi pergerakan atau lintasan fluida. Semakin tinggi laju alir, waktu yang dibutuhkan fluida untuk melewati reaktor elektrokoagulasi *plate colum* berpengaduk akan semakin singkat. Sebaliknya jika laju alir semakin rendah waktu yang dibutuhkan fluida untuk melewati reaktor elektrokoagulasi *plate colum* berpengaduk akan meningkat.

Menurut Nauman (2008), Laju alir merupakan volume fluida yang mengalir per satuan waktu. Hubungan laju alir dan waktu tinggal berbanding terbalik, yaitu semakin tinggi laju alir, semakin cepat fluida melewati reaktor, sehingga waktu tinggalnya semakin kecil. Sebaliknya, laju alir yang rendah berarti fluida bergerak lebih lambat dan memiliki waktu tinggal yang lebih lama.

Selanjutnya dilakukan simulasi pada laju alir 0,4 L/menit dengan variasi jarak antara *plate* 1; 2; dan 3 cm dengan kecepatan pengadukan 366 RPM. Pada simulasi ini kondisi optimum perbandingan pengaruh jarak antara *plate* dapat dilihat pada grafik sebagai berikut:



Gambar 3.4 Grafik Kondisi Optimum Perbandingan Pengaruh Jarak Antara *Plate* (3 cm; 2 cm; dan 1 cm) dan Laju Alir (0,4 L/menit)

Berdasarkan grafik 3.4 diatas, dapat dilakukan analisis dimana grafik menampilkan hubungan antara konsentrasi *tracer* (kmol/m^3) dan waktu (s). Pada jarak *plate* 1 cm, konsentrasi *tracer* mencapai nilai stabil atau *steady state* setelah waktu sekitar 14.000 detik atau sekitar 3,88 jam. Pada jarak *plate* 2 cm, konsentrasi *tracer* mencapai nilai stabil atau *steady state* setelah waktu sekitar 14.500 detik atau sekitar 4 jam. Pada jarak *plate* 3 cm, konsentrasi *tracer* mencapai nilai stabil atau *steady state* setelah waktu sekitar 10.000 detik atau sekitar 2,77 jam.

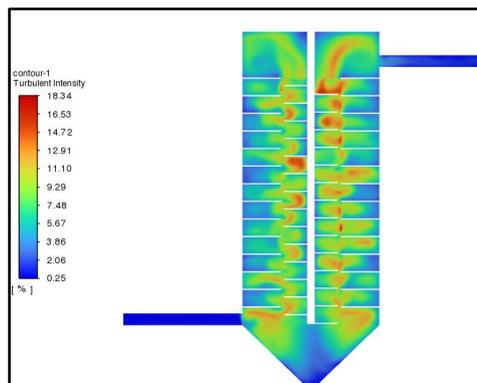
Jadi berdasarkan grafik diatas terlihat bahwa pada jarak plate 3 cm yaitu pada kurva hijau menunjukkan kenaikan konsentrasi *tracer* yang lebih lambat dibandingkan dengan jarak *plate* 1 cm dan 2 cm. Hal ini menunjukkan bahwa semakin jauh jarak antar *plate*, semakin lambat proses pencampuran, interaksi antara elektroda dan fluida, sehingga efisiensi proses elektrokoagulasi berkurang. Hal ini disebabkan oleh penurunan luas permukaan elektroda yang efektif dan penurunan intensitas medan listrik di antara *plate*, sehingga proses pencampuran dan interaksi antara elektroda dan fluida menjadi kurang efisien.

3.3 Fenomena Yang Terjadi Pada Pengaruh Variabel Laju Alir Dan Jarak Elektroda

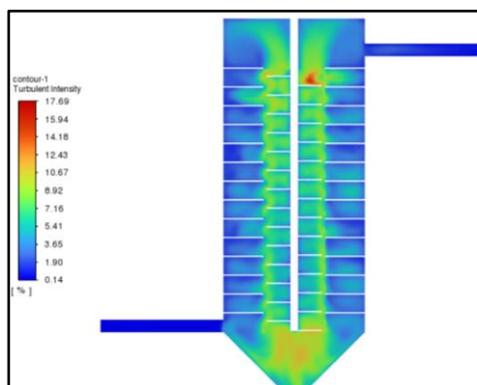
Pada simulasi ini fenomena yang terjadi pada pengaruh variabel laju alir dan jarak antara elektroda dapat kita amati berdasarkan fenomena intensitas turbulen. Dimana menurut (Mouedhen dkk, 2008) turbulensi membantu mencampurkan ion logam yang dihasilkan dari elektroda dengan air secara merata. Pencampuran yang baik akan memastikan bahwa semua partikel koloid memiliki kesempatan yang sama untuk bereaksi dengan ion logam.

3.3.1 Fenomena Yang Terjadi Pada Pengaruh Variabel Laju Alir

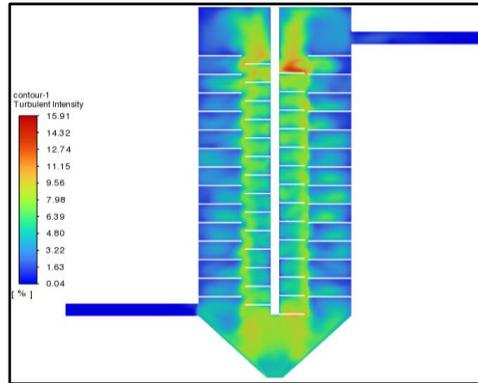
Fenomena variasi laju alir (1,2; 0,7; dan 0,4 L/menit), dengan jarak *plate* tetap (3 cm) terhadap intensitas turbulen dapat dilihat dengan membandingkan skala warna dan angka pada ketiga gambar, kita dapat melihat dengan jelas bagaimana fenomena dan pengaruh skala warna dan angka yang terjadi pada ketiga gambar terhadap laju alir di dalam reaktor elektrokoagulasi. Fenomena-fenomena tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.5, 3.6 dan 3.7 dibawah ini:



Gambar 3.5 Intensitas Turbulen Dengan Laju Alir 1,2 L/Menit Jarak *Plate* 3 Cm



Gambar 3.6 Intensitas Turbulen Dengan Laju Alir 0,7 L/Menit Jarak *Plate* 3 Cm



Gambar 3.7 Intensitas Turbulen Dengan Laju Alir 0,4 L/Menit Jarak *Plate* 3 Cm

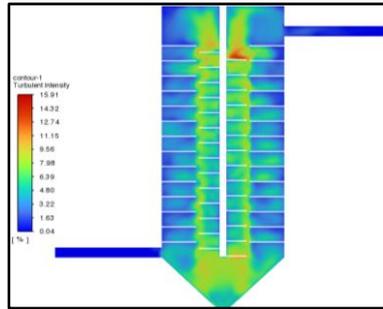
Pada gambar 3.5 dengan laju alir 1,2 L/menit terlihat terjadinya turbulensi tinggi. Aliran fluida tampak sangat turbulen, terlihat dari dominasi warna kuning dan orange. Terlihat banyak pusaran dan pergolakan aliran yang terjadi di sekitar pengaduk dan *plate column* yang dekat dengan pengaduk. Pada gambar 3.6 dengan laju alir 0,7 L/menit terlihat turbulensi sedang, tingkat turbulensi pada laju alir ini lebih rendah dibandingkan dengan laju alir 1,2 L/menit, terlihat dari dominasi warna kuning dan biru, turbulensi cenderung terkonsentrasi di sekitar pengaduk. Pada gambar 3.7 dengan laju alir 0,4 L/menit terlihat turbulensi pada laju alir ini lebih rendah, pada laju alir terendah aliran fluida tampak lebih sedikit turbulensi yang terlihat dari dominasi warna kuning dan biru, distribusi turbulensi terbatas hanya terjadi pada daerah-daerah yang sangat dekat dengan pengaduk.

Gambar 3.5, 3.6 dan 3.7 diatas, juga menampilkan angka yang diperoleh pada nilai intensitas turbulen berturut-turut yaitu 18,34 %, 17,69% dan 15,91%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa semakin besar laju alir maka akan menghasilkan nilai intensitas turbulen yang semakin tinggi, dan semakin kecil laju alir akan menghasilkan nilai intensitas turbulen yang rendah.

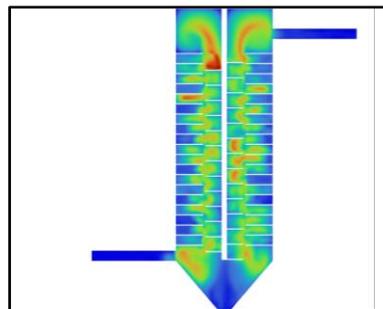
Menurut Kim dkk (2010), mengatakan bahwa adanya korelasi positif antara laju alir dan intensitas turbulensi. Intensitas turbulensi meningkat seiring dengan peningkatan laju alir, hal ini berarti bahwa pada laju alir yang lebih tinggi, fluida dalam tangki berpengaduk akan mengalami gerakan yang lebih acak dan tidak teratur. Model CFD dapat memprediksi dengan akurat pengaruh laju alir terhadap intensitas turbulensi. Ini menunjukkan bahwa CFD dapat menjadi alat yang berguna untuk merancang dan mengoptimalkan proses pencampuran dalam tangki berpengaduk.

3.3.2 Fenomena Yang Terjadi Pada Pengaruh Variabel *Jarak Plate*

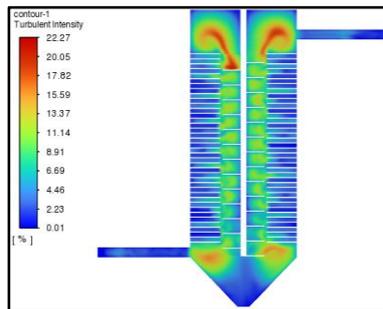
Fenomena variasi jarak antara *plate* (3; 2; dan 1 cm) dengan laju alir tetap (0,4 L/menit) terhadap intensitas turbulen dapat dilihat dengan membandingkan skala warna dan angka pada ketiga gambar (Gambar 3.8, 3.9 dan 3.10).



Gambar 3.8 Intensitas Turbulen Dengan Laju Alir 0,4 L/Menit Jarak *Plate* 3 Cm



Gambar 3.9 Intensitas Turbulen Dengan Laju Alir 0,4 L/Menit Jarak *Plate* 2 Cm



Gambar 3.10 Intensitas Turbulen Dengan Laju Alir 0,4 L/Menit Dan Jarak *Plate* 1 Cm

Gambar-gambar simulasi CFD menunjukkan dengan jelas bagaimana penurunan jarak antar *plate* menyebabkan peningkatan intensitas turbulen. Jika dilihat berdasarkan skala warna pada gambar 3.8 dengan jarak *plate* 3 cm terlihat aliran cenderung lebih laminar dengan turbulensi yang relatif rendah. Hal ini terlihat dari dominasi warna kuning dan biru. Distribusi turbulensi terbatas hanya terjadi pada daerah-daerah yang sangat dekat dengan pengaduk.

Pada gambar 3.9 dengan jarak *plate* 2 cm terlihat ketika jarak *plate* dikurangi menjadi 2 cm, turbulensi meningkat secara signifikan dan tidak beraturan. Hal ini terlihat dari munculnya lebih banyak daerah dengan warna merah dan orange yang menunjukkan intensitas turbulen yang tinggi. Distribusi turbulensi terjadi pada daerah-daerah yang berada disekitar pengaduk. Pada gambar 3.10 dengan jarak *plate* 1 cm terlihat turbulensi meningkat dan menjadi merata. Hal ini terlihat dari munculnya lebih banyak daerah dengan warna merah dan orange yang merata hampir di seluruh reaktor. Distribusi turbulensi yang tinggi terlihat pada pengaduk, daerah-daerah yang dekat dengan pengaduk dan pada setiap *plate* yang menunjukkan intensitas turbulen yang tinggi.

Jika dilihat berdasarkan skala angka menampilkan angka yang diperoleh pada nilai intensitas turbulen berturut turut yaitu 15,91%, 19,85% dan 22,27%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa semakin besar jarak antara *plate* maka akan menghasilkan nilai intensitas turbulen yang semakin rendah, dan semakin kecil jarak antara *plate* maka akan menghasilkan nilai intensitas turbulen yang semakin tinggi.

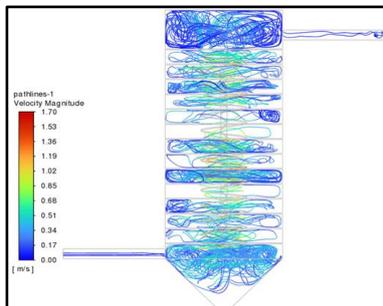
Menurut Purwaningsih (2008), Semakin jauh jarak antara elektroda, maka hambatan akan semakin besar, dengan demikian arus yang mengalir akan semakin kecil.

3.4 Trajectory Profil Larutan Di Dalam Column

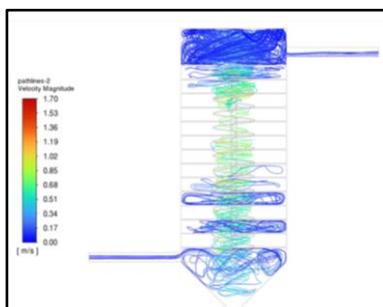
Trajectory Profil Larutan Di Dalam Column dapat kita lihat dari Profil fenomena berdasarkan *vector* dan *velocity magnitude*. *Vector* merupakan arah lintasan fluida pada reaktor elektrokoagulasi *plate column*, dimana fluida yang bergerak di dalam reaktor dapat dilihat arah dan pergerakannya, sementara *velocity magnitude* memberikan informasi tentang besaran kecepatan tanpa memperhitungkan arah pergerakannya dimana warna pada *vector* menunjukkan besar aliran fluida yang terjadi didalam reaktor.

3.4.1 Trajectory Profil Larutan Di Dalam Reaktor Elektrokoagulasi Plate Column Pada Pengaruh Variabel Laju Alir

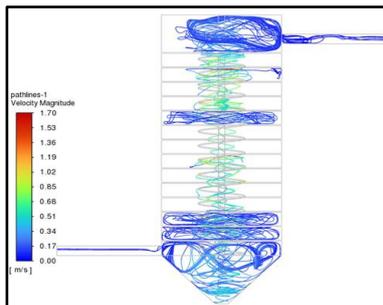
Dengan mengatur laju alir 0,4; 0,7; dan 1,2 L/menit, kita dapat mengetahui bagaimana arah pergerakan dan warna pada *vector* fluida yang bergerak di dalam reaktor yang menunjukkan besar aliran fluida yang terjadi didalam reaktor yang dapat kita lihat pada Gambar 3.11, 3.12 dan 3.13 berikut:



Gambar 3.11 Vector laju alir 1,2 L/menit dan jarak *plate* 3 cm



Gambar 3.12 Vector laju alir 0,7 L/menit dan jarak *plate* 3 cm



Gambar 3.13 Vector laju alir 0,4 L/menit dan jarak *plate* 3 cm

Dari Gambar 3.11 hingga 3.13 menampilkan *vector* sekaligus *velocity magnitude* yang berbeda-beda terutama pada bagian pengaduk (*impeller*) reaktor elektrokoagulasi *plate column*, untuk *vector* menyediakan informasi tentang arah partikel, sementara *velocity magnitude* memberikan informasi tentang besaran kecepatan tanpa memperhitungkan arah gerakan.

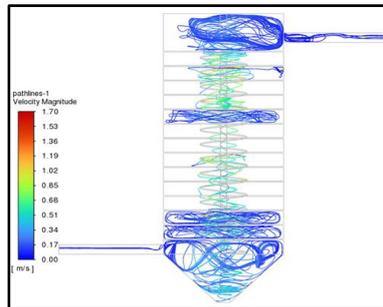
Pada Gambar 3.11 dengan laju alir 1,2 L/menit kita dapat melihat arah partikel (*vector*), dimana terlihat pergerakan atau lintasan fluida yang acak dan tidak beraturan hampir di seluruh bagian reaktor, dan di bagian *impeller* terlihat pergerakan atau lintasan fluida yang lebih cepat yang ditandai dengan *vector* yang dominan berwarna kuning dan orange, yang menunjukkan bahwa nilai besaran kecepatan fluida yang lebih tinggi terjadi di wilayah tersebut. Pada Gambar 3.12 dengan laju alir 0,7 L/menit kita dapat melihat arah partikel (*vector*), dimana terlihat pergerakan atau lintasan fluida yang tidak merata, dan di bagian *impeller* terjadi pergerakan atau lintasan fluida yang lebih cepat yang ditandai dengan *vector* yang dominan berwarna hijau yang menunjukkan bahwa nilai besaran kecepatan fluida yang lebih tinggi hanya terjadi di wilayah tersebut dan memiliki kecepatan fluida yang lebih rendah jika dibandingkan dengan laju alir 1,2 L/menit. Pada Gambar 3.13 kita dapat melihat arah partikel (*vector*), dimana terlihat pergerakan atau lintasan fluida yang tidak merata, serta di bagian *impeller* terdapat *vector* yang dominan berwarna hijau, yang menunjukkan bahwa nilai besaran kecepatan fluida yang lebih tinggi hanya terjadi di wilayah yang sangat dekat dengan *impeller*. Jika dibandingkan dengan laju alir 1,2; dan 0,7 L/menit, terlihat pergerakan atau lintasan fluida yang lebih lambat terjadi pada laju alir 0,4 L/menit, dengan perkiraan nilai *velocity magnitude* berturut-turut pada ketiga gambar dengan perbedaan laju alir tersebut adalah sekitar 1,02; 0,85; dan 0,68 m/s.

Path length (Panjang lintasan partikel) dalam aliran fluida dipengaruhi oleh laju alir fluida dan karakteristik aliran tersebut. Panjang lintasan partikel dapat digambarkan sebagai jarak total yang ditempuh oleh partikel dari titik awal hingga titik akhir dalam aliran (Cengel, 014).

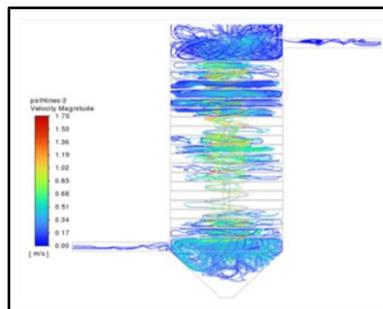
3.4.2 Trajectory Profil Larutan Di Dalam Reaktor Elektrokoagulasi *Plate Column* Pada Pengaruh Variabel Jarak Antara *Plate*

Patline ini menggambarkan lintasan aliran yang terbentuk selama proses aliran fluida dari *inlet* menuju *outlet*. Dengan gambaran lintasan ini dapat mengetahui pergerakan fluida *inlet* menuju keluar dari sistem proses. Dengan mengatur jarak *plate* 1; 2; dan 3 cm, kita dapat mengetahui bagaimana arah pergerakan dan warna pada *vector* fluida yang bergerak di dalam

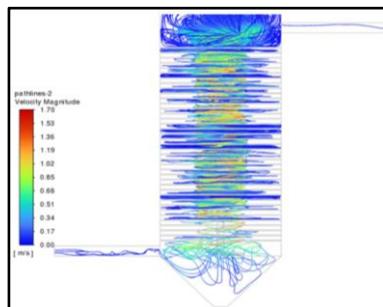
reaktor yang menunjukkan besar aliran fluida yang terjadi didalam reaktor yang dapat kita lihat pada Gambar 3.14, 3.15 dan 3.16 dibawah ini:



Gambar 3.14 Vector laju alir 0,4 L/menit dan jarak *plate* 3 cm



Gambar 3.15 Vector laju alir 0,4 L/menit dan jarak *plate* 2 cm



Gambar 3.16 Vector laju alir 0,4 L/menit dan jarak *plate* 1 cm

Pada Gambar 3.14 dengan jarak *plate* 3 cm kita dapat melihat arah partikel (*vector*), dimana terlihat pergerakan atau lintasan fluida yang tidak merata, serta di bagian *impeller* terdapat *vector* yang dominan berwarna hijau, yang menunjukkan bahwa nilai besaran kecepatan fluida yang lebih tinggi hanya terjadi di wilayah tersebut. Pada Gambar 3.15 dengan jarak *plate* 2 cm kita dapat melihat arah partikel (*vector*), dimana terlihat pergerakan atau lintasan fluida yang lebih cepat dan tidak beraturan, pergerakan fluida terlihat tidak merata pada seluruh column dan pada bagian *impeller* terdapat *vector* yang dominan berwarna kuning yang menunjukkan bahwa nilai besaran kecepatan fluida yang lebih tinggi hanya terjadi di wilayah tersebut. Pada Gambar 3.16 dengan jarak *plate* 1 cm terlihat pergerakan fluida yang merata dan lebih beraturan yang terkonsentrasi pada setiap *plate* dan *impeller*, dimana di bagian *impeller* terdapat *vector* yang dominan berwarna orange yang menunjukkan bahwa nilai

besaran kecepatan fluida yang lebih tinggi terjadi di wilayah tersebut. Dengan perkiraan nilai *velocity magnitude* pada ketiga perbedaan jarak *plate* tersebut secara berturut-turut adalah 0,68 m/s, 1,19 m/s dan 1,36 m/s.

Jauh dekatnya jarak antar elektroda maka akan berpengaruh terhadap besar kecilnya hambatan elektrolit. Jika jarak antar elektroda makin jauh maka hambatan akan semakin besar pula, akibatnya arus yang mengalir semakin kecil. Purwaningsih (2008) mengatakan semakin jauh jarak antar elektroda, maka hambatan akan semakin besar, dengan demikian arus yang mengalir semakin kecil.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan mengenai simulasi reaktor elektrokoagulasi *plate column* berpengaduk secara kontinu berbasis CFD, dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada variasi pengaruh laju alir 1,2; 0,7; dan 0,4 L/Menit ditetapkan hasil optimal adalah pada laju alir 0,4 L/menit dengan nilai waktu tinggal berturut-turut 1,38; 1,94; dan 2,77 jam. Pada variasi jarak elektroda 3; 2; dan 1 cm ditetapkan hasil optimal adalah pada jarak *plate* 2 cm dengan nilai waktu tinggal berturut turut adalah 2,77; 4; dan 3,88 jam
2. Pada variasi pengaruh laju alir terlihat fenomena semakin cepat laju alir maka turbulensi semakin besar. Pada variasi jarak elektroda terlihat fenomena bahwa jarak elektroda dapat mempengaruhi tingkat turbulensi dalam reaktor jarak yang terlalu jauh bisa menyebabkan aliran menjadi terlalu lambat.
3. Model CFD dapat memprediksi dengan akurat *trajectory* profil larutan di dalam reaktor elektrokoagulasi *plate column* berpengaduk. Ini menunjukkan bahwa CFD dapat menjadi alat yang berguna untuk merancang dan mengoptimalkan proses pencampuran dalam reaktor elektrokoagulasi *plate column* berpengaduk.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik Indonesia. (2022). *Statistik Kelapa Sawit Indonesia Tahun 2022*. Jakarta
- Mollah, M. Y. A. (2008). Fundamental Present and Future Perspectives of Electrocoagulation. *Journal of Hazardous Materials*. B114, 199-210.
- Nauman, E. B. (2008). Residence Time Distributions in Continuous Flow Systems. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 47(10), 3752-3766.
- Purwaningsih, I. 2008. Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Cv. Batik Indah Raradjonggrang Yogyakarta Dengan Metode Elektrokoagulasi Ditinjau Dari Parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan Warna. *Skripsi*. Universitas Islam Indonesia: Yogyakarta.
- Rahayu, A.S., Karsiwulan D., Yuwono, H., Trisnawati, I., Mulyasari, S., Rahardjo, S., Hokermin, S., & Paramita, V. (2015). *Buku Panduan Konversi POME Menjadi Biogas Pengembangan Proyek di Indonesia*. USAID dan Winrock International.
- Togatorop, & Rusmey. (2009). Korelasi Antara Biological Oxygen Demand (BOD) Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Terhadap pH, Total suspended Solid (TSS), Alkaliniti dan minyak/lemak. *Tesis*. Universitas Sumatera Utara.

- Versteeg, H.K., & W Malalasekera. (2007). *An Introduction to 2nd Edition*. Pearson Education Limited.
- Hu, B., Zhang, X., Wang, Z., Wang, Z., & Ji, Y. (2021). Hydraulic characteristics, residence time distribution, and flow field of electrochemical descaling reactor using CFD. *Processes*, 9(11), 1896.
- Wang, Y., Xu, Z., Wang, X., Li, J., & Liu, H. (2021). Hydraulic Characteristics, Residence Time Distribution, and Flow Field of Electrochemical Descaling Reactor Using CFD. *Water*, 13(14), 1970. <https://doi.org/10.3390/w13141970>.
- Wong, Y. S., Mohd, O. A. B. K., & Teng, T. T. (2013). Biological Kinetics Evaluation of Anaerobic Stabilization Pond Treatment of Palm Oil Mill Effluent. *Bioresource Technology*, 100, 4969-4975.