

Waktu Pencampuran Simulasi Dinamis Cairan Komputasi dari Tangki Pengaduk Masuk Samping

Nadia Mumtazah¹, Ainurazis Ramadhana Putraninghadi², Ni'am Nisbatul Fathonah³, Sugeng Winardi⁴

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Email: swinardi@chem-eng.its.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui waktu pencampuran tangki *mixer side-entry* dan pengaruh kecepatan putar baling-baling terhadap waktu pencampuran dengan metode Computational Fluid Dynamic (CFD). Model tangki adalah tangki silinder dasar datar berdiameter 40 cm dengan baling-baling 6 cm berisi tiga bilah. Tracer, HCL 37%, diinjeksikan ke permukaan air dengan kecepatan putaran baling-baling divariasikan 100 rpm, 200 rpm, 300 rpm, dan 400 rpm. Proses simulasi diperiksa menggunakan CFD FLUENT 17.1, dengan model turbulensi k- ϵ RNG. Kondisinya adalah fase tunggal kemudian dilanjutkan dengan menggunakan transportasi spesies. Selanjutnya, simulasi titik pemantauan identik dengan probe pemantauan data eksperimen, yang digunakan untuk memeriksa fraksi massa di setiap titik. Bagaimanapun, simulasi ini mengandung tiga proses: pra-pemrosesan, penyelesaian, dan pasca-pemrosesan. akibatnya, kecepatan putaran baling-baling yang lebih tinggi membuat waktu pencampuran lebih pendek dalam metode CFD, yang sesuai dengan metode eksperimental. Selain itu, penelitian ini juga mengkaji dampak dari jenis grid dan ukuran geometrik untuk proses pencampuran di tangki mixer side-entry.

Keyword : Homogenitas, Waktu Pencampuran, Baling-Baling, *Side Entry*

ABSTRACT

This study aims to investigate the mixing time of the side-entry mixer tank and the influence of the propeller's rotational speed on mixing time by the Computational Fluid Dynamic (CFD) method. The tank's model is a flat-bottom cylinder tank whose diameter is 40 cm with a 6 cm propeller contains three blades. The tracer, HCL 37%, was injected on the water's surface while the propeller's rotation speed is varied 100 rpm, 200 rpm, 300 rpm, and 400 rpm. The simulation process is examined using CFD FLUENT 17.1, with a turbulence model is k- ϵ RNG. Its conditions are single-phase then proceeded using species transport. Furthermore, the monitoring point's simulation is identical to the experimental data monitoring probe, which is used to inspect the mass fraction at each point. After all, this simulation contains three processes: pre-processing, solving, and post-processing. as a result, the propeller's higher rotational speed makes the mixing time shorter in the CFD method, which has a good agreement with the experimental method. Moreover, this study also examines the impact of the grid's type and the geometric size for the mixing process in the side-entry mixer tank.

Keywords: CFD, Homogeneity, Mixing Time, Propeller, Side Entry

PENDAHULUAN

Saat ini, banyak industri menggunakan teknik pencampuran yang berbeda dalam prosesnya untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Namun, banyak hal dalam proses pencampuran yang perlu diperhatikan untuk mendapatkan hasil pencampuran yang terbaik. Oleh karena itu, banyak peneliti telah mempelajari perilaku pencampuran cairan di berbagai bidang industri seperti reaktor aerobik[1], tangki minyak mentah [2], mixer polimer[3] dan lain-lain. Untuk mempelajari fenomena pencampuran, peneliti mengamatinya dengan berbagai cara, seperti penelitian eksperimental pada skala laboratorium[4, 5]. Banyak studi eksperimental yang dilakukan untuk melihat kondisi sebenarnya dalam fluida selama proses pencampuran. Echeverria et. al[4], mengamati

Waktu Pencampuran Simulasi Dinamis Cairan Komputasi dari Tangki Pengaduk Masuk Samping / Nadia Mumtazah, Ainurazis Ramadhana Putraninghadi, Ni'am Nisbatul Fathonah, Sugeng Winardi

Peer reviewed under responsibility of Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

© 2021 Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. All Right reserved. This is an open access article under the CC BY licence (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

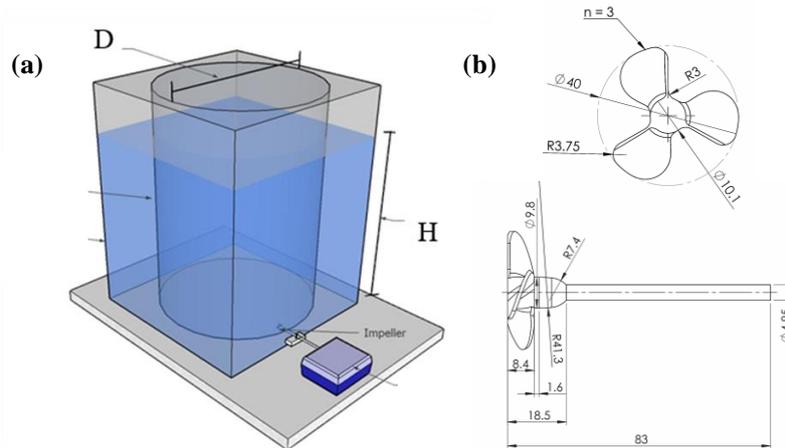
fenomena pencampuran dua cairan reologi yang berbeda dalam silinder mixer menggunakan velocimetry gambar partikel untuk memvisualisasikan aliran. Studi mereka menunjukkan bahwa viskositas dan posisi impeller akan mempengaruhi kinerja pencampuran. Ricard dkk. al[5], mempelajari kinerja yang berbeda antara mixer sisi-masuk dan mixer masuk-atas menggunakan probe konduktivitas untuk menentukan waktu pencampuran. Berdasarkan kajiannya, posisi agitator yang merupakan side entry mixer memiliki unjuk kerja pencampuran yang lebih baik dibandingkan dengan top entry agitator yang terkenal. Selain posisi agitator, parameter lain dalam proses pencampuran akan mempengaruhi perilaku pencampuran, seperti sudut, elevasi, jumlah impeller, jenis fluida, dan lain-lain. Dengan demikian parameter lain perlu dipelajari lebih lanjut untuk mendapatkan kondisi pencampuran yang terbaik. Namun, metode eksperimental akan memakan biaya tinggi, tidak efektif, dan kurang dapat disesuaikan. Selanjutnya, metode eksperimental skala lab akan menyebabkan fenomena perbedaan yang tinggi dengan membandingkannya dengan aplikasi skala besar di industri. Untuk menghindari perbedaan besar antara itu, orang menggunakan eksperimen numerik untuk proses scaling-up. Saat ini, metode numerik atau simulasi adalah pilihan terbaik untuk mengamati setiap fenomena pencampuran secara detail dengan biaya dan efisiensi yang lebih rendah. Banyak penelitian menggunakan metode numerik atau simulasi[6-12] untuk memprediksi lebih akurat pada berbagai skala dengan parameter yang dapat disesuaikan. Dalam makalah ini, kecepatan putaran diferensial impeller dan ukurannya diamati untuk memahami pengaruh parameter ini dalam fenomena pencampuran menggunakan simulasi CFD. Selanjutnya ditemukan bahwa model memiliki kesesuaian yang baik dengan data eksperimen[13], sehingga model yang digunakan dalam penelitian ini valid dan dapat dikembangkan lebih lanjut menjadi skala besar untuk industri.

METODE

CFD Modeling

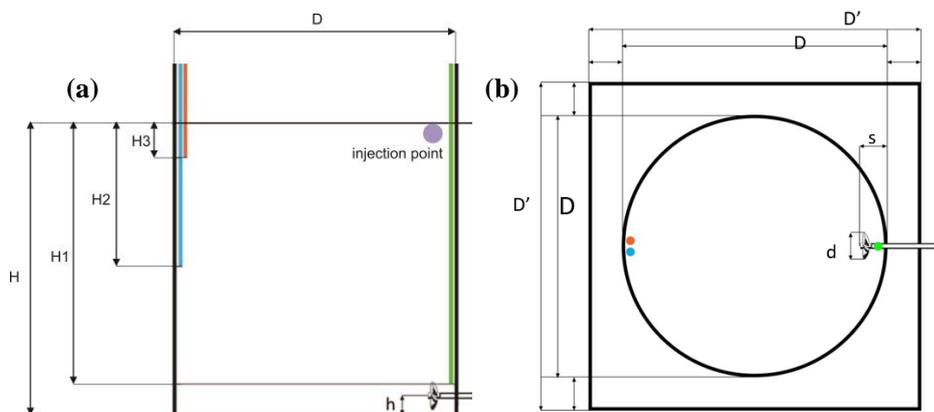
1.1 Observation System

Proses simulasi menggunakan software ANSYS® 17.1 Academic Package dengan user license milik Departemen Teknik Kimia ITS. Design Modeller® dilakukan untuk pemodelan geometrik untuk menentukan grid, sedangkan Meshing® dilakukan untuk jumlah node. Selain itu, FLUENT® digunakan untuk menghitung iterasi simulasi CFD. Sistem yang digunakan dalam penelitian ini adalah tangki berbentuk silinder datar dengan diameter, $d=60$ cm dan tinggi, $H=60$ cm dan side-entering mixer (SEM), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1a. Sistem ini menggunakan impeller tipe baling-baling aksial untuk memberikan daya dorong dalam tangki kecil, yang diameternya 4 cm. Bentuk baling-baling diperoleh dengan metode pemindaian 3D baling-baling untuk mencapai bentuk yang serupa seperti pada metode eksperimental. Menariknya, dapat meningkatkan akurasi hasil simulasi. Bentuk geometris baling-baling yang merupakan hasil pemindaian 3D ditunjukkan pada Gambar 1b.



Gambar 1 Sistem percobaan pada mixer sisi masuk, (a) tangki dan (b) implemer 6 cm

Gambar 2 Sistem yang digunakan memiliki dua jenis fluida: (1) air yang suhunya 32°C, massa jenisnya 998,2 kg/m³, dan viskositasnya 0,001003 kg/m.s. (2) HCl sebagai tracer partikel untuk melihat waktu pencampuran yang konsentrasinya 37%, temperatur 32°C, densitas 1180 kg/m³, dan viskositas 0,00168 kg/m.s. HCl dalam FLUENT® ditandai dengan penambalan, yang mendekati kondisi eksperimental. Selain itu, titik pengamatan atau probe pada tangki dengan side-entering mixer (SEM) dapat dilihat pada **Gambar 2a** untuk tampak samping dan **Gambar 2b** untuk tampak atas. Selanjutnya, dimensinya adalah D=60 cm, D'=70cm, H1/H=0.9, H2/H=0.5, H3/H=0.1, d/D=s/D=0.1



Gambar 3 Geometri tangki, impeller dan probe dari (a) tampak samping dan (b) tampak atas

1.2 Proses Simulasi

1.2.1 Pre-Processing (Independence Test)

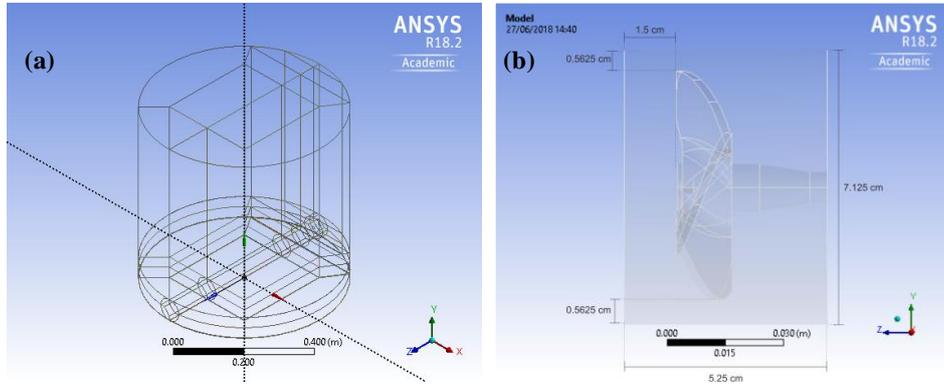
Model geometri dibuat menjadi dua zona yaitu zona diam dan zona bergerak. Zona diam dibagi menjadi beberapa bagian untuk memudahkan proses meshing, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3a, sedangkan zona bergerak disajikan pada Gambar 3b. Selanjutnya, uji grid independen dicapai dengan membuat tiga jenis grid. Setiap grid telah memenuhi persyaratan grid yang optimal sebelum dilakukan pengujian meshing, seperti parameter skewness dan orthogonal. Kemudian setiap grid akan diuji pada kondisi yang sama dan jumlah iterasi

Waktu Pencampuran Simulasi Dinamis Cairan Komputasi dari Tangki Pengaduk Masuk Samping / Nadia Mumtazah, Ainurazis Ramadhana Putraninghadi, Ni'am Nisbatul Fatonah, Sugeng Winardi

Peer reviewed under responsibility of Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

© 2021 Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. All Right reserved. This is an open access article under the CC BY licence (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

yang sama. Selanjutnya, kecepatan X dan Y diplot pada iterasi tertentu pada tiga titik pengamatan, titik 1 (0, 0,005, -0,005), titik 2 (-0,6, 0,3, 0,54), dan titik 3 (-0,29, 0,29, 0,29) Independensi Grid dicapai ketika hasilnya tidak berubah terlalu banyak dengan meningkatkan jumlah elemen grid. Tiga jenis grid telah dibuat dengan jumlah node dan elemen yang berbeda. Grid A, B, dan C, memiliki 315.003; 437.936; dan 531.195 jumlah elemen di zona statis dan 276.925; 392.813; dan 464.755 jumlah elemen di zona bergerak masing-masing. Selanjutnya zona gerak diatur agar dapat diputar dengan berbagai kecepatan putaran yaitu 200 rpm, 300 rpm, dan 400 rpm untuk pengamatan.



Gambar 4 4 Geometri (a) Zona Statis dan (b) Zona Bergerak Tangki

1.2.2 Pemecahan

Persamaan kontinuitas untuk fluida yang dapat dimampatkan pada aliran yang tidak stabil ditulis dalam persamaan (1),

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Persamaan momentum pada arah sumbu x, y, dan z (persamaan gerak) dimana untuk fluida Newtonian tak termampatkan dan konstanta dapat ditulis dalam bentuk persamaan Navier-Stokes (2), (3), dan (4).

$$\rho \left(\frac{\partial v_x}{\partial t} + V_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + V_z \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) = - \frac{\partial P}{\partial x} + \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right) + \rho G_x \quad (2)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v_y}{\partial t} + V_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + V_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + V_z \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) = - \frac{\partial P}{\partial y} + \left(\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2} \right) + \rho G_y \quad (3)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v_z}{\partial t} + V_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + V_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + V_z \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = - \frac{\partial P}{\partial z} + \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right) + \rho G_z \quad (4)$$

Salah satu dari pemodelan dua fase adalah model Transportasi Spesies. Model ini digunakan untuk fluida dengan kerapatan konstan dan aliran non-kompresibel. Solusi untuk persamaan ini adalah menghitung perpindahan lokal dan konsentrasi spesies. Penggunaan model ini dalam FLUENT adalah untuk memprediksi fraksi massa lokal masing-masing spesies, Y_i , dalam larutan melalui persamaan konveksi-difusi untuk spesies-i. Persamaan umum ada pada persamaan (5)

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho Y_i) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} Y_i) = - \nabla \cdot \vec{J}_i + R_i + S_i \quad (5)$$

Waktu Pencampuran Simulasi Dinamis Cairan Komputasi dari Tangki Pengaduk Masuk Samping / *Nadia Mumtazah, Ainurazis Ramadhana Putraninghadi, Ni'am Nisbatul Fatonah, Sugeng Winardi*

Peer reviewed under responsibility of Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

© 2021 Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. All Right reserved. This is an open access article under the CC BY licence (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Pada sistem ini fluida yang digunakan adalah fluida kompresibel dengan kecepatan rendah. Oleh karena itu solver yang digunakan adalah Pressure Based Solver. Fluida pada sistem ini memiliki nilai turbulensi yang tinggi, sehingga model viscous yang digunakan adalah K- ϵ RNG untuk meningkatkan akurasi. Model k - merupakan model semi empiris berdasarkan model persamaan transport untuk energi kinetik turbulen (k) dan laju disipasi (ϵ), yang dikembangkan oleh Launder & Spalding. Dalam model ini, diasumsikan bahwa aliran sepenuhnya turbulen, dan efek viskositas molekul dapat diabaikan. Persamaan energi kinetik turbulensi (k) dan laju disipasi (ϵ) terdapat pada persamaan (6) dan (7):

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k \mu_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \quad (6)$$

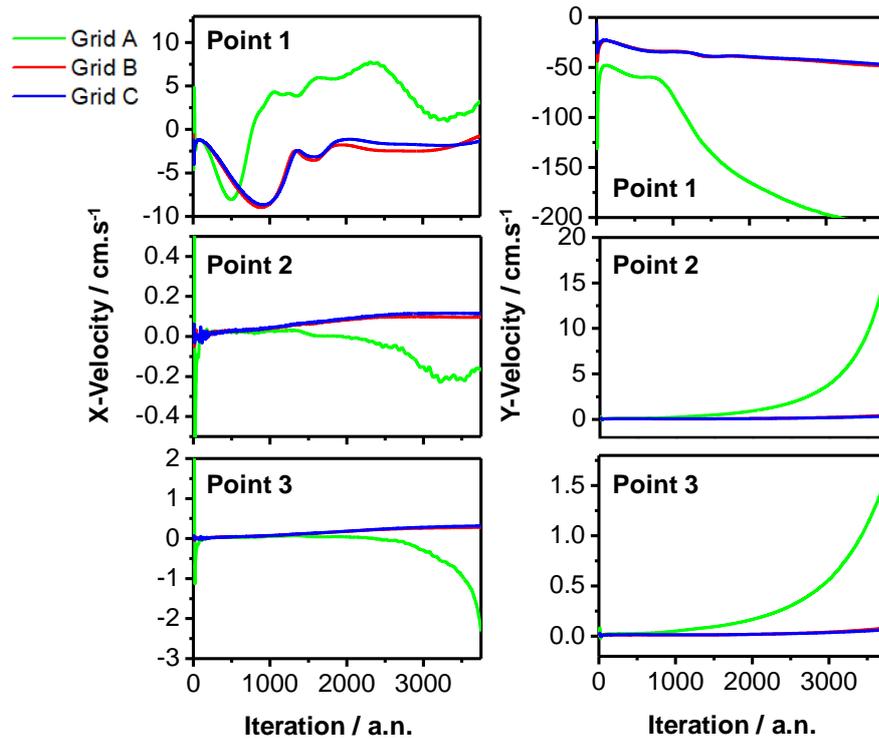
$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon \mu_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \quad (7)$$

Pada permukaan zat cair di bagian atas tidak memiliki nilai pengaruh geser, sehingga syarat batas pada permukaan zat cair digunakan secara simetris. Untuk cairan di dekat dinding tangki dan poros, kecepatannya sama dengan 0, sehingga digunakan kondisi tidak licin. Dalam sistem ini, bagian yang berputar adalah poros dengan baling-baling di zona bergerak berputar sesuai dengan kecepatan poros. Gerak pada poros adalah mutlak dengan kecepatan sesuai dengan variabelnya. Selain itu, baling-baling di zona bergerak relatif terhadap poros. Sistem ini menggunakan kondisi tunak dan goyah (sementara). Saat kondisi steady dan unsteady, sistem ini menggunakan Pressure Velocity Coupling yaitu SIMPLE, karena memiliki kecepatan yang tinggi untuk mencapai konvergensi. Grid yang digunakan adalah mesh polyhedral (heksagonal), sehingga pengaturan gradien yang digunakan adalah Least Squares Cell-Based karena akurat. Sistem ini juga menggunakan fase tunggal dan kondisi transportasi spesies. Selama kondisi tunak dan transien, aliran sistem bersifat kompresibel dan bukan merupakan media berpori atau multifase sehingga digunakan orde kedua pada tekanan larutan. Untuk persamaan momentum, diperlukan ketelitian yang tinggi sehingga digunakan setting upwind orde kedua karena iterasi 3 titik data sudah dihitung terlebih dahulu. Untuk persamaan fraksi volume, energi kinetik turbulen, dan laju disipasi turbulen, diinginkan untuk mencapai konvergensi dengan cepat, sehingga digunakan urutan pertama melawan angin. Dalam menentukan angka underrelaksasi, referensi dari penelitian sebelumnya digunakan [13]. Dari transisi dari fase tunggal ke transportasi spesies (transien), patch HCl dibuat sesuai dengan percobaan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1.3 Independence Test

Berdasarkan **Gambar 4**, Grid B dan Grid C memiliki pola yang sama pada arah kecepatan X dan Y, meskipun jumlah elemen grid B lebih sedikit dari grid C, sedangkan grid A memiliki pola yang sama sekali berbeda. Namun, grid C memiliki hasil yang paling akurat karena banyaknya elemen yang mewakili kondisi sebenarnya. Dengan jumlah grid yang lebih sedikit, grid B dapat secara akurat merepresentasikan situasi sebenarnya seperti grid C. Hasil kontras terjadi pada grid A, dimana polanya paling berbeda dari grid B dan grid C. Grid A memiliki elemen yang sangat sedikit, sehingga tidak dapat menginterpretasikan kondisi yang sebenarnya. Oleh karena itu, dalam studi waktu pencampuran ini, grid B diterapkan karena jumlah elemen tidak terlalu tinggi, tetapi dapat secara akurat menunjukkan hasil yang sama untuk mengoptimalkan waktu simulasi.



Gambar 5 Kecepatan-X dan kecepatan-Y pada berbagai grid untuk uji indenpendensi

1.4 Mixing Time

Waktu pencampuran adalah waktu yang diperlukan untuk mencapai homogenitas dalam sistem. Pada penelitian ini dilakukan simulasi untuk mendapatkan waktu pencampuran dengan metode simulasi CFD. Simulasi ini dilakukan dalam 2 keadaan: keadaan fase tunggal-mapan dan keadaan transpor spesies-transien. Keadaan tunak-fasa tunggal dikelola untuk mendapatkan pola aliran tunak, yang telah dilakukan pada percobaan pada penelitian sebelumnya [13]. Sementara itu, status transpor spesies transien dimulai ketika pelacak HCl ditambahkan ke dalam sistem dengan jumlah yang sama dengan percobaan. Status pertama adalah menghitung persamaan pola aliran, sedangkan status kedua hanya mempertimbangkan distribusi pelacak HCl. Selanjutnya, keadaan fase tunggal-tetap bertujuan untuk mempercepat konvergensi selama keadaan transpor spesies-transien.

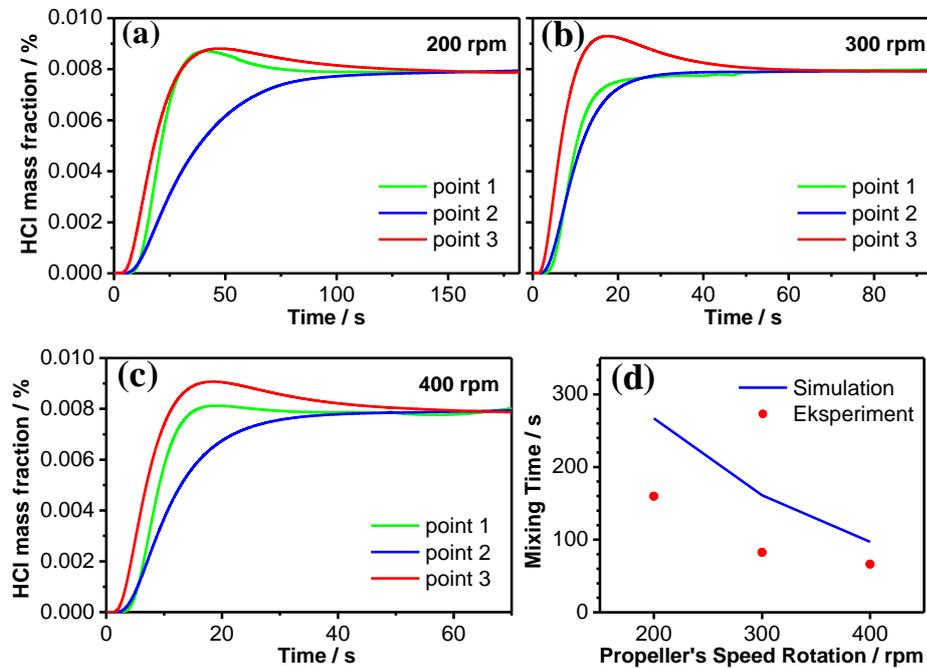
Konvergensi ditentukan berdasarkan karakteristik sebagai berikut: (1) Kontinuitas memiliki nilai residual kurang dari 0,00110; (2) Nilai konsumsi daya adalah konstan11; dan (3) Kecepatan ujung baling-baling memiliki nilai yang sama dengan kecepatan linier baling-baling. Seperti disebutkan, dalam tujuan keadaan fase tunggal-tetap, nilai sisa hasil kontinuitas berada di bawah 0,001 setelah mencapai 7.000; 5.420; dan 5.501 iterasi untuk kecepatan baling-baling 200, 300, dan 400 rpm masing-masing. Selain itu, nilai konsumsi daya pada keadaan fase tunggal tunak harus konstan. Nilai konsumsi daya sebanding dengan nilai torsi baling-baling. Selanjutnya, kecepatan ujung baling-baling dalam simulasi adalah 0,63; 0,95; dan 1,26 m/s, sedangkan pada percobaan adalah 0,63; 0,94; dan 1,26 m/s untuk masing-masing 200, 300 dan 400 rpm.

Waktu Pencampuran Simulasi Dinamis Cairan Komputasi dari Tangki Pengaduk Masuk Samping / *Nadia Mumtazah, Ainurazis Ramadhana Putraninghadi, Ni'am Nisbatul Fatonah, Sugeng Winardi*

Peer reviewed under responsibili of Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

© 2021 Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. All Right reserved. This is an open access article under the CC BY licence (<http://creativecommons.org/licences/by/4.0/>)

Pada keadaan transpor spesies transien, 33,75 mL HCl 37% disuntikkan, dan waktu pencampuran akan tercapai bila semua titik pengamatan atau probe memiliki fraksi massa yang konstan¹². Fraksi massa akhir HCl, secara teoritis adalah $7,4 \times 10^{-5}$. Perubahan fraksi massa tiga titik pengamatan atau probe dengan bertambahnya waktu dapat dilihat pada **Gambar 5**. Berdasarkan hasil simulasi, waktu pencampuran dicapai pada 159,6 s, 84,3 s, dan 61,9 s untuk putaran 200, 300, dan 400 rpm. Kecepatan putaran baling-baling. Menariknya, konsentrasi akhir HCl dalam tiga kasus adalah $6,9 \times 10^{-5}$; $6,9 \times 10^{-5}$; dan $6,8 \times 10^{-5}$, masing-masing. Perbedaan fraksi massa akhir antara hasil simulasi dan perhitungan teoritis disebabkan karena bagian tangki tidak terganggu (zona mati). Namun, zona mati dapat diabaikan karena sangat kecil jika dibandingkan dengan tangki penuh. Perbedaan ini dapat ditoleransi karena nilai errornya kurang dari 10%. Semakin tinggi kecepatan putaran baling-baling, waktu pencampuran akan tercapai lebih cepat. Fenomena ini disebabkan karena fluida cenderung mengalir dengan kecepatan rendah tanpa gerakan percabangan, dan lapisan fluida yang berdekatan cenderung bergeser satu sama lain. Sedangkan pada kecepatan yang lebih tinggi, fluida akan memiliki arah aliran yang lebih bercabang. Hal ini juga diikuti dengan pembentukan pusaran cairan, yang menyebabkan lebih seringnya kontak antar molekul. Pada akhirnya, waktu pencampuran dari proses simulasi dibandingkan dengan hasil percobaan dari penelitian sebelumnya [13] dan diplot pada Gambar 6. Kedua hasil menunjukkan bahwa putaran kecepatan baling-baling sebanding dengan waktu pencampuran.



Gambar 6 Fraksi masa HCl pada titik pengamatan untuk (a) 200, (b) 300, (c) 400 rpm, dan (d) Waktu pengadukan diperoleh dari simulasi dan percobaan menggunakan tangki pencampuran side-entry $D=60$ rpm.

1.5 Pola aliran fluida dan efek dari tipe grid

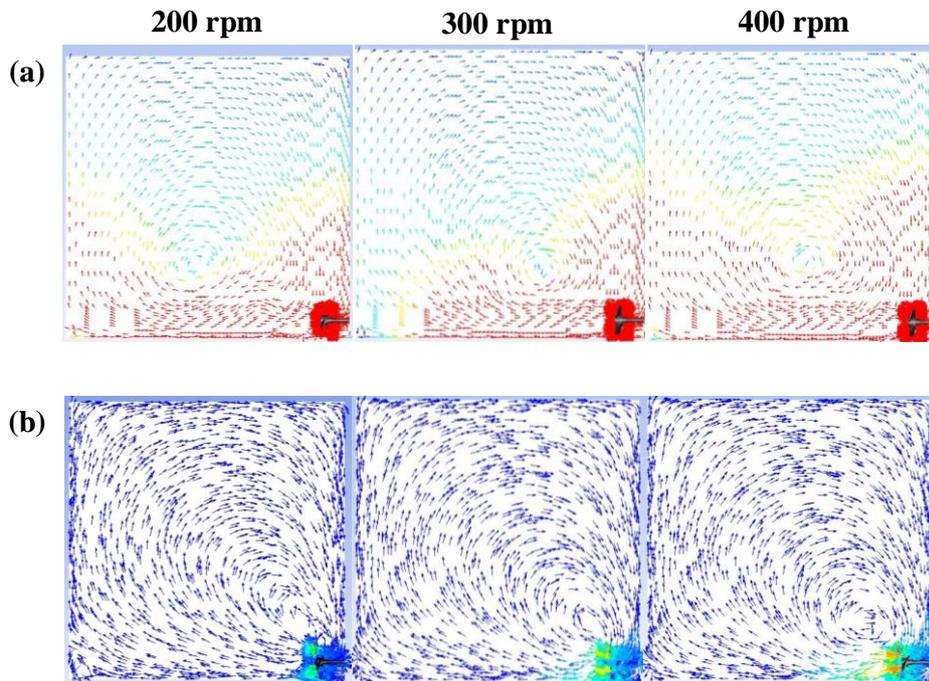
Selain menggunakan grid heksagonal, penelitian ini juga menangani grid tetrahedral pada meshing zona stasioner untuk mengetahui pengaruhnya. Grid tetrahedral dibuat dengan 674.722 elemen dan 971.752 node. Selanjutnya, baling-baling adalah jenis impeller yang menggerakkan fluida secara aksial. Artinya air akan bergerak menuju bagian depan baling-baling, yang disajikan pada **Gambar 6**. Pada kedua jenis grid tersebut

Waktu Pencampuran Simulasi Dinamis Cairan Komputasi dari Tangki Pengaduk Masuk Samping / *Nadia Mumtazah, Ainurazis Ramadhana Putraninghadi, Ni'am Nisbatul Fatonah, Sugeng Winardi*

Peer reviewed under responsibility of Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

© 2021 Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. All Right reserved. This is an open access article under the CC BY licence (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

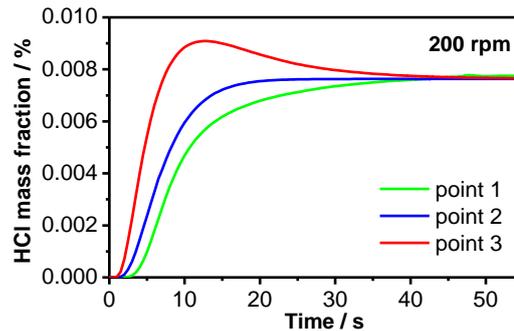
terlihat bahwa vektor kecepatan fluida menunjukkan pola aliran aksial. Adalah relevan bahwa baling-baling adalah jenis pengaduk yang digunakan untuk arah aksial. Aliran aliran meninggalkan baling-baling terus menerus melalui fluida dalam satu arah tertentu sampai dinding tangki atau bagian bawah membelokkannya. Pola aliran yang terjadi pada sistem ini adalah sirkulasi satu putaran. Setelah aliran debit mengalir langsung dari baling-baling melalui dasar tangki, ia menyebar dan naik ke permukaan cairan setelah mengenai dinding tangki. Aliran naik ke permukaan cairan akan kembali ke baling-baling. Sedangkan pada peningkatan kecepatan putar propeller terlihat bahwa lokasi aliran sirkulasi cenderung bergeser ke atas menuju ke tengah tangki. Selain itu, kedua jenis grid menunjukkan aliran balik yang cepat.



Gambar 7 Pola aliran fluida pada kecepatan putar propeller yang berbeda pada (a) grid tipe heksagonal dan (b) grid tipe tetragonal

1.6 Effect of Geometry's Size

Pada sistem tangki pencampur side-entry, banyak parameter yang dapat dipertimbangkan untuk mendapatkan hasil pencampuran yang maksimal. Pada penelitian ini diberikan perbandingan ukuran geometrik dari sistem yang identik, yaitu ukuran pengaduk dan ukuran tangki dengan perbandingan yang sama. Dalam pembentukan sistem baru, ukuran baling-baling berdiameter 4 cm (**Gambar 8**) dengan ukuran tangki $D = 40$ cm dan $H = 40$ cm. Selain itu, jumlah HCl yang diinjeksikan dalam tangki 40 cm juga diubah sesuai dengan sistem yang baru, menjadi 10 mL. Dengan setting simulasi yang sama dengan propeller 6 cm, hasil yang diperoleh menunjukkan waktu pencampuran yang berbeda yaitu 45,48 detik (**Gambar 7**). Hasil ini menunjukkan bahwa dengan geometri yang lebih kecil, kondisi homogen akan tercapai lebih cepat bahkan dengan geometri yang sama, kecepatan putaran baling-baling, dan fraksi tracer.



Gambar 8 Fraksi massa HCl pada titik pengamatan selama 200 rpm menggunakan tangki pencampur side-entry D=40 cm

KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah diteliti simulasi mixer tangki side-entry menggunakan CFD untuk mendapatkan waktu pencampuran dan fenomena selama proses pencampuran. Pertama, uji grid-independen dilakukan untuk mendapatkan grid yang paling optimal sebagai tahap pra-pemrosesan. Selain itu, penelitian ini menggunakan dua keadaan dalam proses simulasi waktu pencampuran yaitu steady-single dan transien-multi-phase, dengan variasi kecepatan putaran baling-baling, 200, 300, dan 400 rpm. Pendekatan ini dilakukan sesuai dengan set-up eksperimental dari studi sebelumnya. Ditemukan bahwa pencampuran memiliki nilai proporsional dengan kecepatan putaran baling-baling, dengan nilai kasar memiliki kesesuaian yang baik dengan hasil percobaan. Berbagai jenis grid dalam penelitian ini juga diselidiki lebih lanjut tentang pengaruhnya dalam hasil simulasi. Hasilnya menunjukkan bahwa grid heksagonal dan tetrahedral memiliki pola aliran fluida yang sama. Selain itu, penelitian ini juga menemukan pengaruh ukuran tangki dan geometri baling-baling dengan rasio dan kondisi yang identik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada ukuran geometri yang lebih kecil, fenomena pencampuran yang terjadi lebih efektif.

2 Acknowledgement

3 Nomenclature

$C_{1\epsilon} C_{2\epsilon} C_{3\epsilon}$	=	Constant
D	=	Diameter of cylindrical tank
D'	=	Diameter of outer rectangular tank
d	=	Diameter of impeller
G_b	=	Generation of turbulence kinetic energy due to buoyancy
G_i	=	Dissipation function
G_k	=	Generation of turbulence kinetic energy
H	=	Fluid height in tank

Waktu Pencampuran Simulasi Dinamis Cairan Komputasi dari Tangki Pengaduk Masuk Samping / *Nadia Mumtazah, Ainurazis Ramadhana Putraninghadi, Ni'am Nisbatul Fatonah, Sugeng Winardi*

Peer reviewed under responsibility of Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

© 2021 Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. All Right reserved. This is an open access article under the CC BY licence (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

J_i	=	Diffusion flux of species
k	=	Turbulence kinetic energy
R_i	=	Net rate of production of species by chemical reaction
s	=	Impeller distance to cylinder tank wall
S_i	=	Rate of creation by addition from the dispersed phase plus any-user defined sources
S_K, S_ϵ	=	User-defined source terms
t	=	Time
u, v, w	=	mean velocity components
V_i	=	velocity vector
x, y, z	=	Cartesian coordinate
Y_i	=	Local mass fraction
Y_M	=	Contribution of the fluctuating dilatation
ρ	=	Density
μ	=	Viscosity
$\Sigma_{K7} \sigma_\epsilon$	=	turbulent Prandtl numbers for k and ϵ

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wu, B., *CFD Analysis of Mechanical Mixing in Anaerobic Digesters*, Transactions of the ASABE, **52**(4), pp. 1371-1382, 2009.
- [2] Rahimi, M., *The effect of impellers layout on mixing time in a large-scale crude oil storage tank*, Journal of Petroleum Science and Engineering, **46**(3), pp. 161-170, 2005.
- [3] Shu, Z. et al., *Optimization Design and Analysis of Polymer High Efficiency Mixer in Offshore Oil Field*, Processes, **8**(1), pp.110-123, 2020.
- [4] Sossa-Echeverria, J. & Taghipour, F., *Mixing of Newtonian and Non-Newtonian Fluids in a Cylindrical Mixer Equipped with a Side-Entry Impeller*, Industrial & Engineering Chemistry Research, **51**(46), pp. 15258-15267, 2012.
- [5] Kehn, R. O., *Comparing Top Entry Versus Side Entry Agitator Performance in Low Viscosity Blending*, The Canadian Journal of Chemical Engineering, **89**(5), pp. 1059-1067, 2011.
- [6] Rahimi, M. & Parvareh, A., *Experimental and CFD investigation on mixing by a jet in a semi-industrial stirred tank*, Chemical Engineering Journal, **115**(1-2), pp. 85-92, 2005.
- [7] Madhania, S. et al., *Mixing Behaviour of Miscible Liquid-Liquid Multiphase Flow in Stirred Tank with Different Marine Propeller Installment by Computational Fluid Dynamics Method*, Chemical Engineering Transactions, **56**(1), pp. 1057-1062, 2017.

Waktu Pencampuran Simulasi Dinamis Cairan Komputasi dari Tangki Pengaduk Masuk Samping / Nadia Mumtazah, Ainurazis Ramadhana Putraninghadi, Ni'am Nisbatul Fatonah, Sugeng Winardi

Peer reviewed under responsibility of Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

© 2021 Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. All Right reserved. This is an open access article under the CC BY licence (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

-
- [8] Zughbi, H. D. & Rakib, M. A., *Mixing in a fluid jet agitated tank: effects of jet angle and elevation and number of jets*, Chemical Engineering Science, **59**(4), pp. 829-842, 2004.
- [9] Wasewar, K. L. and Sarathi, J. V., *CFD Modelling and Simulation of Jet Mixed Tanks*, Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, **2**(2), pp.155-171, 2014.
- [10] Kerdouss, F., *Two-phase mass transfer coefficient prediction in stirred vessel with a CFD model*, Computers & Chemical Engineering, **32**(8), pp. 1943-1955, 2008.
- [11] Alliet-Gaubert, M., *CFD analysis of industrial multi-staged stirred vessels*, Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, **45**(5), PP.415-427, 2006.
- [12] Al-Qaessi, F. and Abu-Farah, L., *Prediction of Mixing Time for Miscible Liquids by CFD Simulation in Semi-Batch and Batch Reactors*, Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, **3**(1), PP. 135-146, 2014.
- [13] Ristiansyah, N. N., dan Laksono, D. A. *Eksperimen Scale-Up Tangki Berpengaduk Samping dengan Propeller*, Undergraduate thesis, Chemical Engineering Dept., Sepuluh Nopember Institute of Technology, Surabaya, 2017.

Waktu Pencampuran Simulasi Dinamis Cairan Komputasi dari Tangki Pengaduk Masuk Samping / *Nadia Mumtazah, Ainurazis Ramadhana Putraninghadi, Ni'am Nisbatul Fatonah, Sugeng Winardi*

Peer reviewed under responsibility of Universitas Muhammadiyah Sidoarjo.

© 2021 Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. All Right reserved. This is an open access article under the CC BY licence (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)