

Pengaruh Jumlah Blade Impeller dan Kecepatan Putar Impeller Terhadap Pola Aliran dan Homogenitas Fluida Menggunakan Metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

Danawati Hari Prajitno^{*)}, Nindya Putri Aprilianda dan Irgi Wira Prayudha

Departemen Teknik Kimia Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Kampus ITS Sukolilo – Surabaya 60111, 031-5994251-54

^{*)} *Corresponding author:* itsa12@yahoo.com

Abstract

Mixing is a process that is often applied in industry to speed up the fluid mixing process due to mass and energy transfer. The application of the Side Entering Mixer (SEM) is still not optimal because there are several factors that can affect mixing, such as the number of blades and the rotational speed of the impeller which will affect the flow pattern and homogeneity of the fluid. Mixing processes that are less than optimal will affect product quality and waste energy. For this reason, it is necessary to carry out further studies regarding the effect of the number of impeller blades and impeller rotational speed on flow patterns and fluid homogeneity using the Computational Fluid Dynamics (CFD) method in ANSYS software. This study used 3 blade propellers and 4 blade propellers with impeller rotational speeds of 300, 350, 400, 450, and 500 rpm. The best results obtained were the use of a 4-blade propeller with a speed of 500 rpm because the resulting flow pattern is faster and there are fewer vortices, and fluid homogeneity will be quickly achieved. The existence of vortices in the mixing process is undesirable because it causes poor quality of the mixing process. There is an effort to avoid vortex by placing the stirred tank further to the edge and adding baffles to the tank wall.

Abstrak

Mixing merupakan proses yang sering diterapkan di industri untuk mempercepat proses pencampuran fluida karena terjadinya perpindahan massa dan energi. Pengaplikasian Side Entering Mixer (SEM) masih belum optimal karena terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi pengadukan, seperti jumlah blade dan kecepatan putar impeller yang akan mempengaruhi pola alir dan homogenitas fluida. Proses mixing yang kurang optimal akan mempengaruhi mutu produk dan pemborosan energi. Untuk itu perlu dilakukan studi lanjut mengenai pengaruh jumlah blade impeller dan kecepatan putar impeller terhadap pola aliran dan homogenitas fluida menggunakan metode Computational Fluid Dynamics (CFD) pada software ANSYS. Penelitian ini menggunakan 3 blade propeller dan 4 blade propeller dengan kecepatan putar impeller sebesar 300, 350, 400, 450, dan 500 rpm. Hasil terbaik yang didapatkan yaitu pada penggunaan 4-blade propeller dengan kecepatan 500 rpm karena pola alir yang dihasilkan semakin cepat dan vortex yang dihasilkan lebih sedikit, serta homogenitas fluida akan cepat tercapai. Adanya vortex dalam proses mixing tidak diinginkan karena menyebabkan buruknya kualitas proses mixing. Terdapat upaya untuk menghindari vortex yaitu dengan cara menempatkan tangki berpengaduk lebih ke tepi serta menambahkan baffle pada dinding tangki..

Kata kunci: *Ansys, CFD, Impeller, Mixing, SEM*

PENDAHULUAN

Proses *mixing* merupakan suatu proses yang memiliki peranan penting dalam suatu industri. Hampir seluruh industri menerapkan proses *mixing* baik pada zat cair dengan cair, cair dengan padat, ataupun padat dengan padat. Beberapa contoh industri yang menerapkan proses *mixing* pada proses pengolahannya yaitu seperti industri sabun, industri sirup, industri cat, industri pakan ternak, industri farmasi, dan lain sebagainya. Proses *mixing* merupakan suatu proses yang mencampurkan dua atau lebih zat yang nantinya didapatkan campuran yang homogen. Adanya proses *mixing* bertujuan agar mempercepat terjadinya pencampuran karena terjadi perpindahan massa dan energi baik disertai reaksi maupun tanpa reaksi, dapat mengurangi adanya perbedaan kondisi, suhu, atau sifat lain yang terdapat pada suatu bahan yang akan digunakan, serta dapat mencegah terjadinya pengendapan [1].

Proses *mixing* diterapkan dengan menggunakan suatu alat yaitu tangki berpengaduk. Prinsip kerja tangki berpengaduk yaitu energi mekanis dari motor yang memutar *shaft* impeller akan diubah menjadi energi kinetik aliran fluida dalam tangki berpengaduk. Energi kinetik yang dihasilkan dapat menyebabkan adanya sirkulasi aliran fluida pada ujung blade impeller sehingga terjadi proses pencampuran. Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi pengadukan seperti kecepatan putar impeller, jumlah blade pada impeller, jenis impeller, geometri tangki, jenis fluida, sifat fluida, letak atau posisi poros impeller [2].

Adanya sistem pengadukan yang mekanis, pemasangan impeller dapat dilakukan pada beberapa posisi yaitu pemasangan impeller dapat dilakukan dari atas, bawah, maupun samping. Impeller yang dipasang pada bagian samping sering digunakan pada tangki besar karena alirannya dapat mencapai semua bagian dari tangki. *Side Entering Mixer* (SEM) merupakan kondisi pengadukan dimana mixer masuk ke tangki atau *vessel* dari sisi samping. Keuntungan dari *Side Entering Mixer* (SEM) yaitu tidak diperlukan penyangga pemasangan dibagian atas tangki sehingga instalasinya lebih mudah dan lebih hemay biaya serta memiliki kapasitas volume yang besar [3].

Pada dasarnya, kinerja pengadukan pada bejana berpengaduk dapat diselidiki dengan pengukuran eksperimental dan *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Terdapat beberapa kendala di industri seperti kondisi proses yang kompleks diakibatkan sifat fisika fluida multifasa dan fenomena instabilitas aliran sehingga akan lebih menguntungkan jika dapat memprediksi proses *mixing* dengan memanfaatkan perkembangan teknologi yaitu dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) yaitu analisis sistem yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena yang terkait lainnya seperti reaksi kimia dengan menggunakan simulasi komputer [4].

Pada penelitian sebelumnya meneliti mengenai pengaruh jumlah dan kemiringan sudu *mixer* poros vertikal terhadap unjuk kerja pencampuran. Penelitian dilakukan dengan *mixer* poros vertikal dengan tangki berdiameter 18 cm dan tinggi 12 cm. Jumlah sudu divariasikan sebesar 2, 3 dan 4 sudu. Sudut kemiringan sudu divariasikan sebesar 90°, 80°, 70°, dan, 60°. Bahan yang diproses adalah cat tembok putih. Hasil yang didapatkan yaitu jumlah sudu dan kemiringan yang berbeda akan mempengaruhi pola penyebaran aliran [5]. Selanjutnya adalah penelitian mengenai pengaruh kecepatan putar dan sudut masuk impeller pada *Side Entering Mixer* (SEM) menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Jenis impeller yang digunakan adalah *4-pitch blade turbine* dengan diameter impeller sebesar 4 cm. Variabel kecepatan putar 250 – 450 rpm dan sudut masuk 10°, 20°, 30°, dan 45° digunakan. Didapatkan hasil berupa pola aliran terbaik terjadi pada variabel sudut masuk 10° dengan kecepatan putar 400 rpm karena menghasilkan satu *vortex* yang berukuran kecil daripada variabel yang lain [6].

Pentingnya peran impeller pada operasi pengadukan perlu diperhatikan karena akan berpengaruh pada proses pengadukan. Dari penelitian sebelumnya maka diperlukan investigasi lebih lanjut mengenai pola aliran dan homogenitas fluida dengan pengaruh jumlah blade pada

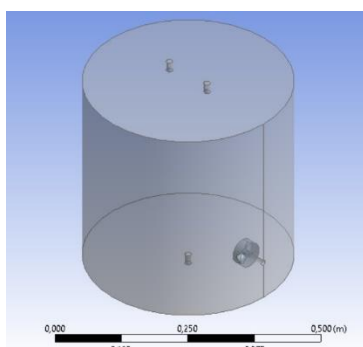
impeller dan kecepatan impeller untuk mengoperasikan tangki berpengaduk dengan *Side Entering Mixer* (SEM) secara optimum dan efisien. Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari pengaruh jumlah blade pada impeller dan kecepatan impeller pada *Side Entering Mixer* (SEM) terhadap pola aliran dengan metode simulasi menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD).

METODE PENELITIAN

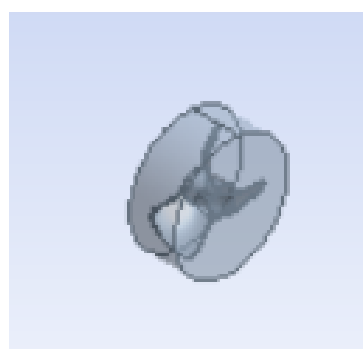
Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari pengaruh jumlah blade pada impeller dan kecepatan impeller pada *Side Entering Mixer* (SEM) terhadap pola aliran dan homogenitas dengan metode simulasi menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) yaitu analisis sistem yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena yang terkait lainnya seperti reaksi kimia dengan menggunakan simulasi komputer. Simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) menggunakan software ANSYS Fluent 2023 dan untuk permodelan geometri menggunakan *software* Autodesk Inventor Professional dengan penentuan jumlah grid dan node menggunakan *meshing*. Sistem tangki yang digunakan adalah *Side Entering Mixer* (SEM) yaitu tangki dengan pengaduk yang dipasang secara horizontal pada dinding tangki dan dekat dengan dasar tangki. *Side Entering Mixer* (SEM) dan impeller memiliki spesifikasi yang telah ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Ukuran Geometri Tangki Berpengaduk *Side Entering Mixer* (SEM)

Tangki		Agitator	
Diameter	40 cm	Tipe	Propeller
Tinggi	60 cm	Diameter Impeller	4 cm
Jarak impeller ke dasar tangki	5 cm	Jumlah blade impeller	3 dan 4



Gambar 1. Geometri Tangki



Gambar 2. Propeller

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah air dan CaCO_3 dengan spesifikasi yang terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Bahan yang Digunakan

Keterangan	Air	CaCO_3
Suhu	32°C	32°C
Densitas	998,2 gr/ml	3340 gr/ml
Viskositas	1,003 x 10 ⁻³ μ/s	

Variabel yang digunakan pada sistem ini terbagi menjadi variabel tetap dan variabel bebas. Variabel tetap yang digunakan adalah menggunakan jenis impeller tipe propeller dan *side entry angle* sebesar 0°. Variabel bebas yang digunakan adalah jumlah blade yang digunakan yaitu 3-blade propeller dan 4-blade propeller dengan diameter sebesar 4 cm serta kecepatan putar impeller yang digunakan sebesar 300, 350, 400, 450, dan 500 rpm.

Simulasi yang *Computational Fluid Dynamics* (CFD) yang dilakukan terdiri dari beberapa tahapan yaitu *Pre-Processing*, *Solving* dan *Post Processing*

1. Tahapan *Pre-Processing*

Geometri dan *meshing* menggunakan *software* ANSYS Fluent 2023

- a. Membuat model geometri
- b. Membuat grid menggunakan *meshing* untuk *stationary zone* dan *moving zone* untuk aliran fluida, dan mendefinisikan *boundary condition*.

2. Tahapan *Solving*

Identifikasi Pola Alir

- a. Membaca *mesh* dari *stationary zone* kemudian melakukan *append case* untuk membaca dan menggabungkan dengan *moving zone*
- b. Memilih persamaan yang akan digunakan, yaitu *k-ε realizable* dan *Moving Frame References* (MRF)
- c. Membuat bidang pengamatan secara vertikal.
- d. Mendefinisikan material yang akan digunakan dalam simulasi.
- e. Menentukan kondisi operasi dan kondisi batas pada sistem yang diuji.
- f. Mengatur penyelesaian parameter-parameter yang mengontrol yaitu *solution method* : PISO dan *solution control*.
- g. Menghitung penyelesaian berdasarkan perhitungan matematis pada program Fluent yang telah dikontrol dengan iterasi
- h. Membuat bidang pengamatan dan mengatur *solution animation*

3. Tahapan *Post Processing*

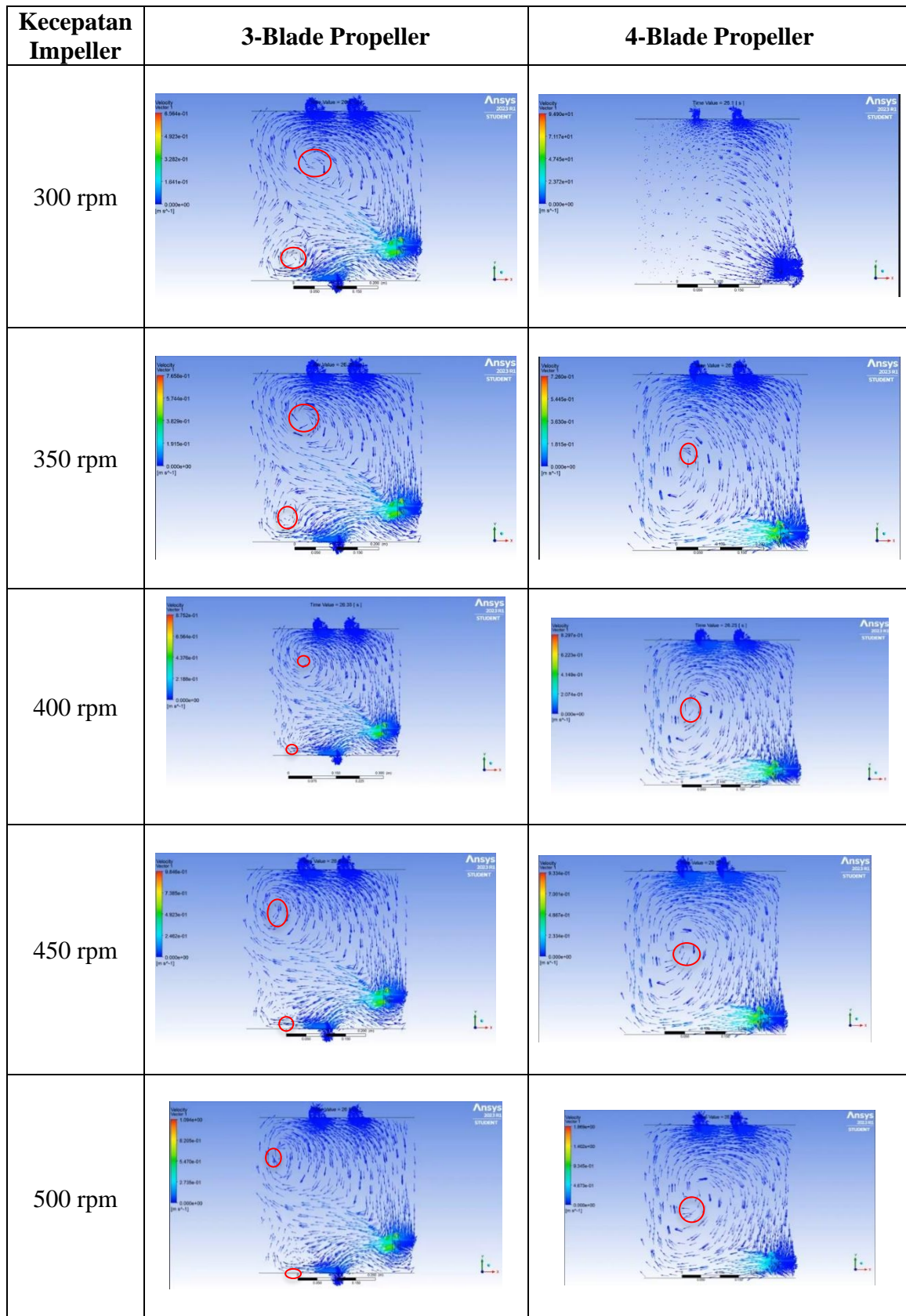
- a. Memperoleh hasil simulasi berupa gambar dan data
- b. Menganalisa gambar dan data yang didapatkan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang didapatkan dari penelitian ini diperoleh melalui simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) menggunakan *software* ANSYS Fluent 2023. Simulasi ini dilakukan dengan metode *transient* yang dilakukan pada *time step* 0,05 s, *number of time step* 600 dengan *maximal iteration per time step* sebesar 150. Data yang didapatkan berupa variasi pola alir dan homogenitas dari kontur yang didapatkan.

Identifikasi Pola Alir

Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi pola alir yaitu jumlah blade impeller, diameter impeller, kecepatan putar impeller, serta pembentukan *vortex* juga dapat mempengaruhi. Selain itu, karakteristik fluida dan ukuran dimensi tangki juga dapat mempengaruhi pola alir [7]. Pola aliran dibagi menjadi tiga kategori yaitu aliran aksial menghasilkan aliran yang sejajar dengan sumbu putarannya, aliran radial menghasilkan aliran yang tegak lurus terhadap sumbu putarannya, dan aliran campuran yang merupakan gabungan dari aliran aksial dan radial [8]. Pengaruh dari jumlah blade dan kecepatan putar impeller terhadap pola alir dapat diketahui dengan melakukan pengamatan dengan menggunakan variasi 3-blade propeller dan 4-blade propeller serta variasi kecepatan putar impeller yang digunakan sebesar 300, 350, 400, 450, dan 500 rpm. Gambar pola alir yang disajikan pada Gambar 3. merupakan salah satu gambar yang terekam dari sekian banyak gambar yang didapatkan



Gambar 3. Hasil Pengamatan Pola Alir

Pada hasil simulasi pada Gambar 3. terdapat gambar panah-panah yang menggambarkan pola aliran yang dihasilkan oleh fluida. Dari gambar panah tersebut menunjukkan bahwa pola

aliran yang dihasilkan yaitu pola aliran aksial karena alirannya yang sejajar dengan sumbu putarannya. Hal tersebut disebabkan karena pada percobaan ini menggunakan impeller jenis propeller yang merupakan salah satu jenis impeller yang menghasilkan pola aliran aksial [8]. Pada hasil simulasi pada bagian yang dilingkari menunjukkan terbentuknya *vortex*. *Vortex* yang terbentuk bervariasi karena kecepatan putar impeller yang juga bervariasi. Suatu fluida yang mengalir dalam suatu aliran yang mengalami perubahan mendadak dapat menyebabkan terjadinya *vortex* atau pusaran. *Vortex* menunjukkan adanya putaran ataupun aliran yang melingkar. Aliran *vortex* dapat dikatakan aliran turbulen karena tidak teratur dan membentuk pusaran. Secara umum, *vortex* dikategorikan menjadi dua yaitu *vortex* paksa atau berotasi dan *vortex* bebas atau tak berotasi. *Vortex* paksa merupakan suatu *vortex* yang terjadi karena adanya gaya dari luar yang mempengaruhi fluida. *Vortex* bebas merupakan *vortex* yang terjadi secara alami tanpa pengaruh gaya dari luar. Terbentuknya *vortex* dapat merugikan ataupun menguntungkan tergantung pada penerapannya [9]. *Vortex* biasanya terjadi pada pusat tangki ataupun disekitar pengaduk. Adanya *vortex* dalam proses *mixing* tidak diinginkan karena menyebabkan buruknya kualitas proses *mixing*. Hal tersebut disebabkan karena adanya *vortex* dapat menyebabkan naiknya permukaan fluida pada tepi tangki yang dapat mengakibatkan tumpahnya fluida serta udara bisa masuk pada fluida yang disebabkan oleh tinggi fluida pada pusat tangki jatuh sehingga mencapai bagian atas pengaduk. Terdapat beberapa upaya untuk menghindari *vortex* yaitu dapat dilakukan dengan cara menempatkan tangki berpengaduk lebih ke tepi serta menambahkan *baffle* pada dinding tangki [10].

Pengaruh Kecepatan Putar Impeller terhadap Pola Alir

Aliran fluida yang terjadi yaitu *one loop circulation* ditunjukkan dengan adanya daerah memutar membentuk seperti putaran pada bagian tengah tangki. *One loop circulation* merupakan suatu aliran dimana suatu fluida akan terdorong keluar dari impeller mendekati dinding tangki lalu menuju ke permukaan cairan dan kembali ke dasar tangki.

Berdasarkan Gambar 3. menunjukkan bahwa kecepatan 500 rpm menghasilkan pola alir yang semakin cepat. Hal tersebut ditunjukkan oleh tanda panah yang menggambarkan pola aliran yang terbentuk. Dari hasil yang didapatkan menunjukkan kecepatan putar impeller berbanding lurus dengan kecepatan fluida dimana semakin cepat kecepatan impeller maka kecepatan aliran fluida juga semakin cepat, dan sebaliknya. Hal tersebut ditunjukkan oleh tanda panah yang menggambarkan pola aliran yang terbentuk. Semakin cepat kecepatan impeller maka semakin besar energi yang diberikan oleh motor ke impeller yang nantinya akan diberikan pada fluida sehingga aliran fluida juga semakin cepat. Semakin cepat kecepatan impeller menunjukkan bahwa lokasi aliran sirkulasi cenderung lebih cepat bergeser ke atas menuju ke tengah tangki dan terbentuknya *vortex* juga cenderung lebih cepat [7]. Pada masing-masing kecepatan memiliki letak *vortex* yang juga berbeda. Semakin cepat kecepatan impeller maka letak *vortex* akan cenderung bergeser semakin ke atas dan mendekat pada bagian dinding tangki karena aliran fluida semakin cepat bergeser ke atas. [11].

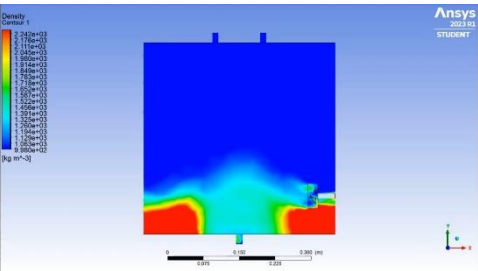
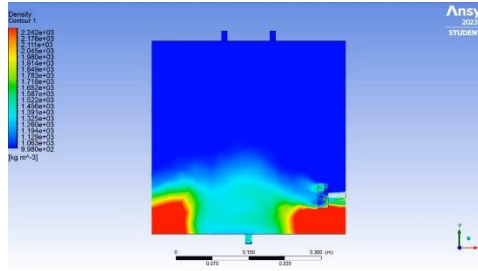
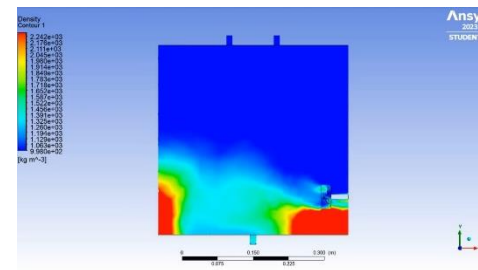
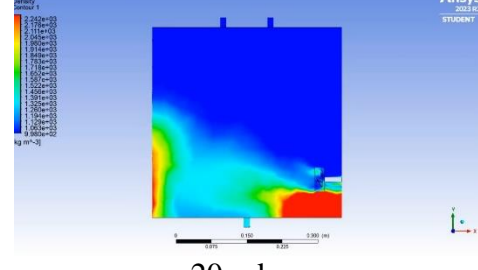
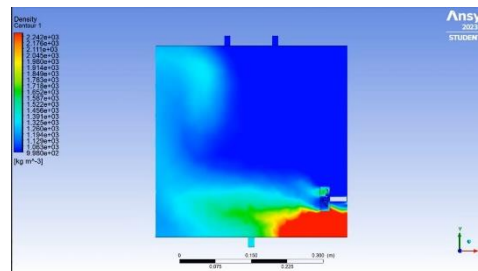
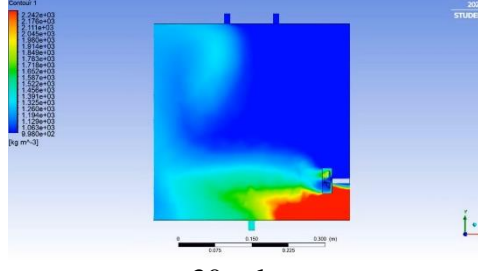
Pengaruh Jumlah Blade terhadap Pola Alir

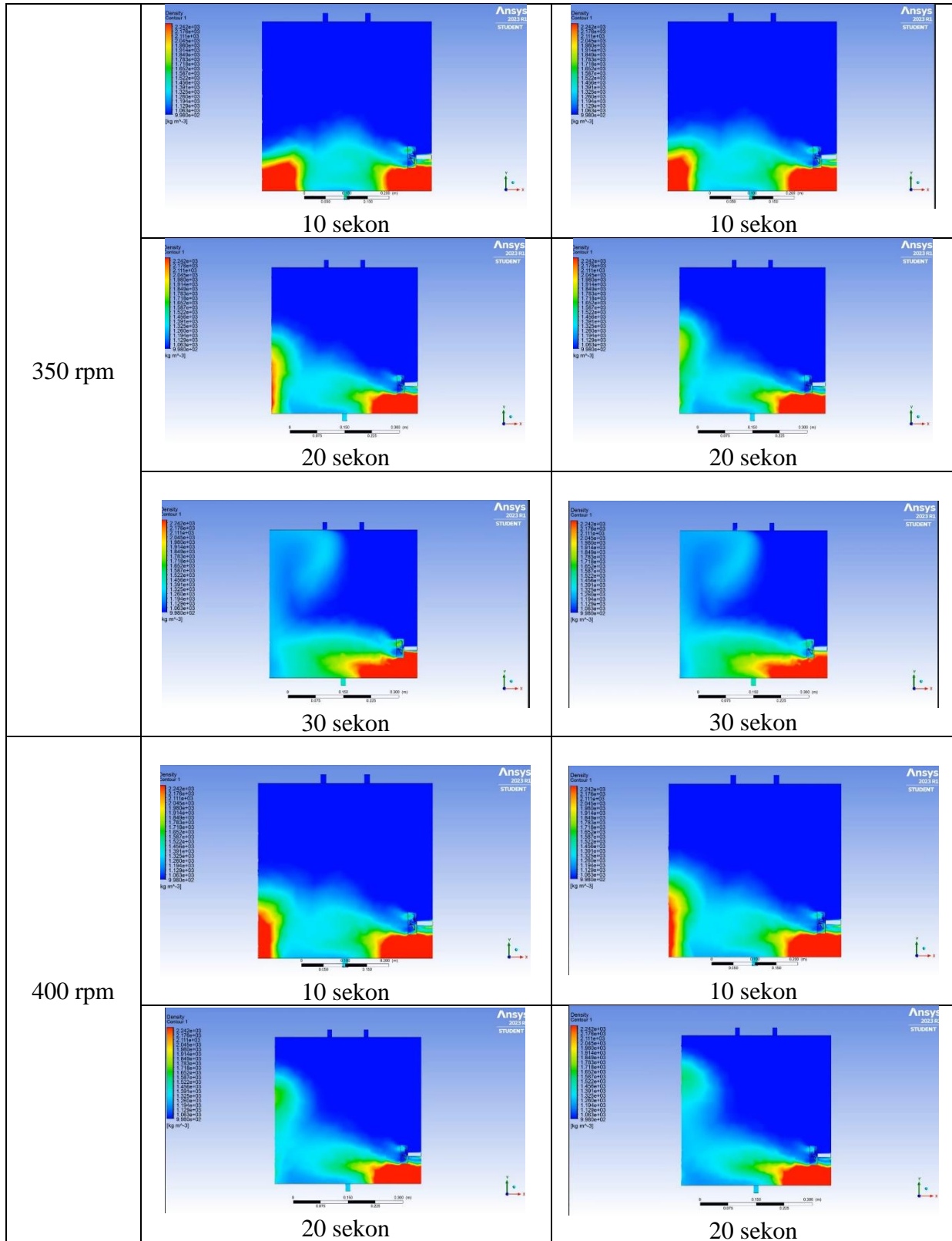
Impeller yang digunakan pada penelitian ini adalah 3-blade propeller dan 4-blade propeller. Berdasarkan Gambar 3. menunjukkan bahwa penggunaan 3-blade propeller menimbulkan lebih banyak *vortex* dan akan terbentuk *vortex* pada bagian bawah dan mendekati dasar tangki dibandingkan dengan penggunaan 4 blade-propeller. Hal tersebut disebabkan oleh jumlah blade yang semakin banyak akan menimbulkan terbentuk aliran *quick return flow* yaitu aliran yang cepat kembali ke daerah impeller dimana aliran akan bergerak lurus dari impeller dan ketika menabrak dinding tangki akan menuju bagian tengah tangki. Selain itu, jumlah blade berbanding lurus

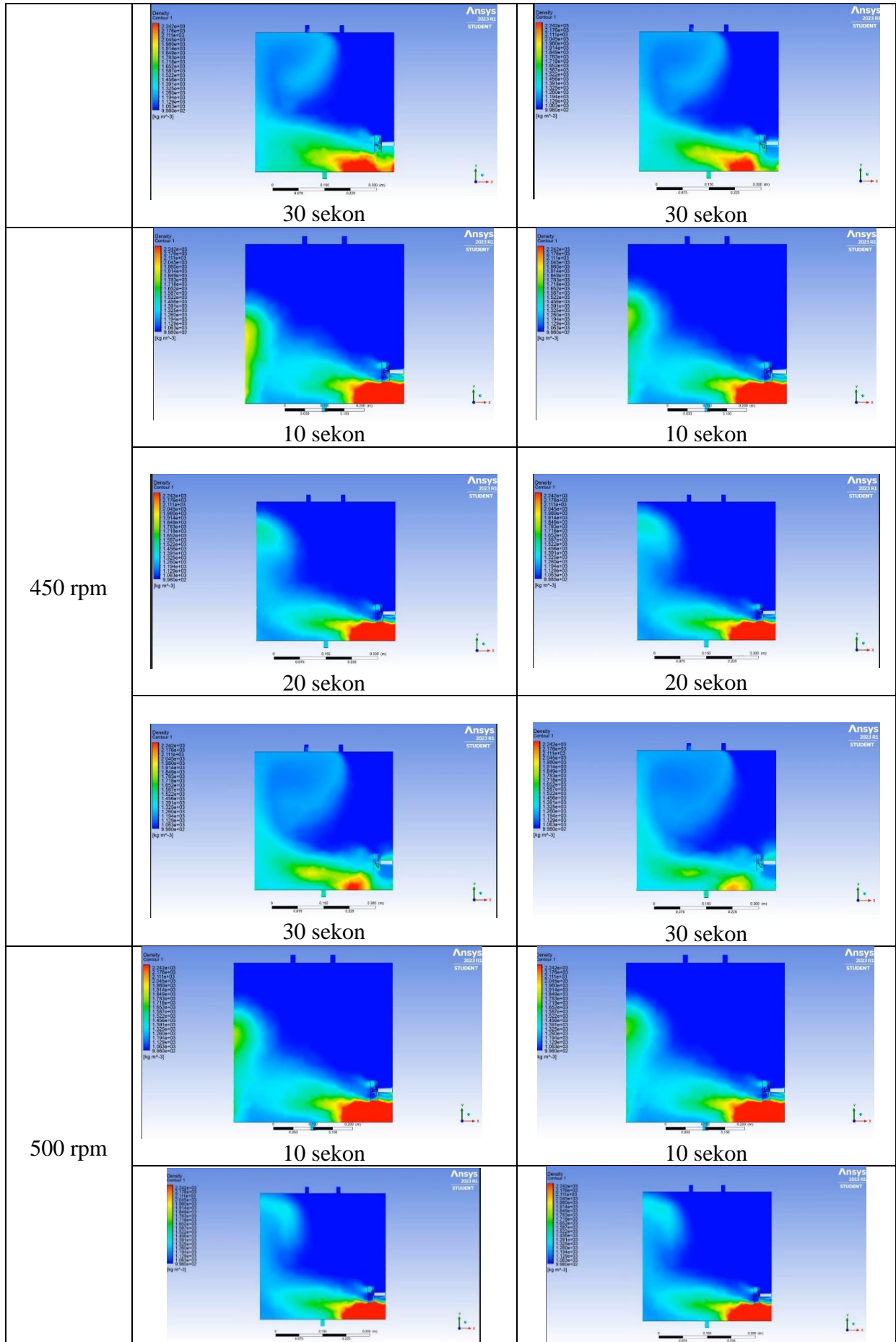
dengan kecepatan fluida dimana semakin banyak jumlah blade maka kecepatan aliran fluida juga semakin cepat, dan sebaliknya. Hal tersebut ditunjukkan oleh tanda panah yang menggambarkan pola aliran yang terbentuk [11].

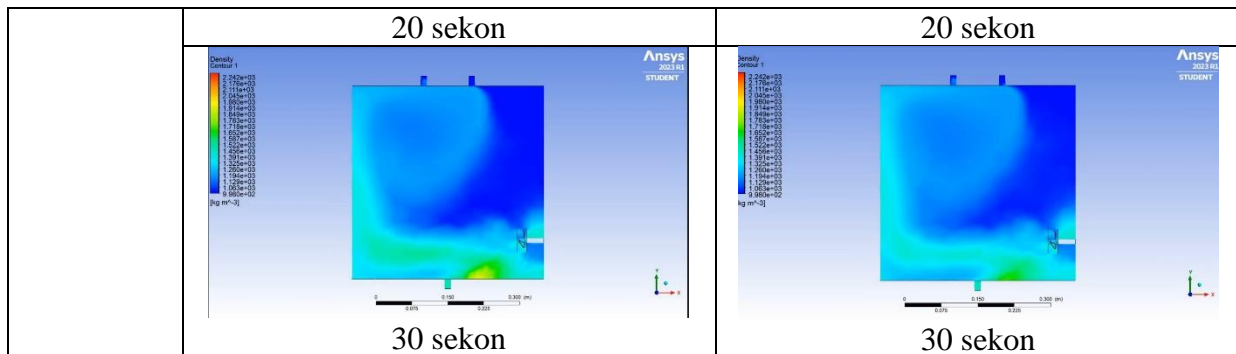
Identifikasi Homogenitas Fluida

Homogenitas merupakan suatu nilai yang menunjukkan distribusi konsentrasi atau biasa diartikan sebagai keseragaman dalam suatu area tertentu. Selama proses *mixing* akan terjadi perubahan kontur konsentrasi yang dapat dijadikan indikasi suatu cairan dalam menentukan homogenitas fluida [12]. Pengaruh dari jumlah blade dan kecepatan putar impeller terhadap homogenitas fluida dapat diketahui dengan melakukan pengamatan dengan menggunakan variasi 3-blade propeller dan 4-blade propeller serta variasi kecepatan putar impeller yang digunakan sebesar 300, 350, 400, 450, dan 500 rpm. Gambar pola alir yang disajikan pada Gambar 4. merupakan salah satu gambar yang terekam dari sekian banyak gambar yang didapatkan

Kecepatan Impeller	3-Blade Propeller	4-Blade Propeller
300 rpm	 <p style="text-align: center;">10 sekon</p>	 <p style="text-align: center;">10 sekon</p>
	 <p style="text-align: center;">20 sekon</p>	 <p style="text-align: center;">20 sekon</p>
	 <p style="text-align: center;">30 sekon</p>	 <p style="text-align: center;">30 sekon</p>







Gambar 4. Hasil Pengamatan Pola Alir

Pada hasil simulasi pada Gambar 4. menunjukkan bahwa salah satu cara untuk menentukan homogenitas fluida yaitu dengan mengamati perubahan kontur konsentrasi melalui perubahan densitas yang terjadi selama proses *mixing*. Larutan yang akan di *mixing* akan memiliki densitas yang berbeda dan nantinya akan berubah menjadi sama yang menunjukkan bahwa larutan tersebut sudah homogen. Berdasarkan hasil simulasi warna merah menunjukkan densitas dari CaCO_3 dan warna biru tua menunjukkan densitas dari air sehingga larutan tersebut dapat dikatakan homogen jika fluida menunjukkan warna hijau toska yang menunjukkan bahwa densitas yang dihasilkan sudah sama.

Pengaruh Kecepatan Putar Impeller terhadap Homogenitas Fluida

Berdasarkan Gambar 4. menunjukkan bahwa pada waktu 30 detik, pada kecepatan putar 500 rpm fluida akan cepat tercampur karena pada gambar hasil simulasi sudah tidak menunjukkan warna merah yang menggambarkan densitas CaCO_3 yang menandakan CaCO_3 sudah tercampur dengan air dan warna yang dihasilkan dominan hijau toska. Kecepatan impeller berbanding lurus dengan homogenitas fluida dimana semakin besar kecepatan impeller maka homogenitas fluida akan semakin cepat tercapai dan waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan campuran yang homogen juga semakin cepat, dan sebaliknya. Hal tersebut disebabkan oleh kecepatan putar impeller dapat mempengaruhi turbulensi dan sirkulasi dari aliran fluida pada proses *mixing*. Semakin besar kecepatan impeller maka laju turbulensi juga akan semakin besar sehingga akan cepat mencapai homogenitasnya. Selain itu, semakin besar kecepatan impeller akan menyebabkan terbentuknya pusaran cairan yang menyebabkan lebih seringnya kontak antar molekul serta arah aliran fluida akan bercabang sehingga fluida akan cepat tercampur [7].

Pengaruh Jumlah Blade terhadap Homogenitas Fluida

Impeller yang digunakan pada penelitian ini adalah 3-blade propeller dan 4-blade propeller. Berdasarkan Gambar 4. menunjukkan bahwa 4-blade propeller menunjukkan bahwa larutan akan semakin cepat tercampur dibandingkan dengan menggunakan 3-blade propeller. Jumlah blade berbanding lurus dengan kecepatan fluida dimana semakin banyak jumlah blade maka kecepatan aliran fluida juga semakin cepat sehingga homogenitas fluida akan semakin cepat tercapai dan waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan campuran yang homogen juga semakin cepat, dan sebaliknya. Hal tersebut disebabkan semakin banyak jumlah blade maka kecepatan fluida akan semakin cepat sehingga kontak antar molekul juga akan sering terjadi sehingga fluida tersebut akan semakin cepat homogen dan waktu yang dibutuhkan untuk proses *mixing* juga akan semakin cepat [11].

KESIMPULAN

Pada penelitian *Side Entering Mixer* (SEM) dengan metode simulasi menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk mengetahui pola alir dan homogenitas dengan variasi kecepatan putar impeller dan jumlah blade menunjukkan bahwa pola aliran yang dihasilkan adalah pola aliran aksial dan terbantu *vortex* yang bervariasi. Semakin cepat kecepatan impeller maka aliran fluida dan terbentuknya *vortex* akan semakin cepat serta lebih cepat mencapai homogenitas fluida yang diinginkan. Selain itu, semakin banyak jumlah blade maka kecepatan aliran fluida juga semakin cepat dan *vortex* yang terbentuk semakin sedikit serta semakin cepat mencapai homogenitas fluida. Dengan demikian, kecepatan impeller dan jumlah blade memiliki pengaruh terhadap pola aliran dan homogenitas fluida. Hasil terbaik yang didapatkan yaitu pada penggunaan 4-blade propeller dengan kecepatan 500 rpm karena pola alir yang dihasilkan semakin cepat dan *vortex* yang dihasilkan lebih sedikit, serta homogenitas fluida akan cepat tercapai. Adanya *vortex* dalam proses mixing tidak diinginkan karena menyebabkan buruknya kualitas proses mixing. Terdapat upaya untuk menghindari *vortex* yaitu dengan cara menempatkan tangki berpengaduk lebih ke tepi serta menambahkan baffle pada dinding tangki.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang membantu dalam penyelesaian penelitian dan artikel ilmiah ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada teman-teman angkatan 2020 jurusan Teknik Kimia Industri yang telah banyak membantu dan juga kami berterima kasih sebesar-besarnya kepada dosen pembimbing kami yang telah mendidik dan membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. H. Prasetyo, G. Rubiono, and U. Suryadhianto, "Pengaruh Jumlah Sudu Pengaduk Terhadap Pola Pencampuran dan Konsumsi Daya Listrik pada Mixer Vertikal," *J. V-Mac*, vol. 5, no. 1, pp. 9–12, 2020.
- [2] B. Gustiyayu, A. Ratna, T. Nurtono, and S. Winardi, "Simulasi Pola Aliran dalam Tangki Berpengaduk menggunakan Side-Entering Impeller untuk Suspensi Padat-Cair," *J. Tek.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–4, 2016.
- [3] B. Wu, "Computational fluid dynamics study of large-scale *mixing* systems with side-entering impellers," *Eng. Appl. Comput. Fluid Mech.*, vol. 6, no. 1, pp. 123–133, 2012, doi: 10.1080/19942060.2012.11015408.
- [4] M. Murtadho, Y. Ihsana, N. Fathonah, S. Winardi, and T. Nurtono, "Pengaruh Sudut Masuk Impeller terhadap Pola Alir dalam Reaktor Biogas dengan Side Entering Mixer," *Pengemb. Teknol. Kim. untuk Pengolah. Sumber Daya Alam Indones.*, no. April, pp. 1–7, 2017.
- [5] U. Suryadhiyanto and I. Qiram, "Pengaruh Jumlah dan Kemiringan Sudu Mixer Poros Vertikal Terhadap Unjuk Kerja Pencampuran," *J. Rotor*, vol. 11, no. 1, pp. 25–29, 2018.
- [6] L. Qomariyah, D. H. Prajitno, M. Sugianto, and P. L. Novitasari, "Pengaruh Side Entry Angle Pada Reaktor Berpengaduk Samping Terhadap Karakteristik Pola Alir Fluida Menggunakan Compu-Tational Fluid Dynamic (Cfd) Effect of Side Entry Angle on Side Stirred Reactor on Fluid Flow Pattern Characteristic Using Computational F," *Semin. Nas.*

- Soebardjo Brotohardjono*, pp. 139–145, 2021.
- [7] N. Mumtazah, A. R. Putraninghadi, and N. Nisbatul, “Waktu Pencampuran Simulasi Dinamis Cairan Komputasi dari Tangki Pengaduk Masuk Samping,” *Prozima*, vol. 5, no. 1, pp. 30–40, 2021, doi: 10.21070/prozima.v5i1.1505.
- [8] N. Valentino, D. Lukman Hakim, and F. Mirda Yanti, “Perancangan Geometri Dan Power Pengaduk Untuk Bioreaktor,” *J. Energi dan Lingkung.*, vol. 16, no. 2, pp. 55–58, 2020, doi: 10.29122/jel.v16i2.4802.
- [9] I. Tanjung, S. Gultom, F. Napitupulu, D. M. Nasution, and T. Nur, “Analisa Performansi Turbin *Vortex* Menggunakan Perangkat Lunak Cfd Dengan Variasi Dimensi Sudu I Dan Sudu Iii, Debit Air Masuk Serta Luas Saluran Buang,” *J. Din.*, vol. 5, no. 3, pp. 1–13, 2015.
- [10] N. Abie and E. Mauldy Muhammad, “Studi Pengaruh Kecepatan Impeler Terhadap Aliran Fluida dalam Fermentor Bioethanol Secara Visualisai,” Sepuluh Nopember Institute of Technology, 2018.
- [11] A. Susanti, “Studi Hidrodinamika dan Parameter *Mixing* Time pada Reaktor Biogas dengan Side-Entering Mixer Berbasis CFD,” 2016.
- [12] A. B. Cahyani and Carolina, “Simulasi Pencampuran Molasses Dan Ai Pada Tangki Konis,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2016.