

Energi Baru dan Terbarukan

**LAPORAN AKHIR
PENELITIAN KOMPETITIF NASIONAL
SKEMA PENELITIAN TERAPAN**

**TEMA:
TEKNOLOGI SUBSTITUSI BAHAN BAKAR**

JUDUL PENELITIAN

Pengembangan Produksi Bioetanol dari Sekam Padi dan Aplikasi pada Mesin Bakar (Praperlakuan Hidrogen Peroksida-Aqueous Ammonia dan Hidrolisis Enzimatik-Fermentasi)



Dibiayai oleh:
Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian Kepada Masyarakat
Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset dan Teknologi
Sesuai dengan Kontrak Penelitian
Nomor: 057/E5/PG.02.00.PT/2022

Ketua Peneliti : Nova, ST., MT., Ph.D
Anggota : Dr. Hasanudin, S.si, M.Si
Prof. Hermansyah, S.si, M.Si, Ph.D

**UNIVERSITAS SRIWIJAYA
DESEMBER 2022**

HALAMAN PENGESAHAN

1. Judul Penelitian : Pengembangan Produksi Bioetanol dari Sekam Padi dan Aplikasi pada Mesin Bakar (Praperlakuan Hidrogen Peroksida-Aqueous Ammonia dan Hidrolisis Enzimatik-Fermentasi)
2. Bidang Penelitian : Energi Baru dan Terbarukan
3. Ketua Peneliti
- a. Nama Lengkap : Novia, ST., MT., Ph.D
 - b. Jenis Kelamin : Perempuan
 - c. NIDN/NIP : 0005117301/197311052000032003
 - d. Pangkat dan Golongan : Pembina / IV-a
 - e. Jabatan Struktural : -
 - f. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
 - g. Perguruan Tinggi : Universitas Sriwijaya
 - h. Fakultas/Jurusan/Prodi : Teknik/Teknik Kimia
 - i. Alamat Kantor : Jurusan Teknik Mikia, FT Unsri Km.32, Inderalaya, OI
 - j. Telepon/HP/E-mail : 081368632611/novia@ft.unsri.ac.id
 - k. Alamat rumah : Jl. Poltek Lr. Padang Kapas 1 No.17 Rt.44/03. Bukit Lama. IB I. Palembang
4. Jangka Waktu Penelitian : 2 Tahun
7. Biaya Tahun Pertama : Rp. 157.470.000
8. Biaya Tahun Kedua : Rp. 124.168.000

Mengetahui

Dekan Fakultas Teknik,

Prof. Dr.Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, MT
NIP. 196706151995121002

Inderalaya, 02 Desember 2022

Ketua Peneliti



Novia, ST., MT., Ph.D
NIP. 197311052000032003

Menyetujui

Ketua LPPM Universitas Sriwijaya,

Samsuryadi, S.Si., M.Kom., Ph.D
NIP. 197102041997021003

A. RINGKASAN

Salah satu solusi untuk mengurangi dampak lingkungan adalah menggunakan biofuel sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar minyak dari fosil, seperti bioetanol. Bioetanol adalah bahan bakar cair yang ramah lingkungan sifatnya yang terbarukan, diharapkan dapat mengatasi krisis energi global. Bahan baku bioetanol generasi kedua tersedia melimpah, mudah diperoleh dan tidak mengganggu penyediaan bahan pangan. Dari jumlah limbah pertanian yang dihasilkan, Indonesia dapat memenuhi ketersediaan bioetanol nasional untuk mensupport permintaan bahan bakar fosil dan mengurangi dampak lingkungan yang membahayakan. Selama ini biomassa berupa limbah sekam padi belum dimanfaatkan secara optimal oleh petani. Limbah sekam padi hanya dibakar dan ditumpuk di lahan terbuka. Hal ini akan menimbulkan masalah pada lingkungan. Padahal biomassa ini mengandung selulosa yang cukup tinggi, apabila dihidrolisa akan menghasilkan glukosa dan difermentasi menjadi bioetanol. Tujuan penelitian tahun kedua adalah mengaplikasikan proses (pretreatment, hidrolisa enzimatis dan fermentasi) pada desain peralatan skala lebih besar (bench scale). Penelitian tahun kedua ini juga bertujuan untuk meningkatkan hidrolisis sekam padi melalui pretreatment Hidrogen Peroksida (HP) dan Combined Hydrogen Peroxide–Aqueous Ammonia (CHPA). Pengurangan kandungan lignin dari sekam padi ditentukan dengan menggunakan pemeriksaan SEM-EDS terhadap sampel. Pada konsentrasi spesifik H_2O_2 , CHPA pretreatment menghilangkan jumlah lignin yang jauh lebih besar pada biomassa. Persentase penghilangan lignin pada pretreatment HP bervariasi dari 48,25% hingga 66,50%, sedangkan CHPA berkisar antara 72,22% hingga 85,73%. Oleh karena itu, penggunaan kinetika reaksi dari proses penghilangan lignin dari kedua jenis pretreatment direkomendasikan, di mana parameter kinetik ditentukan dengan menyesuaikan data eksperimental. Berdasarkan hasil perhitungan kinetika, energi aktivasi untuk pretreatment HP dan CHPA adalah 9,96 dan 7,44 kJ/mol, yang menunjukkan bahwa model kinetika sesuai dengan data eksperimen. Peningkatan suhu juga menyebabkan nilai pretreatment yang lebih tinggi, menunjukkan korelasi positifnya. Sementara itu, pretreatment CHPA mengalami hidrolisis enzimatis dari pembebanan enzim 6% untuk produksi 6,58 g glukosa/L pada 25 jam. Proses pencampuran yang sempurna akan memastikan kondisi substrat yang ideal bagi mikroorganisme untuk hidup dalam menghasilkan etanol di dalam fermentor. Faktor yang mempengaruhi proses pencampuran adalah kecepatan agitasi, konfigurasi baffle, dan tipe impeller. Perangkat lunak Computational Fluid Dynamics (CFD) dapat mengkaji studi hidrodinamika fermentor karena penghematan biaya peralatan, bahan kimia dan lebih hemat waktu. Oleh karena itu penelitian juga mengkaji karakteristik hidrodinamik fermentor menggunakan software ANSYS FLUENT 2021 R1 dan validasinya. Hidrodinamika dari proses pencampuran dalam fermentor bioetanol impeller blade ganda dengan kecepatan agitasi 200 hingga 1000 RPM dan pengaruh adanya baffle juga diamati dengan simulasi dan eksperimental. Model yang dipilih adalah k-epsilon turbulence model and the Eulerian volume of fluid mixture multiphase model. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan agitasi, maka semakin tinggi torsi, tenaga, dan tegangan geser. Kecepatan agitasi yang meningkat menyebabkan semakin rendah waktu pencampuran. Waktu pencampuran yang lebih cepat diperoleh dalam fermentor tanpa konfigurasi baffle. Luaran yang diharapkan dari penelitian tahun kedua ini adalah publikasi hasil penelitian pada seminar maupun jurnal internasional bereputasi. Peneliti utama dan anggota telah memiliki pengalaman dalam bidang yang diteliti. Pengukuran TKT penelitian tahun kedua yang diajukan ini berada di level 5.

B. KATA KUNCI

Aqueous Ammonia; Bioetanol; CFD; Hidrogen Peroksida; Hidrolisis Enzimatis; Sekam Padi

C. HASIL PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan secara ringkas hasil pelaksanaan penelitian yang telah dicapai sesuai tahun pelaksanaan penelitian. Penyajian meliputi data, hasil analisis, dan capaian luaran (wajib dan atau tambahan). Seluruh hasil atau capaian yang dilaporkan harus berkaitan dengan tahapan pelaksanaan penelitian sebagaimana direncanakan pada proposal. Penyajian data dapat berupa gambar, tabel, grafik, dan sejenisnya, serta analisis didukung dengan sumber pustaka primer yang relevan dan terkini.

Pengisian poin C sampai dengan poin H mengikuti template berikut dan tidak dibatasi jumlah kata atau halaman namun disarankan ringkas mungkin. Dilarang menghapus/modifikasi template ataupun menghapus penjelasan di setiap poin.

TAHUN KE-2

1. Kinetika Penghilangan Lignin dari Sekam Padi Menggunakan *Hidrogen Peroxide (HP) and Combined Hydrogen Peroxide–Aqueous Ammonia (CHPA) Pretreatments*

Dalam penelitian tahun kedua ini, kinetika penghilangan lignin dari sekam padi baik *HP* maupun *CHPA pretreatment* dihitung pada variasi suhu yang berbeda, yaitu 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C, dan 80 °C dengan waktu reaksi 6, 24, dan 48 jam untuk setiap kondisi isothermal. Jumlah lignin yang dilepaskan dari biomassa yang telah beri *pretreatment* pada berbagai suhu digunakan untuk menganalisis kinetika dari *pretreatment*. Sementara itu, persentase lignin yang dihilangkan setiap waktu tertentu (t) dihitung menggunakan persamaan di bawah ini [1]:

$$L(t) = \left[\frac{C_{L0} - C_L(t)}{C_{L0}} \cdot \text{Solid Yield} \right] \cdot 100 \% \quad (1)$$

di mana C_{L0} adalah lignin awal dalam sekam padi yang tidak diberi perlakuan (*pretreatment*), $C_L(t)$ adalah lignin dalam sekam padi yang diberi perlakuan (*pretreatment*) sebelumnya setiap saat t , $L(t)$ adalah persentase penghilangan lignin setiap saat. *Pretreatment* dianggap sebagai reaksi orde pertama, sehingga laju reaksi dapat dinyatakan sebagai:

$$\frac{dL}{dt} = K(1 - L) \quad (2)$$

di mana K adalah konstanta laju *pretreatment*. Dengan menyelesaikan Persamaan (2) pada kondisi awal ($L = 0$ pada $t = 0$), formulasi rasio solubilisasi lignin (L) pada setiap waktu dapat diperoleh sebagai berikut:

$$L = 1 - \exp(-K \cdot t) \quad (3)$$

Oleh karena itu, dengan memplot $-\ln(1 - L)$ versus waktu t , dengan intersepsi (0) menunjukkan nilai K adalah slope. Telah diteliti bahwa pengurangan total komponen lignin dari biomassa sangat sulit dilakukan. Oleh karena perlu diperhitungkan derajat *pretreatment* (Dd). Parameter ini digunakan untuk memprediksi rasio solubilisasi lignin maksimum biomassa tertentu ketika metode *pretreatment* tertentu digunakan [2], [3]. Model kinetika yang dijelaskan dalam Persamaan (2) dinyatakan di bawah ini:

$$\frac{dL}{dt} = K(Dd - L) \quad (4)$$

Dengan batas Dd ditetapkan menjadi $0 \leq Dd \leq 1$. Integrasi Persamaan (4) dapat direpresentasikan sebagai berikut:

$$L = Dd [1 - \exp(-K \cdot t)] \quad (5)$$

Oleh karena itu, nilai Dd dihitung untuk masing-masing parameter *pretreatment* operasional dengan memplot L versus $[1 - \exp(-K \cdot t)]$.

Nilai energi aktivasi dapat menggambarkan hubungan antara konstanta laju dan suhu melalui hukum Arrhenius [27]:

$$K = A \exp((-Ea)/RT) \quad (6)$$

di mana A adalah konstanta Arrhenius, Ea adalah energi aktivasi, R adalah konstanta gas (8,314 kJ/mol·K), dan T adalah suhu absolut (K).

Energi aktivasi (Ea) *pretreatment* dihitung dari bentuk logaritmik persamaan Arrhenius ($\ln K = \ln A - Ea/RT$) dengan memplot $\ln K$ terhadap $1/T$ dengan kemiringan sama dengan Ea/R . Sementara itu, $\ln A$ adalah intersep di mana konstanta Arrhenius dihitung. Kinetika *pretreatment* ditetapkan dengan mengasumsikan bahan hanya mengandung satu jenis lignin.

1.1. Pengaruh Suhu dan Waktu Pretreatment

Pengurangan lignin adalah prosedur termo-sensitif yang sangat bervariasi dengan pengaturan suhu *pretreatment* yang berbeda [3]. Mekanisme reduksi lignin bervariasi secara signifikan berdasarkan jenis sampel. Pengaturan *pretreatment* yang spesifik kurang efisien untuk model dengan resistansi lignoselulosa yang lebih tinggi. Namun, kondisi ini dapat digunakan untuk *pretreatment* sampel dengan matriks hetero lignoselulosa yang lebih berpori. Karena tingkat *pretreatment* terkait dengan suhu pemanasan, maka sekam padi hanya diperlakukan dengan HP pada suhu 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C, dan 80 °C. Ini menunjukkan bahwa *pretreatment* lebih efisien pada suhu yang lebih tinggi. Ditemukan bahwa peningkatan energi panas dapat meningkatkan energi kinetik senyawa, yang menyebabkan sejumlah besar kombinasi bergerak lebih cepat, yang mengarah pada putusnya sejumlah besar ikatan [4].

Tabel 1.1 menunjukkan komposisi sekam padi setelah diberi *HP pretreatment*, yang dihitung dengan metode Chesson [5]. Setiap analisis diulang dua kali untuk memastikan bahwa varians kurang dari 3%. Data komposisi sekam padi sangat berkorelasi dengan komposisi kayu lunak, di mana persentase dari tiga polimer utama berkisar antara 25 hingga 40% dan lebih sedikit selulosa dibanding kayu keras [6]. Konsentrasi relatif dari tiga komponen, yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin meningkat secara signifikan selama *pretreatment*, sehingga mengurangi kontaminan dalam sekam padi [7]. Selanjutnya, persentase lignin dari biomassa berubah pada setiap fase *HP pretreatment*. Kandungan selulosa sekam padi setelah *HP pretreatment* terus meningkat dari 22,34 menjadi 33,69% karena suhu meningkat dari 30 menjadi 80 °C. Kandungan relatif hemiselulosa juga meningkat 2,25% menjadi 14,82%. Hal ini mengindikasikan bahwa *pretreatment* yang digunakan dalam penelitian ini ringan dan tidak mempengaruhi komposisi struktural lignocellulose [7]. *HP pretreatment* mengolah sekam padi, mematahkan lignin dan hemiselulosa tanpa mengubah kristalinitas selulosa. *HP pretreatment* juga terdisosiasi menjadi radikal superoksida dan ion hidroksil. Selanjutnya, hubungan eter dan ester terpapar dalam struktur polimer, yang melarutkan lignin dan hemiselulosa [8].

Tabel 1.1. Pengaruh berbagai suhu dan waktu *HP pretreatment* terhadap komposisi sekam padi.

| Waktu Pra-Perlakuan (h) | Suhu (°C) | Hasil Yang Solid (%) | Selulosa (wt %) | Hemiselulosa (wt %) | Lignin (wt %) |
|-------------------------|-----------|----------------------|-----------------|---------------------|---------------|
| Tanpa Praperlakuan | | | 22.34 | 2.25 | 39.99 |
| 6 | 30 | 80.11 | 23.11 | 5.16 | 39.07 |
| | 40 | 80.65 | 23.55 | 13.85 | 38.14 |
| | 50 | 81.68 | 23.72 | 3.96 | 36.69 |
| | 60 | 81.91 | 24.35 | 22.50 | 36.23 |
| | 80 | 82.75 | 24.27 | 13.42 | 36.10 |
| 24 | 30 | 83.18 | 24.10 | 11.78 | 28.22 |
| | 40 | 83.81 | 24.51 | 0.12 | 25.75 |
| | 50 | 84.85 | 25.85 | 13.42 | 24.31 |
| | 60 | 85.72 | 26.12 | 14.91 | 22.26 |
| | 80 | 85.94 | 26.42 | 17.00 | 22.31 |
| 48 | 30 | 86.19 | 26.52 | 8.61 | 24.01 |
| | 40 | 86.18 | 27.25 | 10.85 | 20.66 |
| | 50 | 87.26 | 28.78 | 9.13 | 18.61 |
| | 60 | 88.22 | 30.44 | 14.27 | 18.31 |
| | 80 | 88.72 | 33.69 | 14.82 | 15.10 |

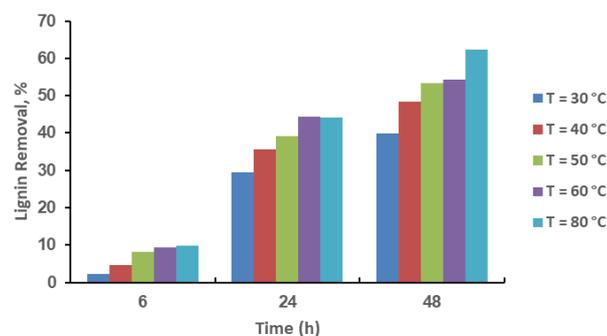
Tabel 1.2 menunjukkan komposisi sekam padi setelah *CHPA pretreatment* yang ditentukan dengan metode Chesson [5]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase lignin biomassa berkurang secara signifikan pada setiap fase *CHPA pretreatment*. Kandungan selulosa sekam padi setelah *CHPA* terus meningkat dari 54,23 menjadi 63,84% karena suhu *pretreatment* meningkat dari 30 menjadi 80 °C selama 48 jam. Kandungan relatif hemiselulosa juga meningkat 4,5 menjadi 8,04% dan pengurangan lignin tertinggi adalah 81,97% pada 80 °C selama 48 jam. Seperti yang diharapkan, persentase selulosa dan hemiselulosa dalam sekam padi yang diproses dengan *CHPA pretreatment* lebih tinggi daripada yang ada di sekam yang tidak diberi *pretreatment*. Hal ini terjadi karena beberapa lignin di sekam dihilangkan selama pemrosesan. Hasil ini menunjukkan bahwa pengurangan lignin berhubungan langsung dengan jumlah waktu yang dihabiskan selama *pretreatment*.

Tabel 1.2. Pengaruh suhu dan waktu CHPA pretreatment terhadap komposisi sampel sekam padi.

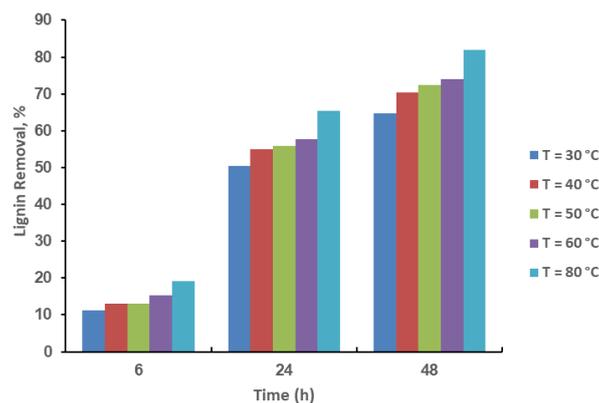
| Waktu Pra-Perlakuan (h) | Suhu (°C) | Hasil Yang Solid (%) | Selulosa (wt %) | Hemiselulosa (wt %) | Lignin (wt %) |
|-------------------------|-----------|----------------------|-----------------|---------------------|---------------|
| Tanpa Praperlakuan | | | 22.34 | 2.25 | 39.99 |
| 6 | 30 | 78.23 | 36.97 | 5.32 | 35.50 |
| | 40 | 78.25 | 41.28 | 5.15 | 34.82 |
| | 50 | 78.28 | 44.00 | 3.02 | 34.79 |
| | 60 | 78.30 | 45.11 | 3.67 | 33.87 |
| | 80 | 78.32 | 48.45 | 2.92 | 32.31 |
| 24 | 30 | 78.34 | 48.45 | 9.65 | 19.82 |
| | 40 | 78.40 | 49.21 | 9.47 | 17.97 |
| | 50 | 78.48 | 50.93 | 6.24 | 17.67 |
| | 60 | 78.58 | 51.16 | 6.10 | 16.92 |
| | 80 | 78.64 | 52.98 | 9.23 | 13.81 |
| 48 | 30 | 78.79 | 54.23 | 4.50 | 14.10 |
| | 40 | 78.97 | 56.40 | 7.68 | 11.85 |
| | 50 | 78.99 | 56.40 | 8.59 | 11.01 |
| | 60 | 79.11 | 58.43 | 8.38 | 10.36 |
| | 80 | 79.15 | 63.84 | 8.04 | 7.21 |

Sementara itu, waktu kesetimbangan untuk menghilangkan lignin maksimal bervariasi dengan suhu tinggi. Dari perspektif makroskopik, *CHPA pretreatment* sangat efektif, karena warna coklat dari rona sekam padi memudar, meninggalkan zat putih. Meskipun perubahan tersebut menunjukkan penghapusan lignin, itu tidak sepenuhnya terlihat dalam kasus *HP pretreatment*.

Gambar 1.1 menunjukkan bahwa *pretreatment* sekam padi dengan *HP* pada suhu 30 °C membutuhkan waktu 48 jam untuk mengurangi 48,25% lignin. Sementara itu, dengan *CHPA pretreatment*, sekam padi mengurangi 72,22% ligninnya pada suhu 30 °C selama 48 jam (Gambar 1.2). Hal ini karena sekam padi setelah *CHPA pretreatment* memiliki struktur yang lebih berpori dan terdistorsi, serta radikal hidroksil dan anion superoksida, yang memutus sejumlah besar tautan antar dan intra-rantai dalam waktu yang lebih singkat. Selain itu pada suhu 40, 50, 60, dan 80 °C, *HP* menghilangkan lignin 55,48; 59,39; 59,61; dan 66,50% masing-masing dalam 48 jam, sedangkan *CHPA* menghilangkan lignin 76,60; 78,25; 79,51; dan 85,73% masing-masing dalam 48 jam, pada 40, 50, 60, dan 80 °C. Ion zat dan radikal oksigen (*HP pretreatment*) meresap secara bertahap melalui dinding sel selama fase awal proses, yang mengarah pada reaksi kimia. Lignin menyerap pelarut dalam pretreatment dan berdifusi dari membran sel ke larutan secara keseluruhan. Selain itu, molekul larut terutama terdiri dari produk sampingan asam dan gula monomer yang diproduksi selama *pretreatment*. Hal ini sering menyebabkan kekakuan yang dikendalikan difusi di jalur outlet lignin dari selulosa dan titik masuk pelarut, yang digunakan untuk *HP pretreatment* ke jalur metabolisme dinding sel yang tertusuk. Oleh karena itu, konsentrasi produk reaksi dalam sistem menghambat difusi berikutnya dari waktu ke waktu. Peningkatan persentase pengurangan lignin sebanding, yaitu dalam urutan berikut: *HP* [48,25 (30 °C); 55,48 (40 °C); 59,39 (50 °C); 59,61 (60 °C); 66,50 (80 °C)], *CHPA* [72,22 (30 °C); 76,60 (40 °C); 78,25 (50 °C); 79,51 (60 °C); 85,73 (80 °C)].



Gambar 1.1. Efek waktu dan suhu *HP pretreatment* pada pengurangan lignin.



Gambar 1.2. Efek waktu dan suhu *CHPA pretreatment* pada pengurangan lignin.

Dua tahap *CHPA pretreatment* adalah Hidrogen Peroksida dan Aqueous Ammonia. Setelah *HP pretreatment*, perubahan lignin bergantung pada waktu yang diamati di *CHPA*. Tahap berikutnya sampel diolah terlebih dahulu dengan aqueous ammonia pada suhu 100 °C selama 5 jam dengan konsentrasi aqueous ammonia 20%, sedangkan penghilangan lignin dipantau secara real-time dan digunakan untuk memperkirakan parameter kinetika dari *pretreatment*. Gambar 1.2 menunjukkan perubahan pola *pretreatment* sekam padi bergantung pada waktu pada berbagai suhu. Hal ini dilakukan untuk menentukan pengaruh terbaik dari waktu dan suhu *pretreatment* pada sampel. Setelah *pretreatment* *CHPA*, pengurangan lignin bervariasi dari 72,22 hingga 85,73% dari lignin dasar dalam sekam padi yang tidak diberi *pretreatment*.

1.2. Perhitungan Parameter Kinetika

Tabel 1.3 menunjukkan parameter kinetika yang diprediksi untuk setiap kondisi *pretreatment* berdasarkan regresi linier data eksperimen. Berdasarkan hasilnya, semua konstanta laju *HP* dan *CHPA* ini naik seiring dengan meningkatnya suhu. Sementara itu, suhu yang lebih tinggi menyebabkan lebih banyak interaksi reaktan, meningkatkan laju reaksi dengan nilai konstan yang lebih tinggi. Tabel tersebut juga menunjukkan bahwa lebih sedikit energi aktivasi yang diperlukan untuk memulai reaksi untuk sampel yang telah diberi perlakuan *CHPA*. Namun, energi aktivasi yang lebih tinggi diperlukan untuk sampel yang diberi perlakuan dengan *HP pretreatment* untuk memulai reaksi. Laju reaksi (K) naik dengan meningkatnya suhu pada *HP* dan *CHPA pretreatment*. Laju reaksinya cepat karena campuran memberikan impregnasi biomassa yang cepat. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan tegangan permukaan mengontrol transportasinya, yang memungkinkan agen pemanas mencapai luas permukaan di dalam padatan dengan cepat. Tindakan ini menghilangkan persyaratan untuk pemisahan tahap impregnasi, yang mengarah pada pengurangan yang signifikan dalam waktu pemanasan secara keseluruhan.

Tabel 1.3. Efek dari berbagai suhu *pretreatment* pada parameter kinetika pengurangan lignin dengan regresi linier dari data eksperimental.

| Suhu | HP Pretreatment | | | | CHPA Pretreatment | | | |
|------|-----------------|-----------------------|-------------|--------|-------------------|-----------------------|-------------|--------|
| | K | Dd (h ⁻¹) | Ea (KJ/Mol) | A | K | Dd (h ⁻¹) | Ea (KJ/Mol) | A |
| 30 | 0.0157 | 0.8979 | 9.9643 | 0.6341 | 0.0296 | 0,9186 | 7.4439 | 0.5285 |
| 40 | 0.0189 | 0.9136 | | | 0.0333 | 0.9255 | | |
| 50 | 0.0209 | 0.9179 | | | 0.0364 | 0.9141 | | |
| 60 | 0.0216 | 0.9027 | | | 0.0389 | 0.9061 | | |
| 80 | 0.0247 | 0.9386 | | | 0.0455 | 0.9233 | | |

Selanjutnya, di bawah kondisi *pretreatment* alkali, gugus hidroksil fenolik dan sebagian kecil gugus hidroksil alifatik bersama dengan tautan C-H tertentu dibebankan [4]. Karena dasar-dasar molekul berubah dengan suhu, laju reaksi naik ketika suhu meningkat, yang mengarah ke energi getaran ekstra yang ditransfer ke tautan. Konstanta kinetik (K) meningkat dengan suhu, dan hasilnya identik dengan yang ditemukan dalam penelitian lain [3], [4], khusus untuk *CHPA pretreatment*. Sementara itu, energi aktivasi *pretreatment* yang dimodelkan oleh beberapa penulis dibandingkan pada Tabel 1.4.

Tabel 1.4. Beberapa penulis memodelkan energi aktivasi pretreatment pada bahan baku yang berbeda.

| Bahan Baku | Pretreatment | Energi Aktivasi, E_a (kJ / mol) | Ref |
|-------------------------|--|--------------------------------------|-----------|
| Tongkol jagung | <i>Aqueous Ammonia</i> | 61.05 | [9] |
| Ampas tebu | Fraksinasi asam format | 43.50 | [10] |
| Tandan buah kosong | Campuran suhu transisi rendah (LTTMs) | 34.49 | [11] |
| <i>Pinus roxburghii</i> | Autoklaf, diikuti oleh sonikasi probe satu jam bersama dengan pretreatment alkali peroksida lima jam | 14.25 | [3] |
| <i>Cedrus deodara</i> | Autoklaf, diikuti oleh sonikasi probe satu jam bersama dengan pretreatment alkali peroksida lima jam | 13.05 | [3] |
| Sekam Padi | CHPA | 7.44 | Studi ini |

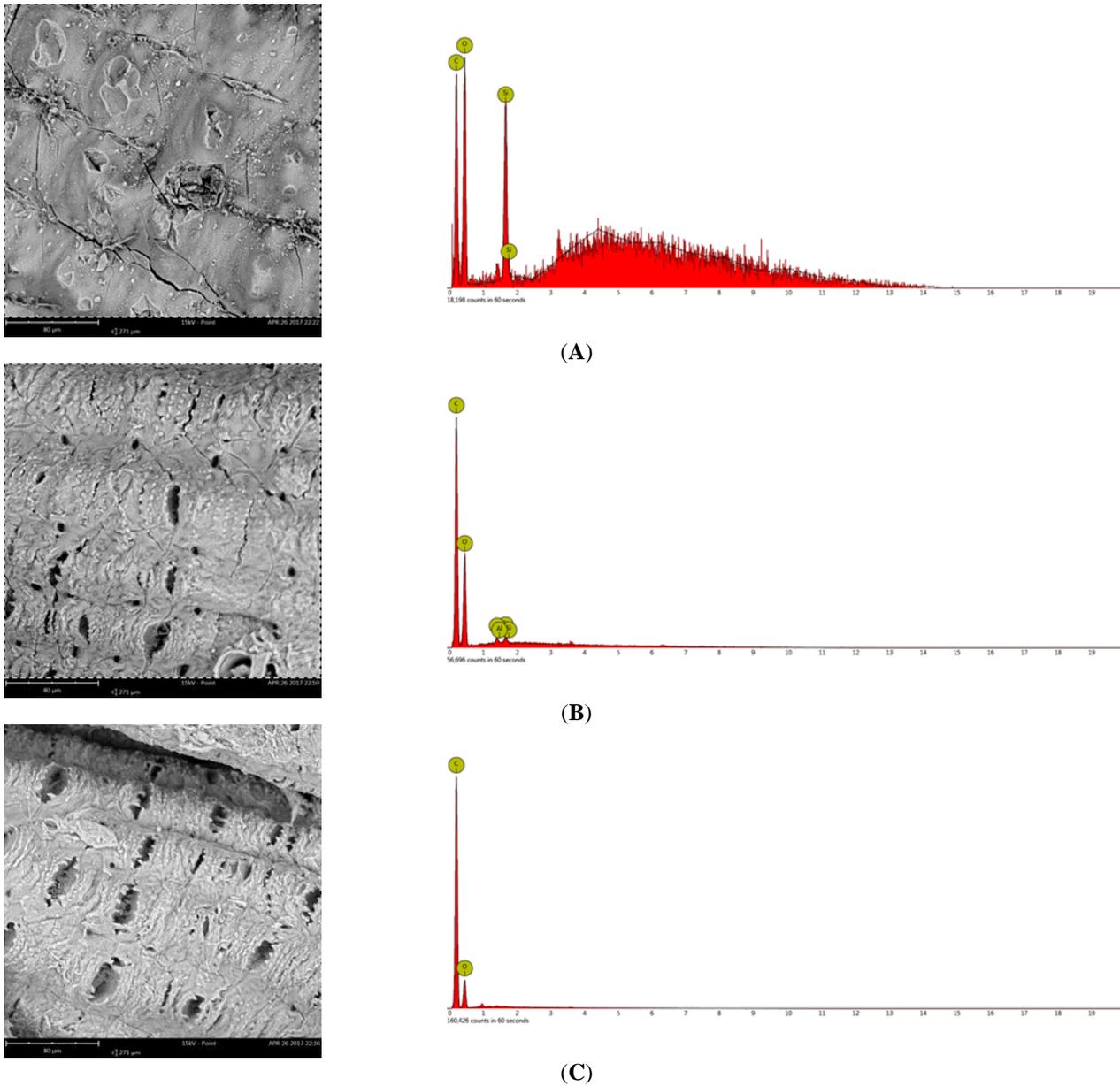
1.3. Scanning Electron Microscope (SEM)–Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)

Dalam penelitian ini, SEM–EDS digunakan untuk memeriksa sekam padi yang telah diolah sebelumnya. Tabel 1.5 menunjukkan bahwa kandungan karbon sekam padi meningkat dari masing-masing 47,60% menjadi 57,27% dan 73,27% untuk *HP* dan *CHPA pretreatment*. Peningkatan kandungan karbon menunjukkan bahwa pretreatment juga meningkatkan selulosa, sementara pemrosesan menurunkan konsentrasi silika. Permukaan lignoselulosaik termasuk phytolith dan bingkai silika yang tidak terpengaruh oleh dekomposisi yang melindungi struktur dari degradasi selulosa sebelum *pretreatment* [12].

Tabel 1.5. Pengaruh sekam padi tanpa *pretreatment* dan diberi *pretreatment* (*HP* dan *CHPA*) terhadap komposisi elemen.

| Nama Sampel | Karbon (C) | | Oksigen (O) | | Silikon (Si) | |
|---------------------------|------------|-----------|-------------|-----------|--------------|-----------|
| | Atom (%) | Berat (%) | Atom (%) | Berat (%) | Atom (%) | Berat (%) |
| Tanpa <i>pretreatment</i> | 56.00 | 47.60 | 40.97 | 46.39 | 3.03 | 6.02 |
| <i>HP pretreatment</i> | 64.29 | 57.27 | 35.29 | 41.87 | - | - |
| <i>CHPA pretreatment</i> | 78.50 | 73.27 | 21.50 | 26.73 | - | - |

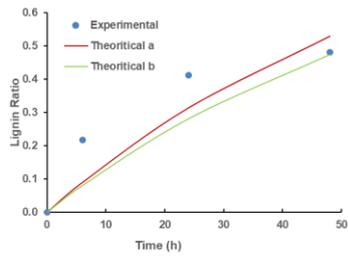
Konsentrasi dan distribusi karbohidrat, serta lignin dalam partikel padat biomassa mentah dan olahan, perlu dikarakterisasi [13]. Hasil ini bermanfaat untuk mengoptimalkan kondisi *pretreatment*, yang mempengaruhi hidrolisis enzimatis yang tidak hanya terkait dengan tingkat *pretreatment* [14]. Gambar 1.3 menunjukkan hasil analisa SEM dari sekam padi tanpa *pretreatment* dan yang diolah *HP* dan *CHPA pretreatment*. Untuk pemeriksaan SEM, bahan yang digunakan meliputi sekam padi tanpa *pretreatment*, *HP pretreatment* dan *CHPA pretreatment* yang keduanya diolah terlebih dahulu dengan H_2O_2 3% pada suhu 80 °C selama 48 jam, dan larutan aqueous ammonia 20% (v/v) pada suhu 100 °C selama 5 jam. Gambar 1.3A menunjukkan sekam padi tanpa *pretreatment*. Karena degradasi ikatan lignin selama *pretreatments*, permukaan sekam padi yang telah diberi *pretreatment* memiliki beberapa lubang (pori), dan struktur kristal selulosa berkurang, yang meningkatkan luas permukaan total untuk susunan kompleks enzim-substrat [15], [16]. Gambar SEM menunjukkan bahwa biomassa yang diolah terdistorsi (Gambar 1.3B,C) karena suhu persiapan *HP* yang tinggi. Tujuan utama dari *pretreatment* adalah untuk menghilangkan lignin dan silika, yang memberikan ketahanan mekanis dan kimia pada struktur biomassa. Namun, perilaku reologi sekam padi berubah setelah *pretreatment* dan bentuk lignoselulosik sekam padi yang telah diberi H_2O_2 berubah. Lapisan lignin sebagian dikeluarkan dari serat sekam padi di berbagai lokasi *CHPA pretreatment* untuk menunjukkan struktur selulosa. Menurut analisis SEM-EDS, jumlah silika dalam sampel yang disiapkan dengan *HP* adalah 6,02%. Sementara itu, Si tidak ditemukan dalam sampel yang disiapkan dengan *CHPA*. Ini menunjukkan bahwa lignin dan silika dikeluarkan dalam jumlah besar dari sekam padi selama pemrosesan. Banyak radikal superoksida dan ion hidroksida dapat mendegradasi dinding sel dengan menambahkan gugus karboksil hidrofilik dan membelah hubungan antar-unit tertentu saat bahan tersebut terpapar untuk waktu yang lama [3] untuk melarutkan lignin dan hemiselulosa. Setelah tahap *pretreatment*, lignin dan hemiselulosis terus berkurang dari matriks, yang membuat struktur lebih berpori, cacat, rapuh, dan ideal untuk hidrolisis enzimatis. Selanjutnya, pada setiap fase *CHPA*, penurunan rantai selulosa yang terus menerus memainkan peran penting dalam ruang pori.



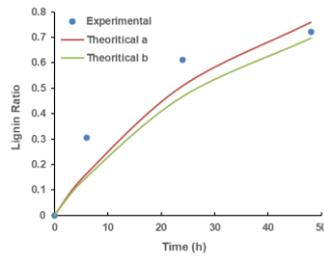
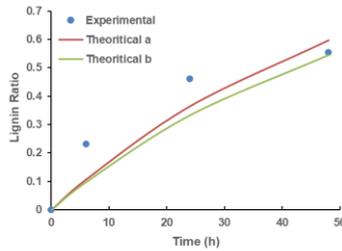
Gambar 1.3. Gambar SEM dan analisis EDS dari sekam padi: **(A)** Sekam padi tanpa pretreatment; **(B)** setelah H_2O_2 pretreatment dengan 3% (v/v) H_2O_2 pada 80 °C selama 48 jam; dan **(C)** setelah dikombinasikan H_2O_2 - aqueous ammonia pretreatment dengan 3% (v/v) H_2O_2 pada 80 °C selama 48 jam dan 20% (v/v) aqueous ammonia pada suhu 100 °C selama 5 jam. Skala perbesaran adalah 80 μm .

1.4. Validasi Model Kinetika Pretreatment

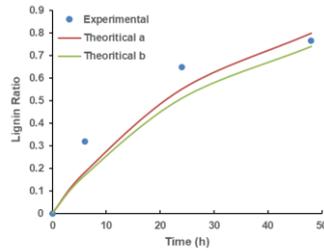
Kedua persamaan yang telah diterapkan agar sesuai dengan hasil eksperimen dan efektivitas model kinetika pretreatment, dinilai dari segi koefisien determinasi (R^2). Gambar 1.4 membandingkan data eksperimen dengan data teoritis, yang dihitung menggunakan Persamaan (2) dan (4). Dalam model ini, potensi maksimal kelarutan lignin pada derajat pretreatment tertentu diasumsikan. Hal ini karena semua lignin dari biomassa dalam kondisi pretreatment tertentu tidak dapat dengan mudah diekstraksi, oleh karena itu, derajat pretreatment juga diusulkan. Derajat pretreatment juga dapat dipengaruhi oleh berbagai variabel seperti pelarut, kondisi perlakuan, dan struktur biomassa [17]. Unsur ini tidak dipertimbangkan dalam model kinetika pretreatment tradisional Persamaan (2). Dibandingkan dengan model yang dijelaskan oleh Persamaan (4), kualitas kecocokan, sebagaimana diukur dengan nilai numerik R^2 (Tabel 1.6), secara substansial lebih baik untuk model seperti yang ditunjukkan oleh Persamaan (4).



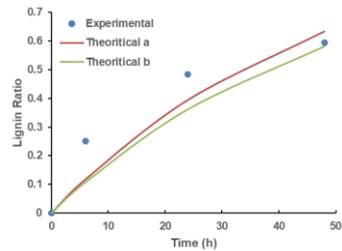
HP30



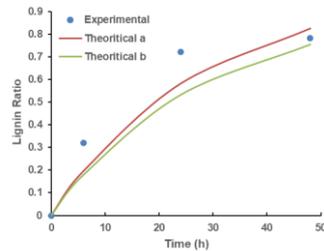
CHPA30



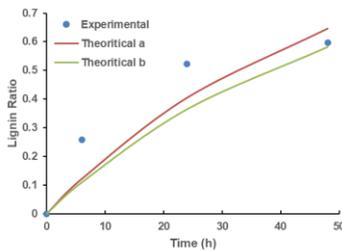
HP40



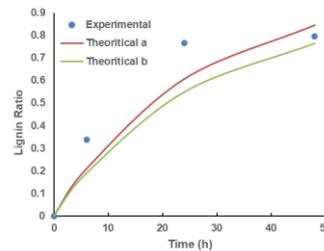
CHPA40



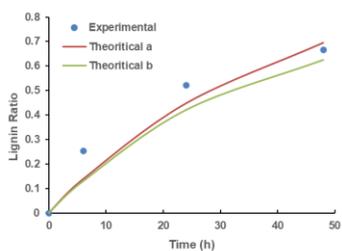
HP50



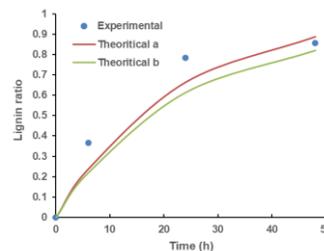
CHPA50



HP60



CHPA60



HP80

CHPA80

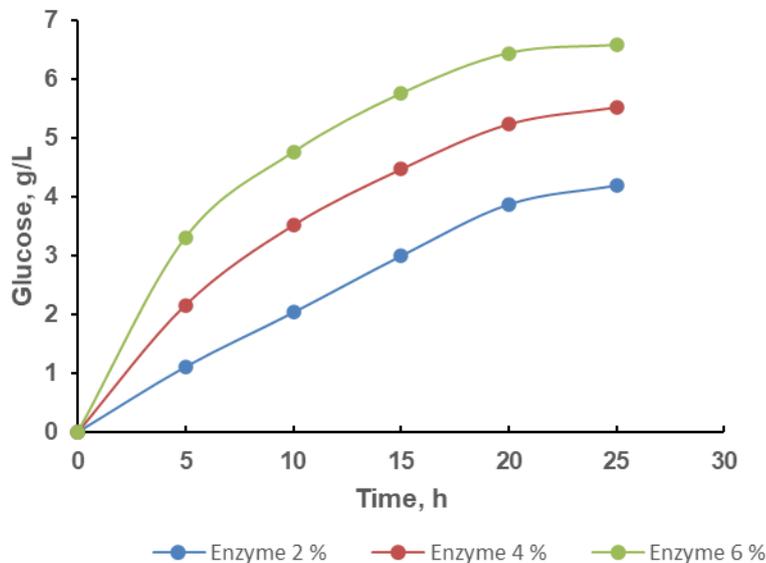
Gambar 1.4. Validasi model kinetika *pretreatment* sekam padi menggunakan data eksperimen; teoritis (a) menggambarkan data eksperimen yang sesuai dengan Persamaan (2), sedangkan teoritis (b) menunjukkan hal yang sama disesuaikan dengan Persamaan (4) termasuk derajat *pretreatment* (Dd). (HP30, HP40, HP50, HP60, dan HP80 adalah *Hydrogen Peroxide Pretreatments* masing-masing pada suhu 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C, dan 80 °C; CHPA30, CHPA40, CHPA50, CHPA60, dan CHPA80 Kombinasi Hidrogen Peroksida–Aqueous Ammonia *Pretreatment* masing-masing pada 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C, dan 80 °C).

Tabel 1.6. Nilai koefisien prediksi (R^2) diperoleh setelah memperkirakan parameter dari dua model kinetika pretreatment alternatif, Persamaan (2) dan (4).

| Persamaan | $\frac{dL}{dt} = K(1 - L)$ | | $\frac{dL}{dt} = K(Dd - L)$ | |
|-----------|----------------------------|-------|-----------------------------|-------|
| | Suhu | HP | CHPA | CHPA |
| | 30 °C | 92.79 | 95.87 | 93.91 |
| | 40 °C | 94.71 | 96.57 | 95.62 |
| | 50 °C | 95.30 | 94.11 | 95.99 |
| | 60 °C | 95.34 | 92.06 | 95.22 |
| | 80 °C | 98.17 | 95.60 | 97.63 |

1.5. Efek Waktu Hidrolisis pada Konsentrasi Gula Setelah CHPA Pretreatment

Gula yang dihasilkan dari sekam padi setelah *CHPA pretreatment*, dievaluasi menggunakan metode DNS dan perilaku sementara ditunjukkan pada Gambar 1.5. Peningkatan produksi glukosa disebabkan oleh peningkatan konsentrasi enzim dari 2% menjadi 6% untuk konsentrasi substrat tertentu. Setelah 25 jam, percobaan hidrolisis dengan konsentrasi enzim 2%, 4%, dan 6% menghasilkan konsentrasi glukosa masing-masing 4,20; 5,53; dan 6,58 g/L. Sementara itu, peningkatan konsentrasi enzim lebih lanjut sering menyebabkan pemulihan glukosa yang lebih tinggi. Peningkatan produksi glukosa terkait dengan konsentrasi enzim yang lebih tinggi per unit substrat. Hal ini menunjukkan kecenderungan reaksi kimia yang biasa, di mana peningkatan molekul yang bereaksi mendorong proses ke kanan untuk menghasilkan produk. Produk ini terbentuk lebih cepat daripada efek pengenceran yang disebabkan oleh aliran air tambahan pada awal reaksi, yang memungkinkan produk menumpuk dan konsentrasi naik [18]. Hal ini membutuhkan agitasi yang lebih kuat untuk mencegah tekanan berat pada enzim yang dapat menghasilkan denaturasi. Namun, penambahan substrat yang lebih tinggi dengan hasil yang lebih baik juga diperlukan untuk aplikasi industri. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa hidrolisis enzimatis lignoselulosa yang mengikat rantai polisakarida dan mengkatalisasi proses difasilitasi oleh enzim [19]. Namun, sebagian besar penelitian tidak memberikan rekomendasi untuk variasi konsentrasi enzim dan durasi hidrolitik, yang merupakan dua parameter penting untuk penggunaan enzim yang optimal dalam aplikasi aktual [20].



Gambar 1.5. Efek waktu hidrolisis pada konsentrasi glukosa pada *CHPA pretreatment*.

Hasil hidrolisis selulosa sangat berkorelasi dengan efek pretreatment, di mana semakin sedikit lignin dalam biomassa, maka hidrolisis secara enzimatis semakin sederhana. Studi sebelumnya [1] menemukan bahwa pengaruh gabungan HP dan aqueous ammonia dapat merusak lignin dan juga mengurangi indeks poli-dispersitas (PI), yang mengarah ke fragmen lignin homogen. Ini menunjukkan bahwa ammonia merusak tautan ester secara spesifik, sementara HP menghancurkan struktur resinol secara selektif. Baik ammonia dan HP memiliki potensi untuk bekerja pada hubungan alkil eter dan aril eter rantai sisi lignin, namun, mereka memiliki efek yang dapat diabaikan pada struktur p-coumaran. Selain itu, sinergi mereka pada lignin menunjukkan mekanisme dasar pretreatment dan memberikan wawasan tentang struktur lignin dan ketahanan biomassa untuk meningkatkan hidrolisis enzimatis. Keberadaan lignin memiliki dampak yang merugikan pada hasil hidrolisis enzimatis. Ini karena adsorpsi lignin yang tidak produktif pada enzim mengarah pada penciptaan kompleks enzim-lignin-enzim,

yang tidak efektif untuk proses [21]. Dalam penelitian ini penggunaan *CHPA pretreatment*, konsentrasi lignin berkurang sehingga produk hidrolisis dapat ditingkatkan, menghasilkan konsentrasi glukosa yang lebih tinggi.

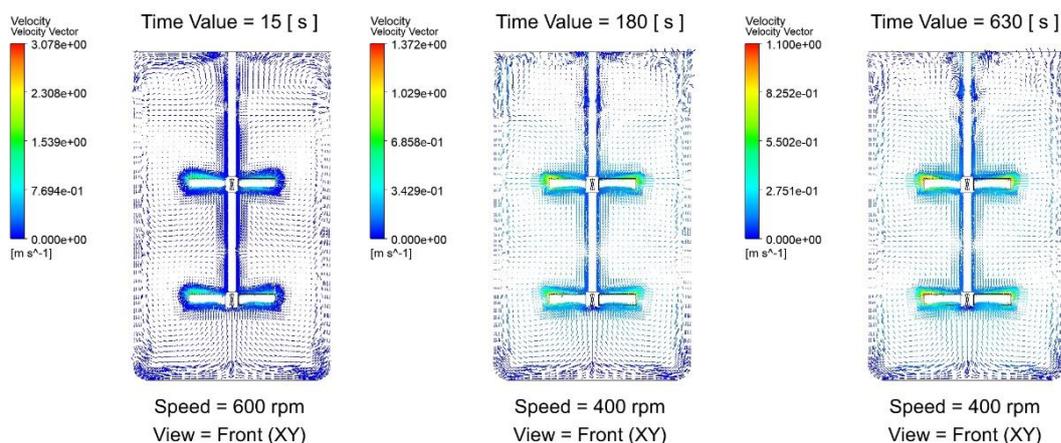
2. Aplikasi CFD Pada Fermentor

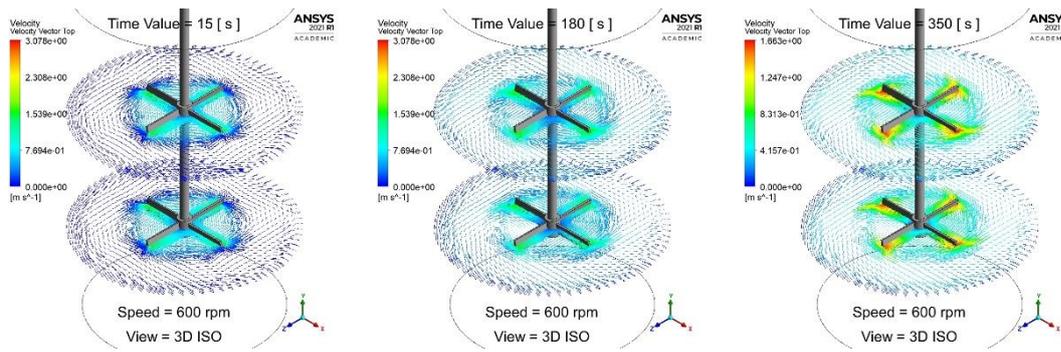
Hasil karakteristik hidrodinamika fermentor bioetanol diperoleh dengan simulasi CFD menggunakan program ANSYS 2021 R1 berlisensi Academic, khususnya FLUENT. Hasil data simulasi seperti *contour* dan *vector* diolah menggunakan perangkat lunak CFD-Post. Validasi hasil simulasi dilakukan dengan membandingkan data simulasi dengan data eksperimental fermentor bioetanol skala lab. Analisis karakteristik hidrodinamika fermentor bioethanol meliputi pola aliran, kontur konsentrasi, kecepatan, *shear stress*, *mixing time* dan torsi. Menurut Madhania dkk. [22], proses *mixing* sebelum fermentasi dalam pembuatan bioetanol merupakan faktor yang sangat penting. Proses *mixing* yang sempurna dalam fermentor harus dicapai agar terbentuk media substrat dengan konsentrasi yang ideal bagi mikroorganisme di tiap titik dalam fermentor.

2.1. Analisis Pola Aliran (Velocity Vector)

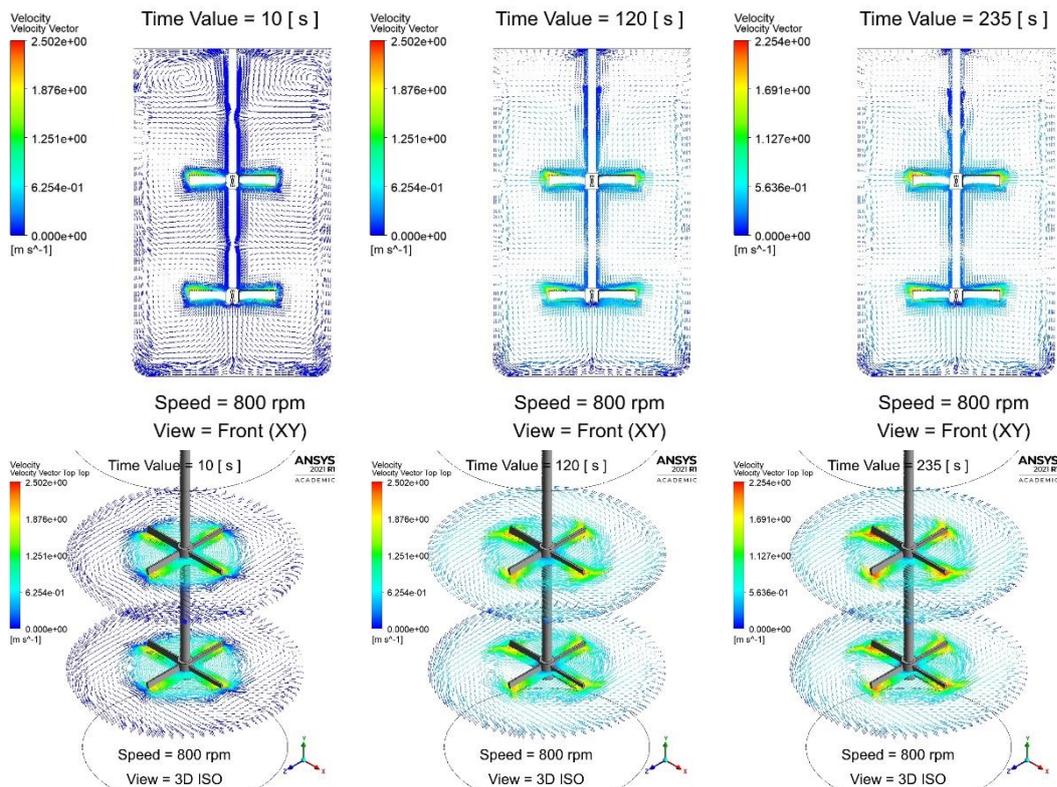
Pola aliran pada simulasi CFD diperoleh dengan menampilkan vektor kecepatan yang telah dilakukan *normalized* pada bidang XY dan ZX seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1. sampai Gambar 2.6. Penggunaan vektor kecepatan *normalized* membuat visual pola aliran menjadi lebih mudah untuk diamati. Hal ini dikarenakan ukuran panah vektor yang diseragamkan yaitu dengan skala 1:3. Berdasarkan hasil vektor kecepatan yang telah diperoleh dapat diamati bahwa panah yang menuju warna merah berarti kecepatannya mendekati kecepatan maksimal sedangkan warna kebiruan menandakan kecepatan mendekati 0, dan arah panah merupakan arah kecepatan. Pada validasi eksperimental, pola aliran juga dapat ditinjau langsung dimana visualisasi glukosa diwarnai dengan iodine. Pola aliran pada *mixing tank* dipengaruhi oleh jenis impeller yang digunakan. Penelitian ini menggunakan impeller berjenis *pitched blade*. Menurut peneliti terdahulu [23], pola aliran yang dihasilkan *impeller pitched blade* adalah *axial*, sedangkan *rushton* menghasilkan pola aliran radial. Jenis impeller yang digunakan pada penelitian ini adalah *pitched blade* dengan derajat kemiringan sebesar 10°. Oleh karena itu pada penelitian ini, pola aliran yang dihasilkan dalam proses *mixing* dari fermentor adalah radial.

Pada konfigurasi *mixing tank* fermentor tanpa baffle yang dapat dilihat pada Gambar 2.1-2.3, dapat diamati pola aliran melalui bidang atas (ZX) yang cenderung berputar terhadap sumbu Y dengan arah yang seragam atau laminar. Tanpa adanya baffle, fluida yang mengalir dalam tangki memiliki sedikit hambatan geometri, sehingga derajat turbulensi yang dihasilkan rendah. Hal ini dapat dilihat dari besar nilai *turbulent dissipation rate* (ϵ) yang berhasil diperoleh dari software ANSYS Fluent. Dari hasil yang diperoleh, dapat dilihat bahwa nilai ϵ pada tangki tanpa baffle lebih besar dibandingkan dengan tangki dengan baffle. Menurut Versteeg dan Malalasekera [24], nilai ϵ yang besar juga menandakan bahwa nilai *turbulent kinetic energy* (k) juga besar. Nilai k yang besar berarti turbulensi yang terjadi di dalam tangki juga semakin besar. Keberadaan baffle juga tidak menjamin bahwa nilai k ikut naik karena di dalam beberapa kasus, nilai k justru turun dengan keberadaan baffle [25]. Terlepas dari nilai k yang lebih besar, distribusi dari nilai k di dalam tangki juga harus diperhatikan. Nilai k yang tinggi namun tidak merata hanya akan menciptakan *dead spot* yang mengganggu proses *mixing* [26].

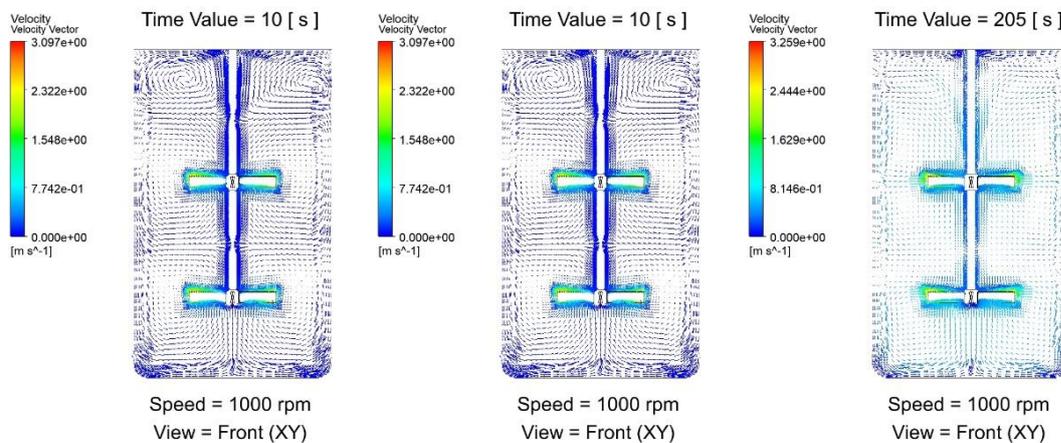


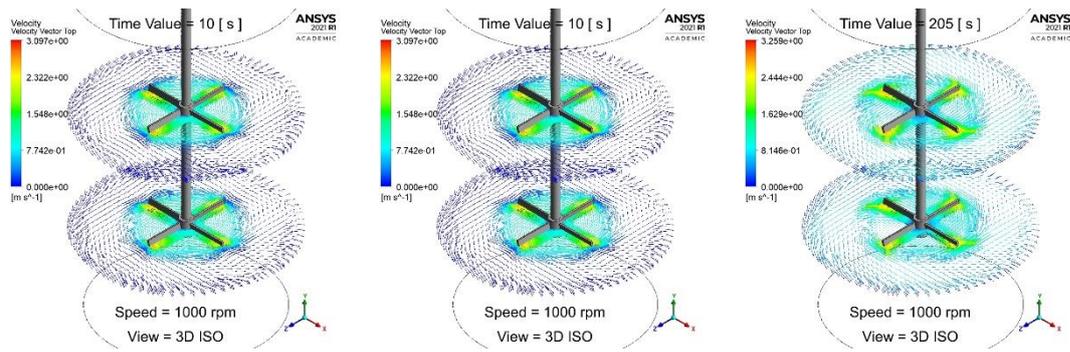


Gambar 2.1. Perbandingan Pola Aliran (*Velocity vector*) Campuran Glukosa-Air dalam Tangki Tanpa Baffle pada Kecepatan 600 RPM dengan Durasi Pencampuran 15 s, 180 s, dan 350 s.



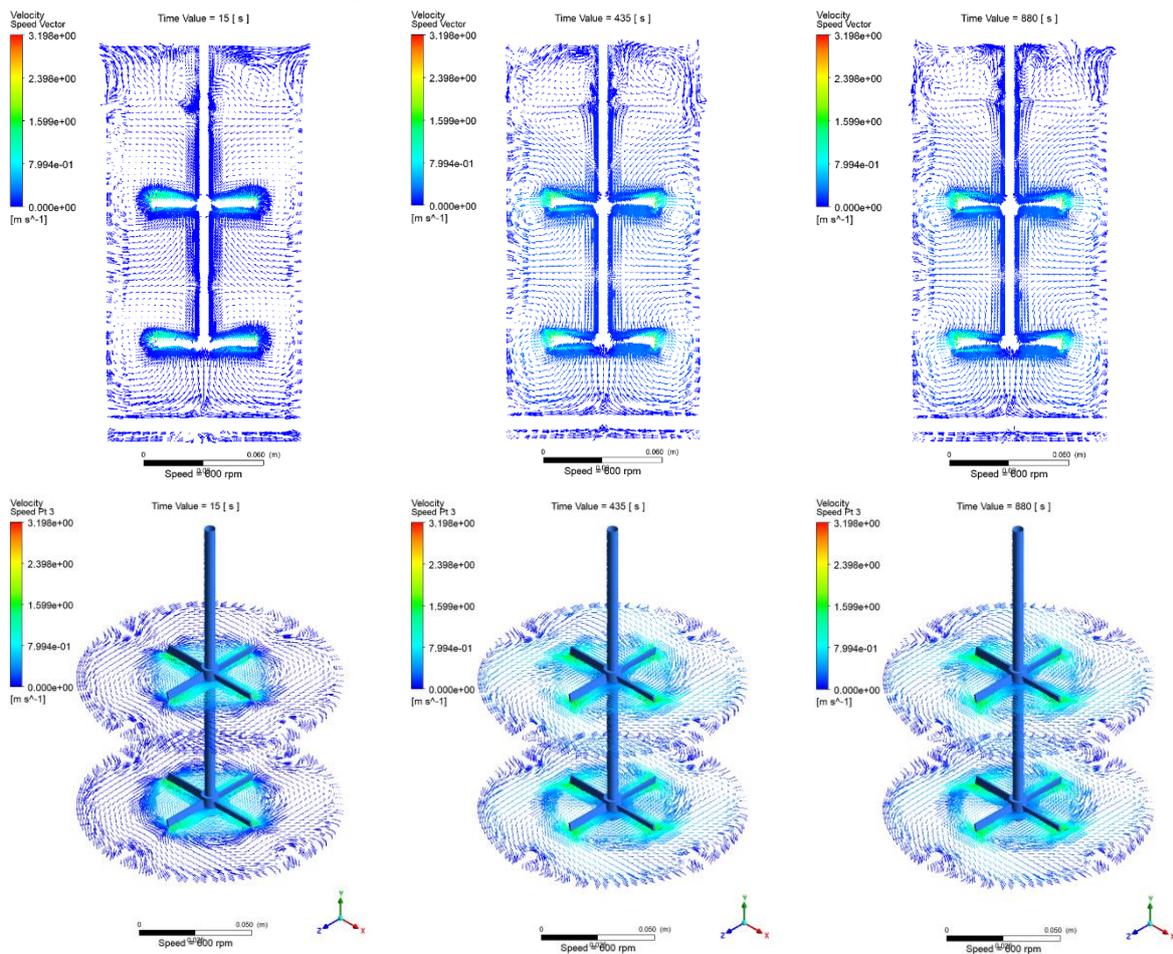
Gambar 2.2. Perbandingan Pola Aliran (*Velocity vector*) Campuran Glukosa-Air dalam Tangki Tanpa Baffle pada Kecepatan 800 RPM dengan Durasi Pencampuran 10 s, 120 s, dan 235 s.



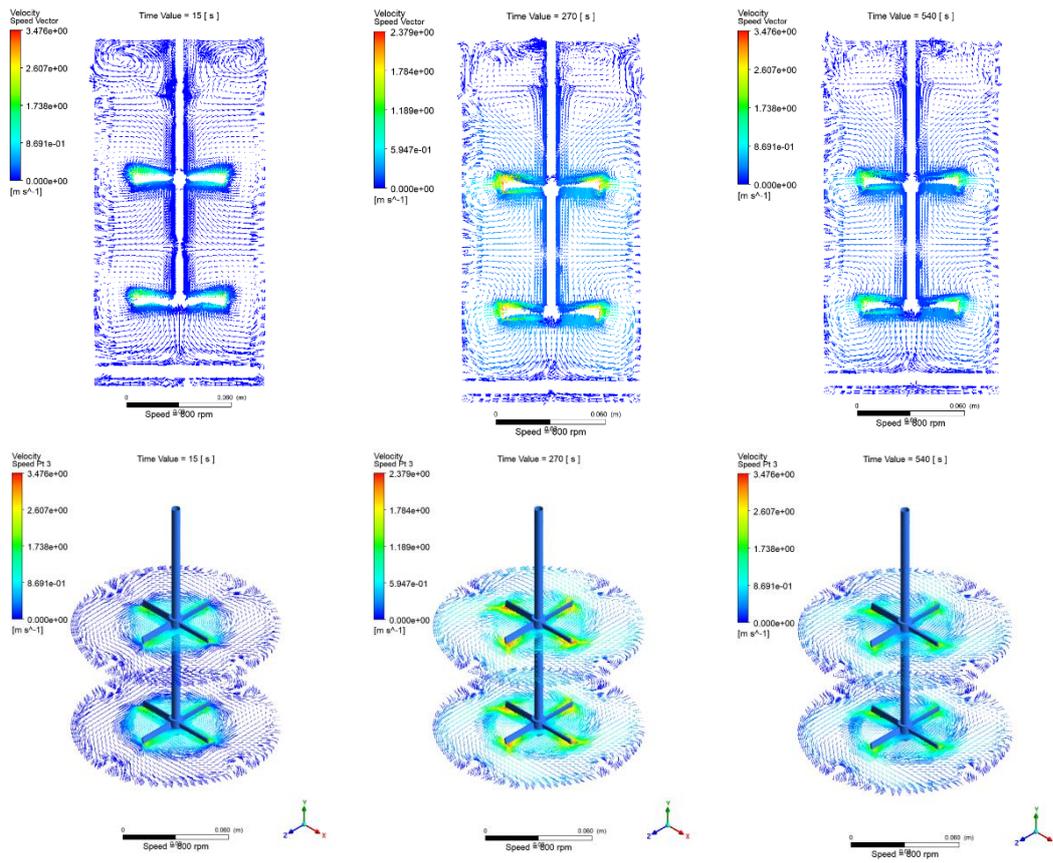


Gambar 2.3. Perbandingan Pola Aliran (*Velocity vector*) Campuran Glukosa-Air dalam Tangki Tanpa Baffle pada Kecepatan 1000 RPM dengan Durasi Pencampuran 10 s, 100 s, dan 205 s.

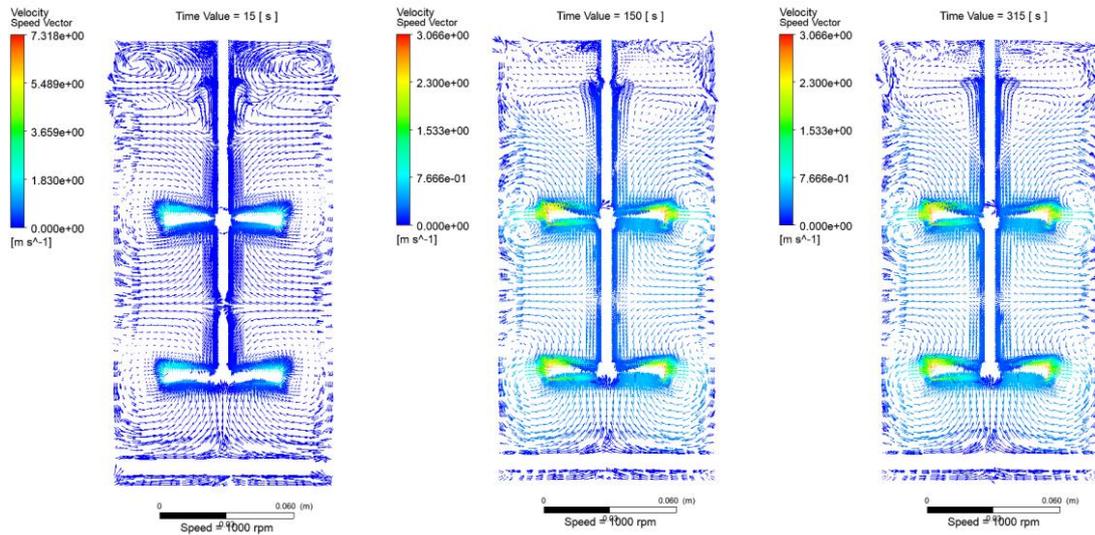
Konfigurasi *mixing tank fermentor* yang dilengkapi baffle ditunjukkan pada Gambar 2.4-2.6, pola aliran pada tangki dengan baffle memiliki kecenderungan untuk berputar terhadap sumbu Y. Kecenderungan ini terjadi pada setiap pola aliran untuk setiap kecepatan. Perbedaan yang signifikan dalam pola aliran terjadi pada daerah sekitar impeller. Aliran air yang terjadi pada bagian pinggir tangki terlihat seperti diarahkan ke arah impeller pada tangki dengan baffle. Hal ini berlawanan dengan aliran yang terjadi pada tangki tanpa baffle dimana fenomena ini tidak terjadi. Keadaan ini terjadi dikarenakan aliran air yang menabrak baffle selama proses pengadukan sehingga aliran radial yang terjadi akan terhenti dan berubah menjadi aliran aksial yang mengarah ke daerah impeller. Fenomena ini dapat terlihat lebih jelas lagi dengan melihat hasil gambar dari tampak atas.

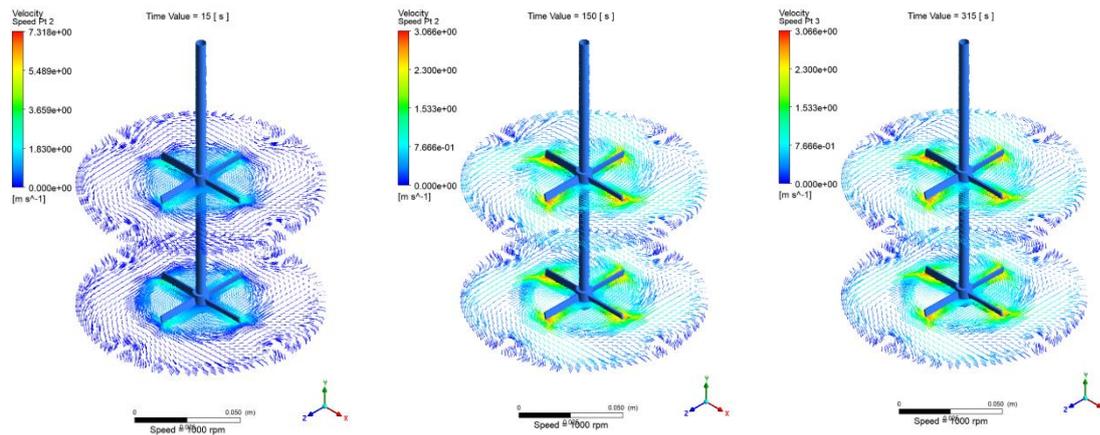


Gambar 2.4. Perbandingan Pola Aliran Campuran Glukosa-Air dalam Tangki dengan Baffle pada Kecepatan 600 RPM dengan Durasi Pencampuran 15 s, 435 s, dan 880 s.



Gambar 2.5. Perbandingan Pola Aliran Campuran Glukosa-Air dalam Tangki dengan Baffle pada Kecepatan 800 RPM dengan Durasi Pencampuran 15 s, 270 s, dan 540 s.





Gambar 2.6. Perbandingan Pola Aliran Campuran Glukosa-Air dalam Tangki dengan Baffle pada Kecepatan 1000 RPM dengan Durasi Pencampuran 15s, 160s, dan 315s.

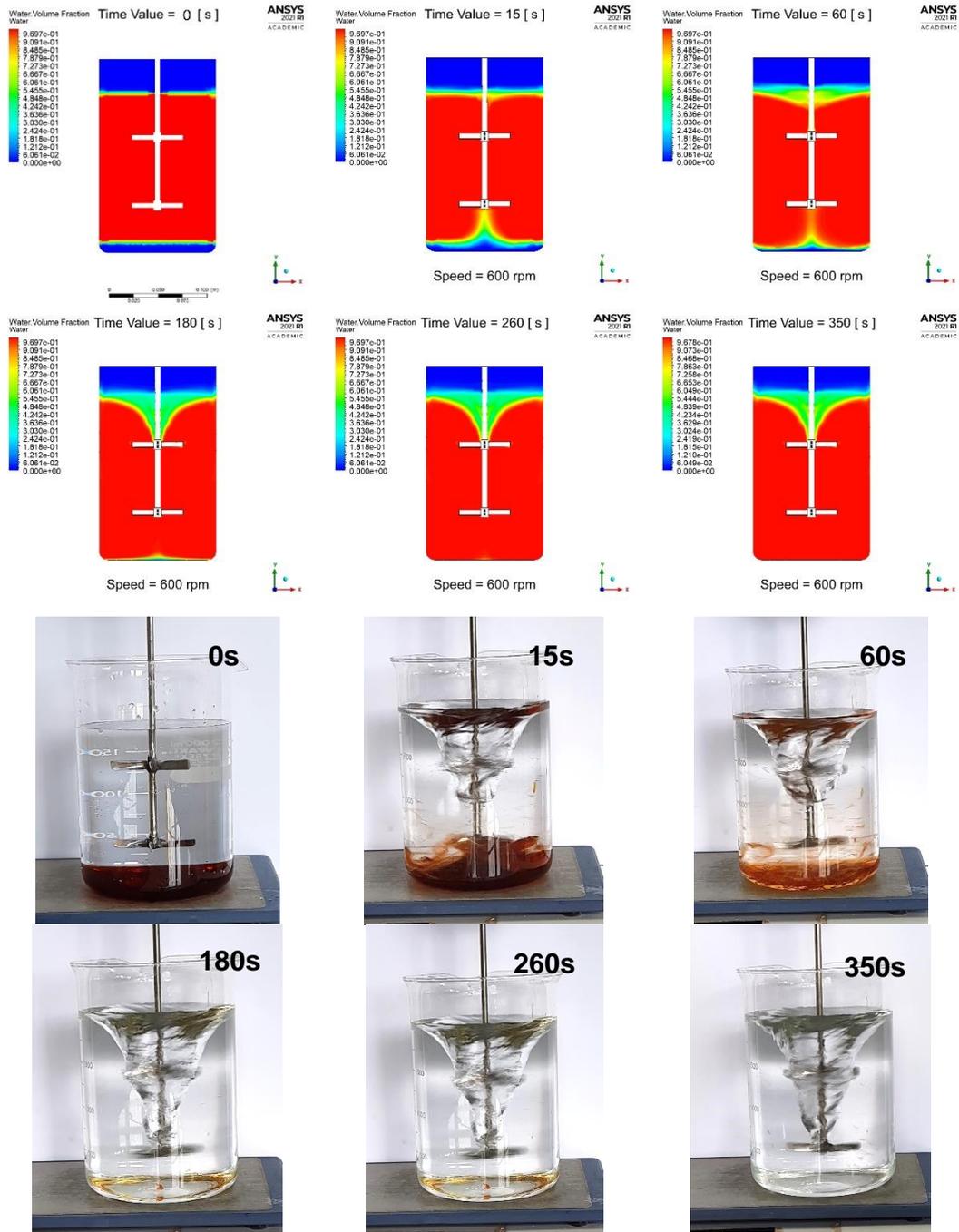
Hasil pengadukan dengan kecepatan 200 rpm gagal diperoleh dikarenakan terjadi *floating point exception* pada proses perhitungan pada iterasi ke 13803. Perhitungan kemudian terhenti ketika *floating point exception* terjadi. Hal ini tidak terjadi pada proses perhitungan untuk kecepatan yang lainnya. Hal ini dapat terjadi karena nilai *time step* yang terbilang tinggi yaitu 5 s. Nilai 5 s ini digunakan karena proses pengadukan yang sangat lama sehingga *time step* yang besar diperlukan untuk mempercepat hasil. Iterasi total telah dilakukan untuk proses 57,5 menit, apabila diamati dari jumlah iterasi, hanya sekitar 53,0606% dari waktu hasil validasi. Proses iterasi ini telah memakan memori sebesar 165 GB. Apabila ukuran *time step* diperkecil untuk mengurangi kemungkinan *floating point exception*, perangkat yang digunakan untuk simulasi tidak akan mampu menyimpan hasil perhitungan yang telah dilakukan.

Pola aliran yang terjadi pada tiap waktu pencampuran (*mixing time*) yang tampak berbeda secara signifikan, ditunjukkan pada Gambar 2.1. sampai Gambar 2.6. Perbedaan mencolok ada pada area fase glukosa yang belum terdispersi ke fase air yaitu pola aliran cenderung untuk membentuk pola linier horizontal. Hal ini dikarenakan glukosa merupakan fluida yang kental sehingga kecepatan aliran sangat rendah di awal proses pencampuran. Namun seiring dengan bertambahnya waktu kecepatan juga bertambah naik.

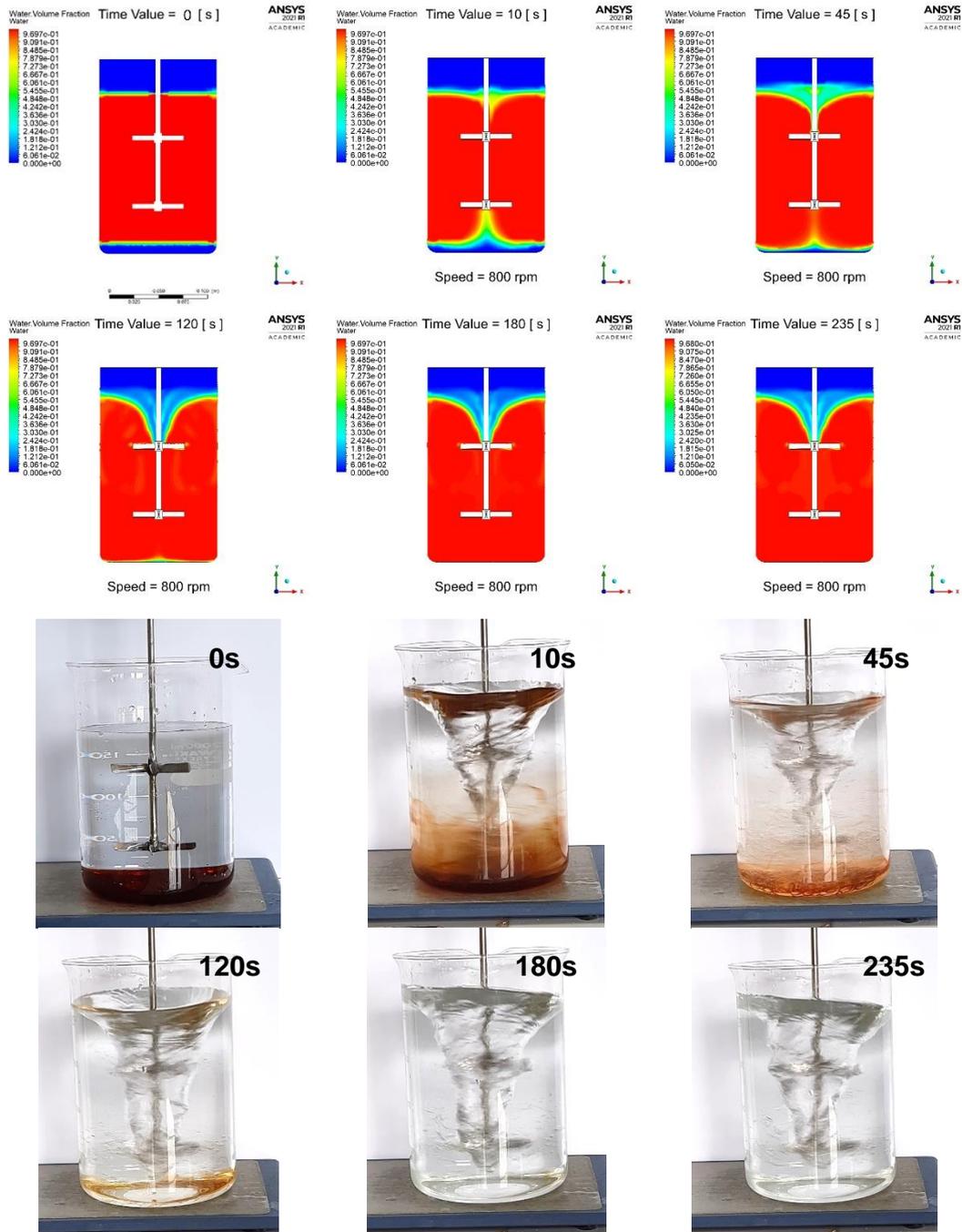
2.2. Analisis Kontur Konsentrasi

Kontur konsentrasi hasil simulasi CFD diperoleh dengan menampilkan kontur fraksi volume air pada bidang XY seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7. sampai Gambar 2.12. Kontur fraksi volume air ditampilkan agar fenomena *mixing* dapat diamati secara jelas. Besarnya nilai fraksi volume air dapat diamati secara visual dengan warna kontur berdasarkan legenda kontur yang terlampir. Berdasarkan kontur konsentrasi yang telah diperoleh dapat diamati zona berwarna merah yang menandakan zona tersebut mengandung air dalam konsentrasi yang tinggi, sedangkan warna biru menandakan zona tersebut mengandung air dengan konsentrasi yang rendah. Awalnya pada detik ke 0, terdapat 3 zona yang berbeda dalam fermentor yaitu zona biru bagian bawah yang menandakan cairan glukosa, sedangkan zona merah merupakan air, dan zona biru bagian atas merupakan udara. Selama proses *mixing* berlangsung, fase cairan glukosa akan berpindah ke fase air yang disebabkan oleh agitasi sehingga fluida dapat bergerak sesuai dengan pola aliran yang sudah dibahas pada sebelumnya.

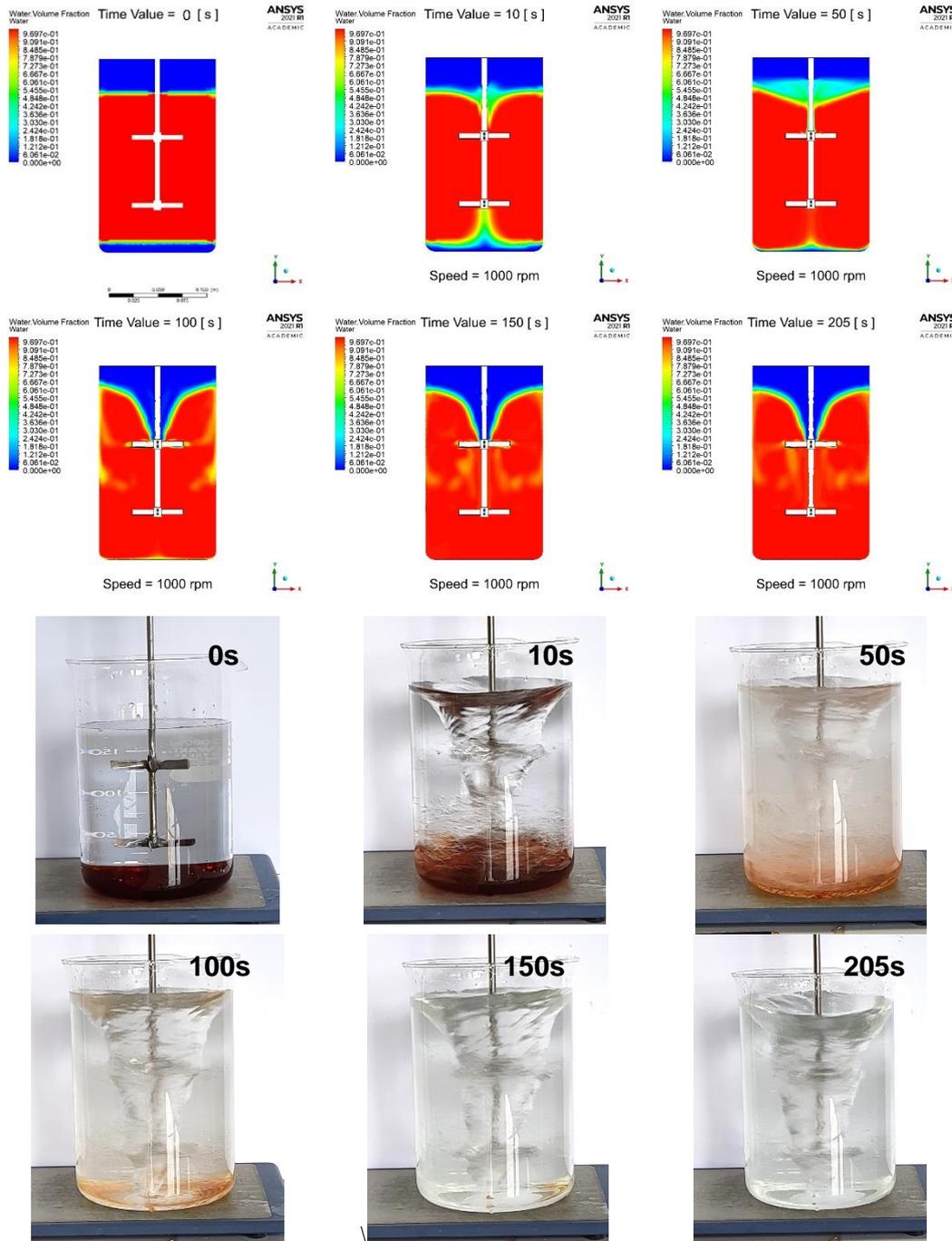
Konfigurasi *mixing tank* fermentor tanpa baffle ditunjukkan pada Gambar 2.7. sampai dengan Gambar 2.9., fenomena terbentuknya *vortex* terjadi dan dapat diamati pada hasil simulasi. Fenomena *vortex* pada proses *mixing* selalu tidak diinginkan, karena gaya sentrifugal yang menyebabkan rotasi cairan berlawanan dengan proses pengadukan *mixing* [27]. Terbentuknya *vortex* pada hasil simulasi CFD dapat diamati di bagian tengah *mixing tank*, yang direpresentasikan oleh zona udara (biru atas) yang berbentuk seperti *vortex* pada umumnya. Perbandingan antara fenomena *vortex* antara hasil simulasi CFD dan validasi eksperimental menunjukkan bahwa hasil simulasi CFD dapat memprediksi fenomena terbentuknya *vortex* dengan baik. Namun, pada kecepatan pengadukan yang semakin tinggi, keekstreman fenomena *vortex* yang terbentuk pada hasil simulasi CFD kurang selaras dengan hasil validasi eksperimental. Hal ini juga berlaku terhadap pergerakan fase cairan glukosa yang ditandai dengan perubahan warna pada bagian dasar *mixing tank*. Ketidaktepatan ini dapat terjadi karena kurang sesuai penggunaan model *viscous* (turbulensi) dan/atau model *multiphase*. Mustafa dkk [28] menemukan bahwa kecepatan pengaduk dalam reaktor mempengaruhi hasil simulasi dan validasi *vortex* yang terbentuk. Selain itu, penggunaan jenis model *multiphase* yang berbeda juga menghasilkan pembentukan *vortex* dan keakuratan hasil validasi yang berbeda, dimana penggunaan model *multiphase* Euler-Euler memberikan hasil yang lebih tepat dibandingkan dengan model Euler-Lagrange [29].



Gambar 2.7. Perbandingan Visual Kontur Konsentrasi Air dalam Tangki Tanpa Baffle dengan Kecepatan 600 RPM pada Durasi Pencampuran 0 s, 15 s, 60 s, 180 s, 260 s, dan 350 s.



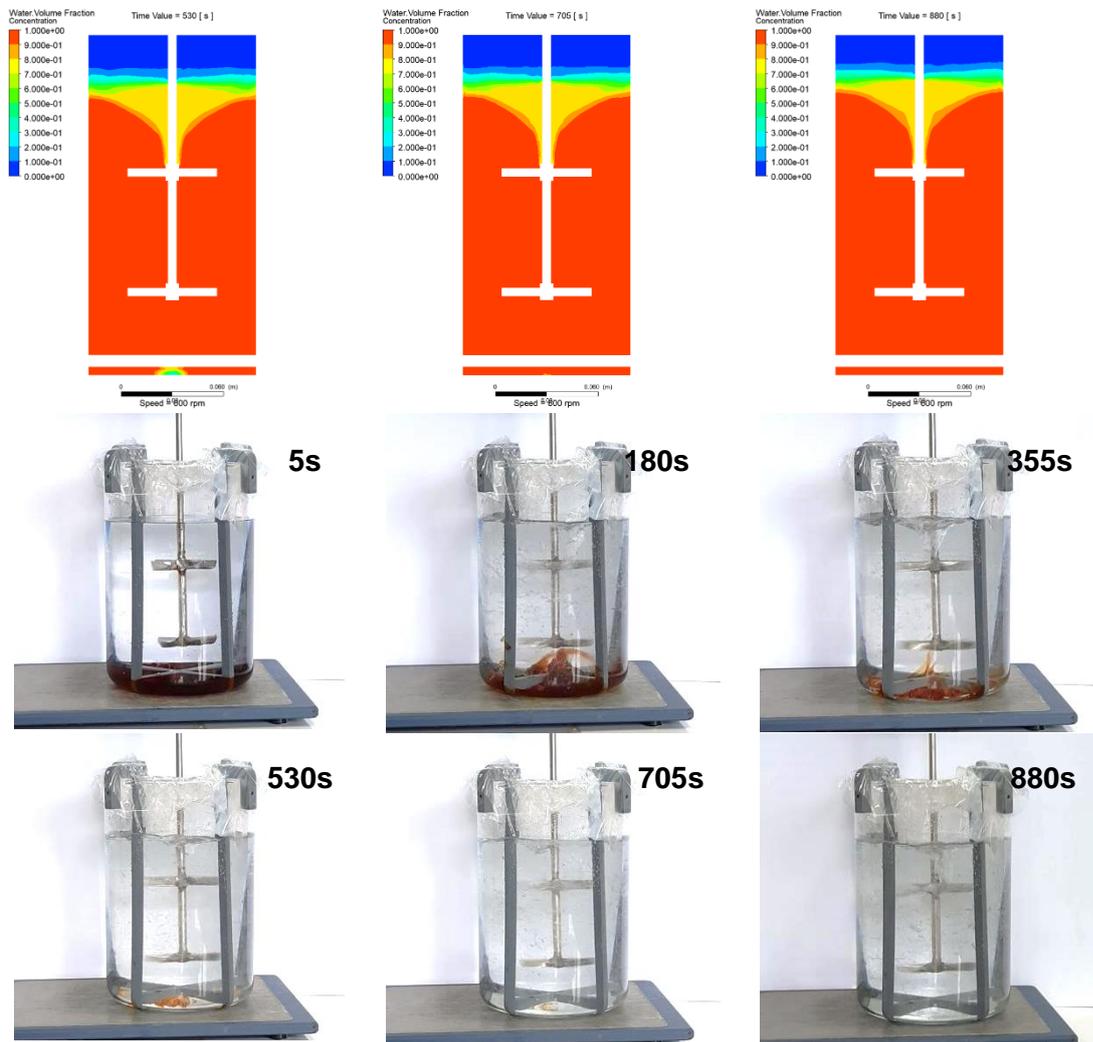
Gambar 2.8. Perbandingan Visual Kontur Konsentrasi Air dalam Tangki Tanpa Baffle dengan Kecepatan 800 RPM pada Durasi Pencampuran 0 s, 10 s, 45 s, 120 s, 180 s, dan 235 s.



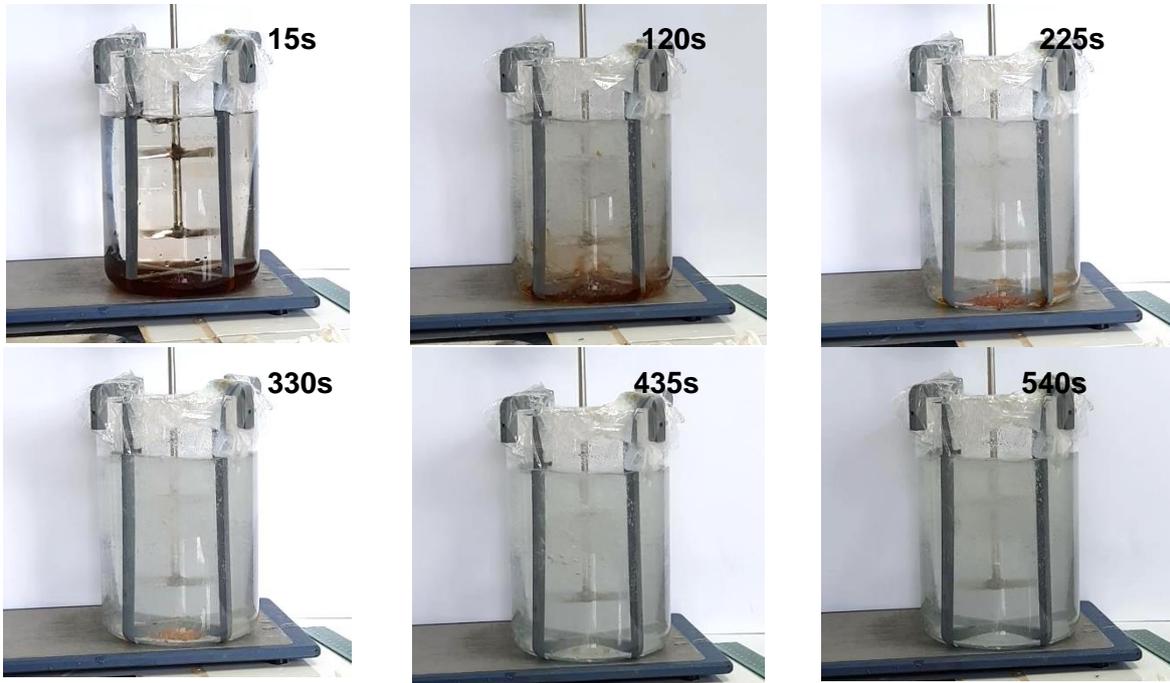
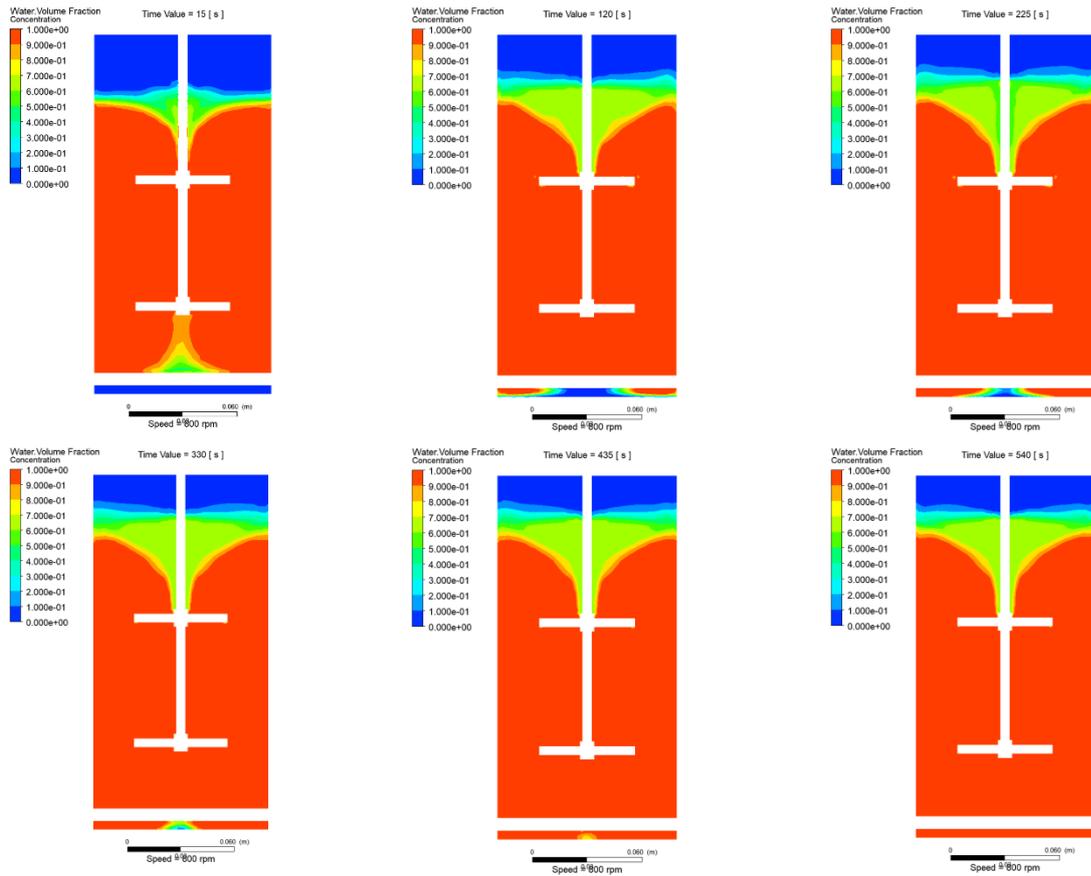
Gambar 2.9. Perbandingan Visual Kontur Konsentrasi Air dalam Tangki Tanpa Baffle dengan Kecepatan 1000 RPM pada Durasi Pencampuran 0 s, 10 s, 50 s, 100 s, 150 s, dan 205 s.

Konfigurasi mixing tank fermentor tanpa baffle ditunjukkan pada Gambar 2.10. sampai dengan Gambar 2.12. Keberadaan baffle di dalam tangki berpengaduk mampu mengubah keberadaan *vortex* yang ada selama proses pengadukan terjadi. Hal ini dapat diamati dari hasil kontur konsentrasi yang diperoleh. Untuk kecepatan yang sama, apabila dibandingkan, maka akan terlihat bahwa hasil kontur konsentrasi air yang didapatkan memiliki warna yang lebih gelap pada daerah yang terbentuk *vortex*. Hal ini berarti ada lebih banyak jumlah air pada daerah *vortex* yang terbentuk selama pengadukan untuk kondisi dengan penggunaan baffle dibandingkan dengan tanpa baffle. Hal ini juga berarti ukuran *vortex* yang muncul tidak terlalu ekstrem untuk tangki dengan baffle ketika dibandingkan dengan kondisi tanpa penggunaan baffle. Sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Zhou dkk. [30], yang menyimpulkan bahwa keberadaan baffle mampu mengurangi keberadaan *vortex* yang muncul selama proses pengadukan hingga pada tahap tertentu, baik secara simulasi maupun eksperimental. Untuk kontur konsentrasi glukosa, sama seperti pada kondisi tanpa baffle, hasil yang ditunjukkan tidak terlalu selaras dengan

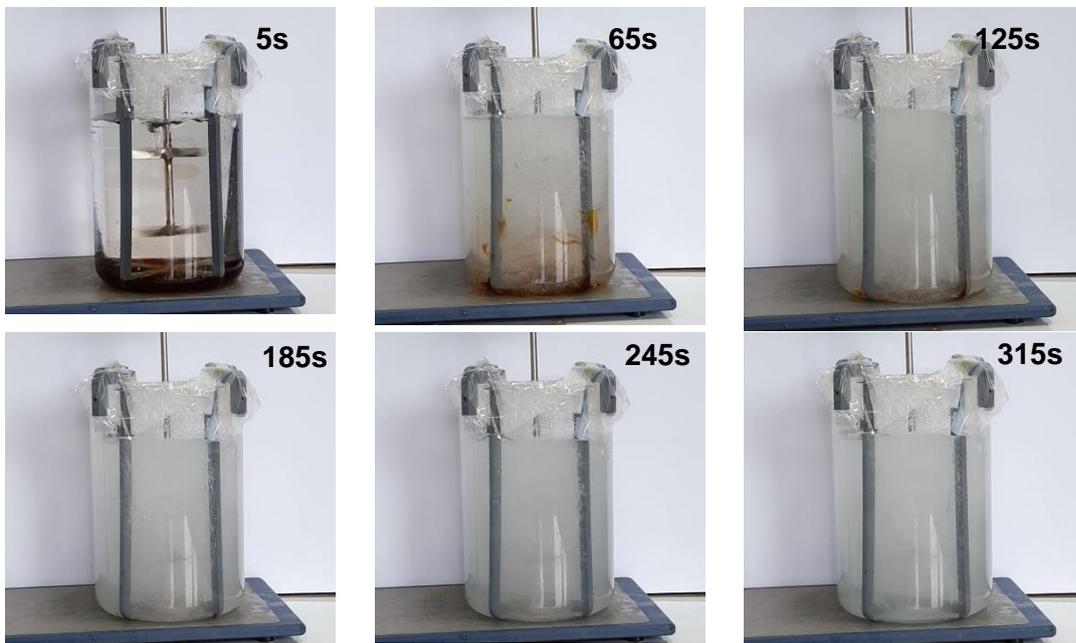
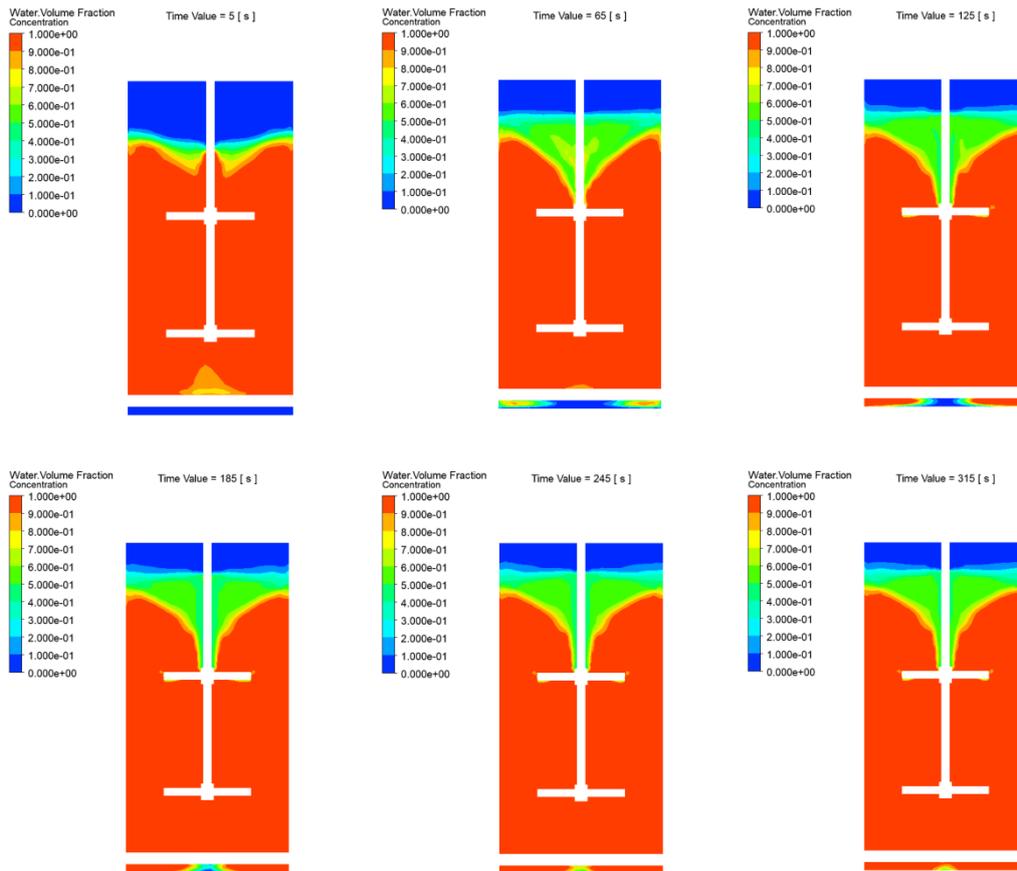
hasil yang didapatkan secara eksperimental pada kecepatan tinggi. Keekstreman pada pengadukan kecepatan tinggi juga tidak terlalu mampu untuk dilihat di dalam kontur konsentrasi yang ada. Ketidakterampilan ini dapat terjadi karena kurang sesuainya pemilihan jenis model *viscous* (turbulensi) dan atau model *multiphase*.



Gambar 2.10. Perbandingan Visual Kontur Konsentrasi Air dalam Tangki yang Dilengkapi Baffle dengan Kecepatan 600 RPM pada Durasi Pencampuran 5 s, 180 s, 355 s, 530 s, 705 s, dan 880 s.



Gambar 2.11. Perbandingan Visual Kontur Konsentrasi Air dalam Tangki yang Dilengkapi Baffle dengan Kecepatan 800 RPM pada Durasi Pencampuran 15 s, 120 s, 225 s, 330 s, 435 s, dan 540 s.



Gambar 2.12. Perbandingan Visual Kontur Konsentrasi Air dalam Tangki yang Dilengkapi Baffle dengan Kecepatan 1000 RPM pada Durasi Pencampuran 5 s, 65 s, 125 s, 185 s, 245 s, dan 315 s.

2.3. Torsi

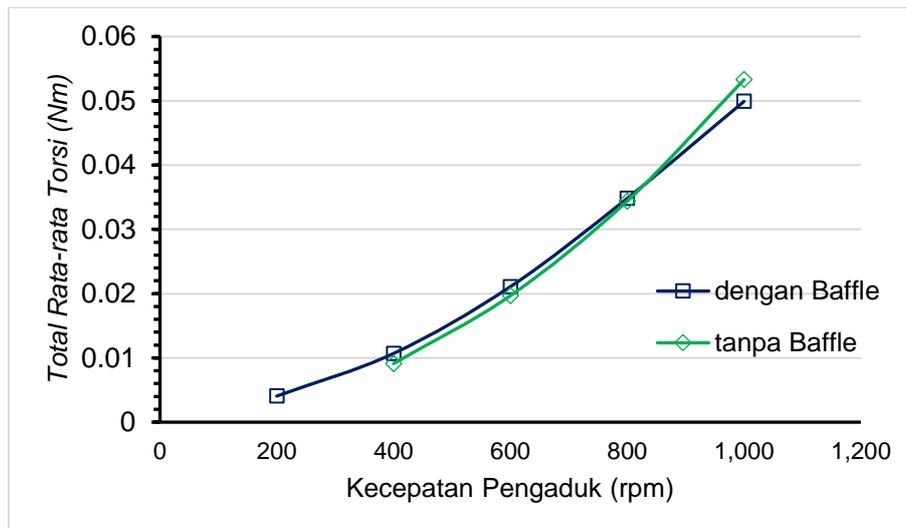
Masing-masing nilai torsi pada tiap impeller diperoleh dari simulasi dengan CFD. Besarnya nilai torsi berbanding lurus terhadap daya impeller dan semakin besar daya impeller maka konsumsi energi juga semakin besar. Daya impeller pada tiap kondisi *mixing tank* fermentor dapat dihitung dengan persamaan [31]:

$$P = \frac{\pi MN_{rpm}}{30} \quad (7)$$

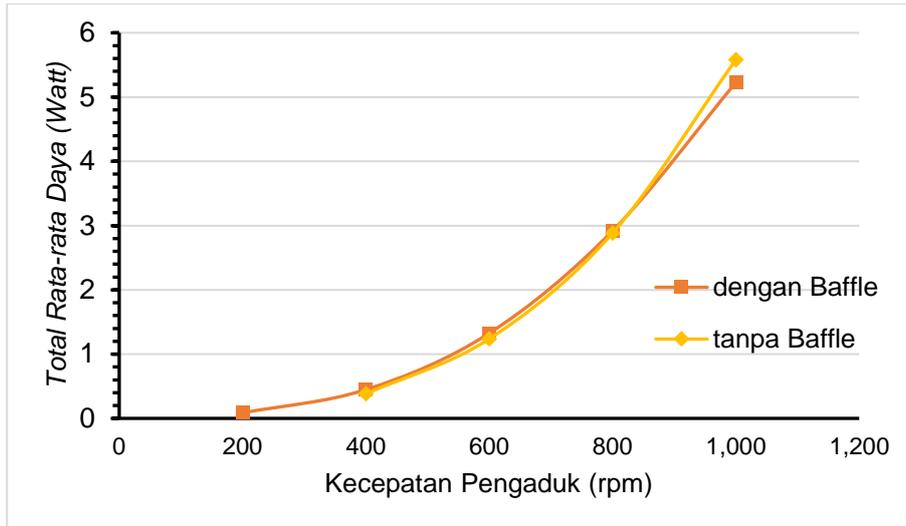
Nilai rata-rata torsi, total torsi, dan total daya saat proses mixing berlangsung disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Nilai Rata-rata Torsi, Total Torsi, dan Total Daya pada Berbagai Variabel

| Konfigurasi Baffle | Kecepatan Pengadukan (rpm) | Rata-rata Torsi (Nm) | | Total Torsi (Nm) | Total Daya (W) |
|--------------------|----------------------------|----------------------|---------------|------------------|----------------|
| | | Impeller Bawah | Impeller Atas | | |
| Ada | 200 | - | - | - | - |
| | 400 | -0,0044 | -0,0047 | -0,0091 | 0,3819 |
| | 600 | -0,0095 | -0,0102 | -0,0197 | 1,2370 |
| | 800 | -0,0168 | -0,0176 | -0,0344 | 2,8827 |
| | 1000 | -0,0266 | -0,0267 | -0,0533 | 5,5822 |
| Tidak ada | 200 | -0,0022 | -0,0018 | -0,0041 | 0,0851 |
| | 400 | -0,0058 | -0,0049 | -0,0107 | 0,4479 |
| | 600 | -0,0111 | -0,0100 | -0,0211 | 1,3248 |
| | 800 | -0,0179 | -0,0170 | -0,0348 | 2,9175 |
| | 1000 | -0,0259 | -0,0240 | -0,0499 | 5,2272 |



Gambar 2.13. Pengaruh Kecepatan Pengaduk terhadap Total Rata-Rata Torsi pada Berbagai Variabel



Gambar 2.14. Grafik Pengaruh Kecepatan Pengaduk terhadap Total Rata-rata Daya pada Berbagai Variabel

Seperti yang dapat diamati pada Gambar 2.13. dan 2.14., semakin tinggi kecepatan pengadukan impeller pada tiap konfigurasi, maka semakin besar torsi dan energi yang dibutuhkan. Hal ini sesuai dengan konsep dasar torsi yang merupakan kecenderungan gaya untuk menyebabkan rotasi atau perputaran suatu objek [32], sehingga semakin tinggi rotasi per satuan waktu maka semakin banyak gaya yang diperlukan. Meningkatnya torsi dan kecepatan putaran pengadukan berkontribusi pada peningkatan daya atau kebutuhan energi per satuan waktu sesuai dengan Persamaan 7.

Perbedaan terlihat ketika daya untuk pengadukan pada tangki dengan baffle dibandingkan dengan daya untuk pengadukan pada tangki tanpa baffle. Ketika dibandingkan, terlihat bahwa daya pada tangki tanpa baffle lebih besar dibandingkan dengan daya pada tangki dengan baffle dengan pengecualian pada kecepatan 1000 rpm. Hal ini terjadi karena perbedaan nilai torsi yang terjadi selama proses pengadukan. Nilai torsi untuk setiap kondisi dapat dilihat pada Tabel 2.1. Keberadaan baffle menyebabkan nilai torsi berkurang, maka terjadi arus balik dikarenakan aliran yang menabrak baffle. Arus balik ini membantu mencegah terjadinya *vortex* dan sekaligus mampu menurunkan nilai torsi secara keseluruhan karena aliran ini berlawanan dengan aliran putaran impeller.

2.4. Shear Stress

Shear stress memiliki kaitan dengan ketahanan sel mikroorganisme di dalam proses pengadukan yang disebabkan oleh turbulensi. Menurut Nienow (2006), jika ukuran sel lebih kecil dibandingkan dengan Kolmogorov length scale (l_e), maka sel tidak akan rusak dikarenakan turbulensi. Kolmogorov length scale merupakan nilai kritis ketika sel rusak disebabkan oleh turbulensi, dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 8. Perhitungan *shear stress* dilakukan dengan menggunakan Persamaan 9 [34] atau Persamaan 10 yang dikutip dari Liu dkk. (2016). Basis ukuran *Saccharomyces cerevisiae* untuk proses fermentasi yang digunakan untuk menganalisis terjadinya kerusakan sel adalah 3-5 μm [36]. Dikarenakan Kolmogorov length scale pada tiap konfigurasi fermentor lebih besar daripada ukuran sel, maka Persamaan 9 yang digunakan untuk menghitung *shear stress* akibat turbulensi.

$$l_e = \left(\frac{\mu^3}{\rho^3 \varepsilon} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (8)$$

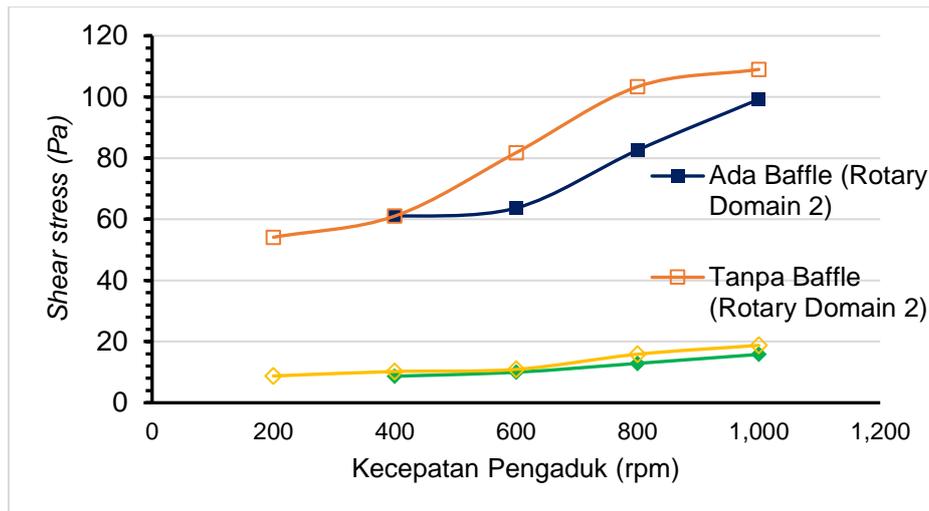
$$\tau_t = \frac{5}{2} \mu \sqrt{\frac{\varepsilon}{6\nu}}, \text{ jika } d_{cell} < l_e \quad (9)$$

$$\tau_d = \rho (\varepsilon d_{cell})^{\frac{2}{3}}, \text{ jika } d_{cell} > l_e \quad (10)$$

Nilai dari densitas, viskositas dinamik, laju disipasi energi turbulensi rata-rata, dan viskositas kinematik yang digunakan untuk menghitung Kolmogorov length scale dan *shear stress* diperoleh dari simulasi CFD. Perhitungan rata-rata *shear stress* dilakukan pada 4 jenis zona yaitu Rotary Domain 1 (impeller bagian atas), Rotary Domain 2 (impeller bagian bawah), Stationary Domain (sisa keseluruhan zona), dan rata-rata keseluruhan zona. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 2.2. Data *shear stress* rata-rata keseluruhan zona dan zona Rotary Domain 2 pada berbagai kondisi divisualisasikan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada Gambar 2.15.

Tabel 2.2. Nilai Kolmogorov Length Scale dan Rata-rata *Shear Stress* pada Berbagai Kondisi dan Zona

| Konfigurasi Baffle | Kecepatan Pengadukan (rpm) | Zona Fermentor | $l_e(\text{m}) \times 10^{-6}$ | τ_t (Pa) |
|--------------------|----------------------------|-----------------------|--------------------------------|---------------|
| Ada | 400 | Rotary Domain 1 | 491,8833 | 46,9814 |
| | | Rotary Domain 2 | 431,7514 | 60,9793 |
| | | Stationary Domain | 1.655,6229 | 4,1469 |
| | | Rata-rata Keseluruhan | 1.144,0641 | 8,6846 |
| | 600 | Rotary Domain 1 | 408,8489 | 52,7221 |
| | | Rotary Domain 2 | 371,9772 | 63,6921 |
| | | Stationary Domain | 1.239,1748 | 5,7392 |
| | | Rata-rata Keseluruhan | 939,1246 | 9,9924 |
| | 800 | Rotary Domain 1 | 334,4625 | 63,9010 |
| | | Rotary Domain 2 | 294,1662 | 82,6070 |
| | | Stationary Domain | 963,8466 | 7,6946 |
| | | Rata-rata Keseluruhan | 745,0447 | 12,8777 |
| | 1000 | Rotary Domain 1 | 265,0896 | 73,0239 |
| | | Rotary Domain 2 | 227,3966 | 99,2390 |
| | | Stationary Domain | 712,2673 | 10,1150 |
| | | Rata-rata Keseluruhan | 569,5044 | 15,8218 |
| Tidak ada | 200 | Rotary Domain 1 | 933,8451 | 35,1287 |
| | | Rotary Domain 2 | 752,3373 | 54,1236 |
| | | Stationary Domain | 2.238,8448 | 6,1117 |
| | | Rata-rata Keseluruhan | 1.869,3122 | 8,7669 |
| | 400 | Rotary Domain 1 | 594,7198 | 48,0793 |
| | | Rotary Domain 2 | 527,7804 | 61,0487 |
| | | Stationary Domain | 1.574,7714 | 6,8572 |
| | | Rata-rata Keseluruhan | 1.289,8962 | 10,2205 |
| | 600 | Rotary Domain 1 | 482,9167 | 49,3293 |
| | | Rotary Domain 2 | 375,0447 | 81,7868 |
| | | Stationary Domain | 1.428,7990 | 5,6352 |
| | | Rata-rata Keseluruhan | 1.026,3083 | 10,9218 |
| | 800 | Rotary Domain 1 | 466,6175 | 66,7938 |
| | | Rotary Domain 2 | 375,1085 | 103,3580 |
| | | Stationary Domain | 1.281,3178 | 8,8582 |
| | | Rata-rata Keseluruhan | 957,2261 | 15,8719 |
| | 1000 | Rotary Domain 1 | 282,5382 | 109,8982 |
| | | Rotary Domain 2 | 283,6798 | 109,0154 |
| | | Stationary Domain | 889,3063 | 11,0928 |
| | | Rata-rata Keseluruhan | 683,7142 | 18,7670 |

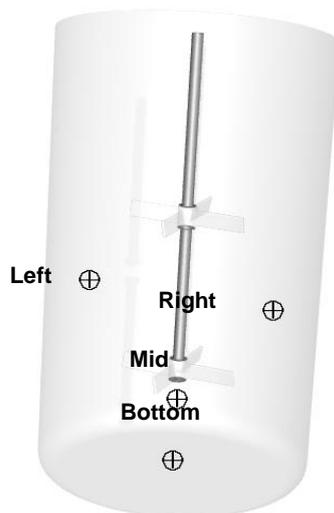


Gambar 2.15. Titik-titik Pengamatan Konsentrasi Glukosa dalam Tangki

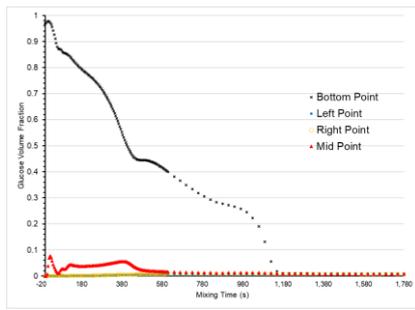
Dari hasil yang didapatkan pada Gambar 2.15., terlihat bahwa nilai *shear stress* yang ada pada tangki tanpa baffle lebih besar dibandingkan dengan nilai tangki dengan baffle. Nilai *shear stress* yang didapatkan juga terlihat naik seiring dengan kenaikan kecepatan *impeller*. Nilai tertinggi *shear stress* yang didapat adalah sebesar 18,7670 Pa pada tangki tanpa baffle dengan kecepatan 1000 rpm. Nilai batas *shear stress* yang mampu ditahan oleh *Saccharomyces cerevisiae* adalah di antara 1292 Pa dan 2770 Pa (Lange dkk., 2001). Untuk kecepatan 200-1000 rpm, *shear stress* yang ada pada proses pengadukan sukar untuk merusak sel karena nilainya yang kecil dibandingkan dengan ambang batas yang mampu ditahan oleh sel.

2.5. *Mixing Time*

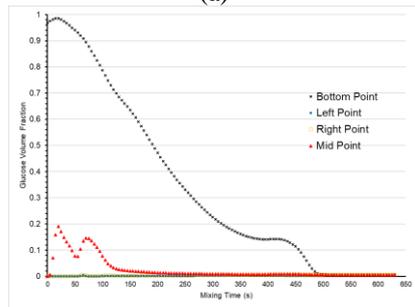
Mixing time diukur dengan menghitung durasi yang dibutuhkan untuk mencapai fase homogen dalam proses pencampuran. Pada simulasi dengan CFD, konsentrasi glukosa pada 4 titik dalam tangki fermentor diamati terhadap perubahan waktu. Lokasi 4 titik pengukuran ini terdiri dari titik bawah, tengah, kiri, dan kanan bagian dalam tangki dapat dilihat pada Gambar 2.16.



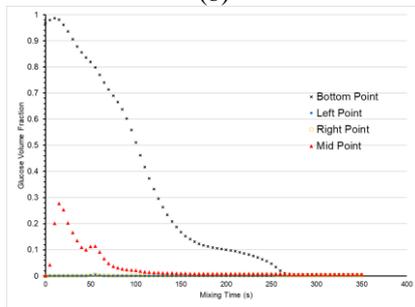
Gambar 2.16. Titik-titik Pengamatan Konsentrasi Glukosa dalam Tangki



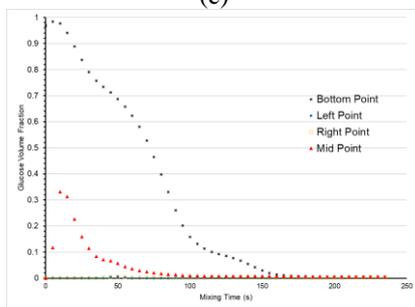
(a)



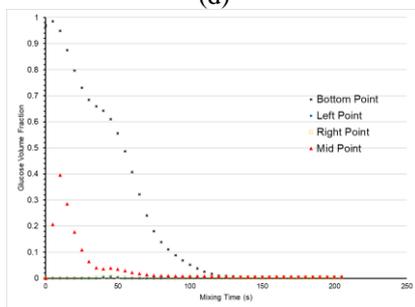
(b)



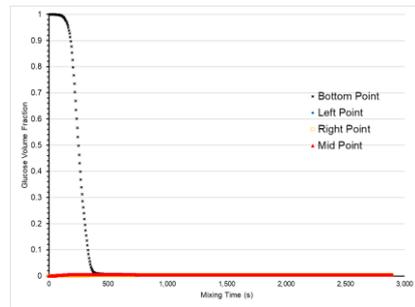
(c)



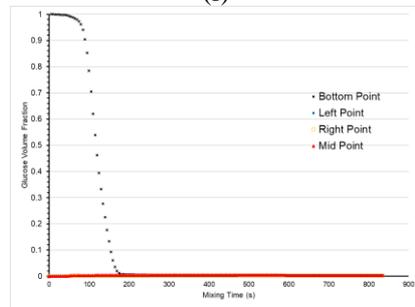
(d)



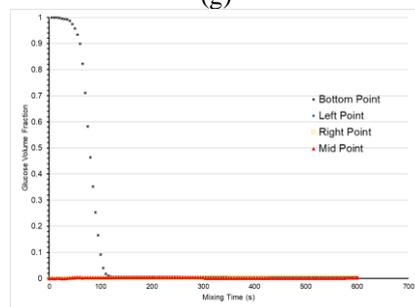
(e)



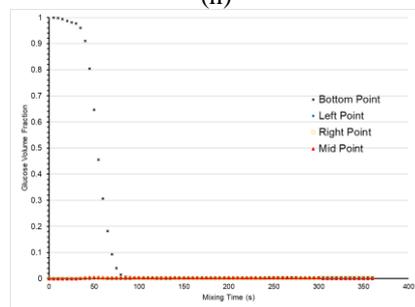
(f)



(g)



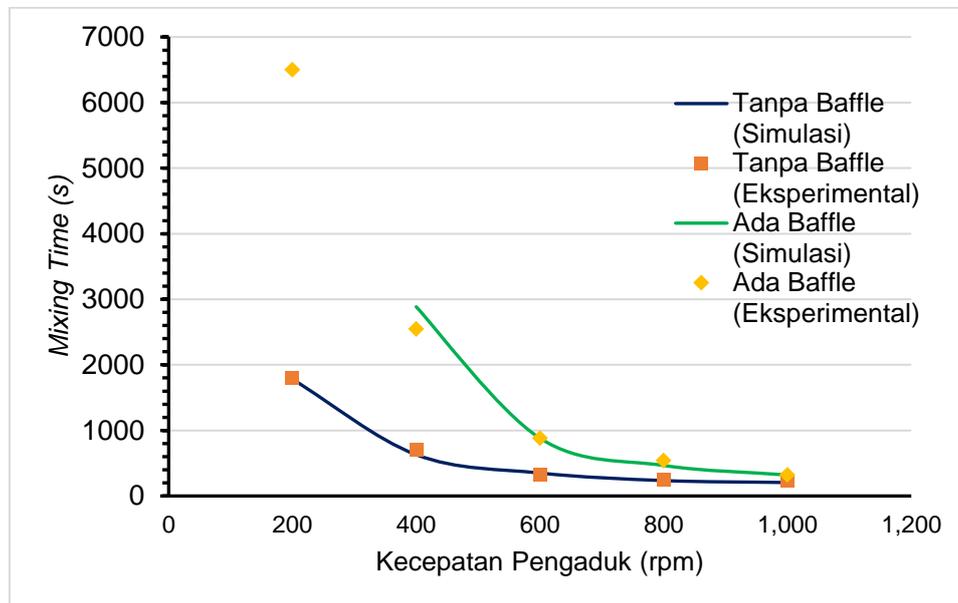
(h)



(i)

Gambar 2.17. Grafik Perubahan Konsentrasi Glukosa terhadap Waktu pada 4 Titik: (a) Kecepatan 200 rpm Tanpa Baffle (b) Kecepatan 400 rpm Tanpa Baffle (c) Kecepatan 600 rpm Tanpa Baffle (d) Kecepatan 800 rpm Tanpa Baffle (e) Kecepatan 1000 rpm Tanpa Baffle (f) Kecepatan 400 rpm yang Dilengkapi Baffle (g) Kecepatan 600 rpm yang Dilengkapi Baffle (h) Kecepatan 800 rpm yang Dilengkapi Baffle (i) Kecepatan 1000 rpm yang Dilengkapi Baffle.

Hasil pengukuran konsentrasi glukosa dengan simulasi CFD pada 4 titik terhadap waktu diolah menjadi grafik yang dapat dilihat pada Gambar 2.17. Hal ini bertujuan untuk menentukan titik ekivalen konsentrasi yang merupakan fase homogen pencampuran. Sedangkan pengukuran *mixing time* eksperimental dilakukan dengan menggunakan *coloring/decoloring process* [38]. Rangkuman dari seluruh data kuantitatif *mixing time* pada tiap variabel dapat dilihat dalam Gambar 2.18., serta perhitungan persentase errornya terangkum dalam Tabel 2.3.



Gambar 2.18. Grafik Pengaruh Kecepatan Pengaduk terhadap *Mixing Time* pada Berbagai Variabel

Tabel 2.3. *Mixing Time* pada Berbagai Konfigurasi

| Konfigurasi Baffle | Kecepatan Pengadukan (rpm) | <i>Mixing Time</i> (s) | | Error (%) |
|--------------------|----------------------------|------------------------|---------------|-----------|
| | | Simulasi | Eksperimental | |
| Ada | 200 | - | 6.502 | - |
| | 400 | 2.885 | 2.545 | 13,36 |
| | 600 | 880 | 880 | 0,00 |
| | 800 | 465 | 541 | 14,05 |
| | 1.000 | 320 | 321 | 0,31 |
| Tidak ada | 200 | 1.780 | 1.794 | 0,22 |
| | 400 | 630 | 708 | 19,23 |
| | 600 | 350 | 320 | 9,38 |
| | 800 | 235 | 244 | 3,68 |
| | 1.000 | 205 | 230 | 10,87 |

Simulasi/modelling CFD proses *mixing* antara air dan glukosa pada fermentor bioetanol dapat memprediksi *mixing time* yang relatif cukup akurat dengan *error* sekitar 0,22 – 19,23% pada konfigurasi tangki fermentor tanpa baffle dan yang dilengkapi baffle. Error *mixing time* ini dapat disebabkan oleh beberapa kemungkinan seperti pengukuran volume glukosa antara eksperimental terhadap simulasi yang sedikit berbeda, meshing yang tidak sempurna pada beberapa titik, dan pemilihan model multifasa dan/atau momentum. Hasil simulasi yang berhasil didapatkan untuk proses pengadukan di dalam tangki dengan baffle bisa dibilang cukup memuaskan. Nilai *error* tertinggi ada pada 14,05% untuk kecepatan pengadukan 800 rpm. Nilai *error* yang terjadi pada *mixing time* ini, sama seperti pengukuran volume glukosa antara eksperimental terhadap simulasi yang sedikit berbeda, terjadi karena berbagai faktor seperti *meshing* yang tidak sempurna pada beberapa titik, dan perhitungan oleh model multifasa dan/atau momentum yang tidak sempurna.

Dari grafik-grafik homogenitas dapat dilihat profil homogenitas terhadap waktu. Profil laju homogenitas (konsentrasi glukosa terhadap waktu *mixing*) pada sebagian besar kondisi cenderung menurun dengan semakin meningkatnya waktu *mixing*. Hal ini disebabkan fluida glukosa yang cenderung memiliki viskositas tinggi, sehingga glukosa cenderung melekat ke dasar tangki dan fenomena dispersi yang terjadi tidak konstan. Fenomena

ini dapat diverifikasi melalui validasi eksperimental yang sudah dilakukan dan dapat dilihat pada Gambar 2.7. - 2.12. yang menampilkan visualisasi *mixing*. Sebagian kecil glukosa yang sudah diberi warna larutan iodin (coklat) berada di dasar tangki pada pertengahan proses *mixing*.

Pada kecepatan 200 sampai 600 rpm, pengaruh kecepatan pengaduk terhadap *mixing time* menurun secara signifikan dibandingkan kecepatan 600 sampai 1000 rpm, baik dari konfigurasi tanpa maupun dengan baffle. Hal ini didapatkan dari analisis grafik profil *mixing time* yang dibutuhkan agar campuran mencapai fase homogen terhadap kecepatan pengaduk pada Gambar 2.18. Pada fermentor tanpa baffle dengan kecepatan pengaduk 200-1000 rpm, *mixing time* optimal yang diperoleh berada di kecepatan 600 rpm. Sementara pada kecepatan 800 rpm dan 1000 rpm penurunan *mixing time* tidak terjadi secara signifikan. Keberadaan baffle sangat mempengaruhi besarnya *mixing time* yang diperoleh, pada penelitian ini penggunaan baffle memperlama *mixing time* yang dibutuhkan. Penggunaan baffle dapat mengurangi *mixing time* dengan memaksimalkan perpindahan massa [39]. Namun apabila konfigurasi baffle seperti desain geometri dan dimensi yang tidak optimal dapat memperlama *mixing time* [40]. Keberadaan baffle pada bagian bawah tangki dengan bentuk seperti X yang digunakan dalam penelitian justru mengganggu proses ini dan menciptakan keadaan *excessive baffling*. Hal inilah yang membuat nilai *mixing time* pada tangki tanpa baffle lebih cepat dibandingkan tangki dengan baffle di dalam penelitian ini.

D. STATUS LUARAN: Tuliskan jenis, identitas dan status ketercapaian setiap luaran wajib dan luaran tambahan (jika ada) yang dijanjikan. Jenis luaran dapat berupa publikasi, perolehan kekayaan intelektual, hasil pengujian atau luaran lainnya yang telah dijanjikan pada proposal. Uraian status luaran harus didukung dengan bukti kemajuan ketercapaian luaran sesuai dengan luaran yang dijanjikan. Lengkapi isian jenis luaran yang dijanjikan serta unggah bukti dokumen ketercapaian luaran wajib dan luaran tambahan melalui BIMA.

Luran wajib yang dijanjikan di tahun 2: Prototype alat (Dokumen hasil uji substansi)

Untuk draft paten telah selesai dengan nomor permohonan pendaftaran paten: P00202110330. Adapun formulir permohonan pendaftaran paten dan draft paten terlampir. Prototype Fermentor telah tersedia. Untuk dokumen hasil uji substansi telah selesai.

Luran tambahan yang dijanjikan di tahun 2: Artikel pada Conference/Seminar Internasional di Peningkatan Bereputasi Artikel di Jurnal Internasional Terindeks di Peningkatan Bereputasi dengan Status target capaian **accepted**.

Artikel telah **terbit** di Jurnal Internasional Terindeks Scopus Q1 "Fermentation". Bukti artikel yang telah terbit terlampir.

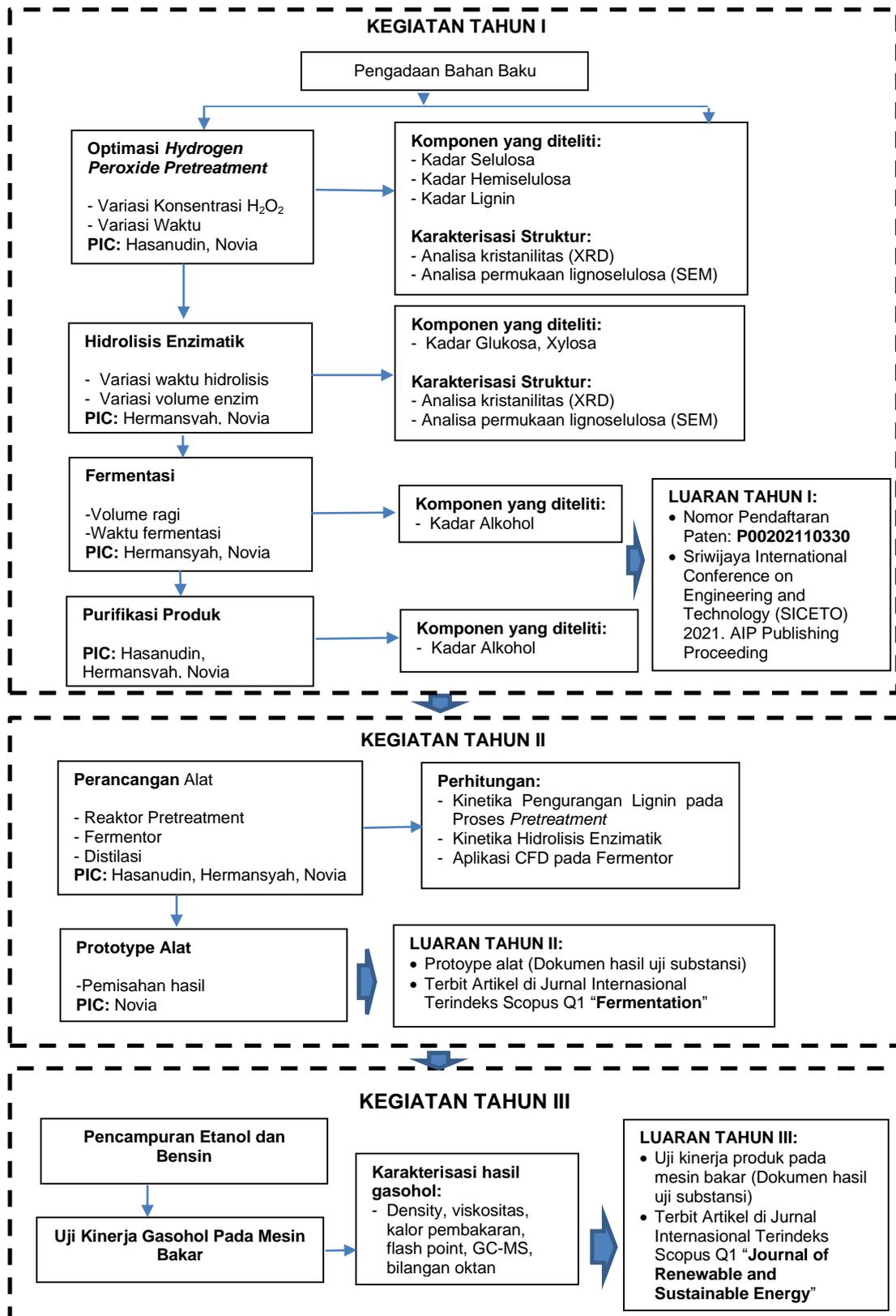
Seminar Internasional yang diikuti pada tahun 2: the 4th International Seminar on Fundamental and Application of Chemical Engineering (ISFACChE) 2022, yang diselenggarakan oleh ITS pada tanggal 26-27 Oktober 2022. Bukti Terlampir.

E. PERAN MITRA: Tuliskan realisasi kerjasama dan kontribusi Mitra baik *in-kind* maupun *in-cash* (untuk Penelitian Terapan, Penelitian Pengembangan, PTUPT, PPUPT serta KRUPPT). Bukti pendukung realisasi kerjasama dan realisasi kontribusi mitra dilaporkan sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Bukti dokumen realisasi kerjasama dengan Mitra unggah melalui BIMA.

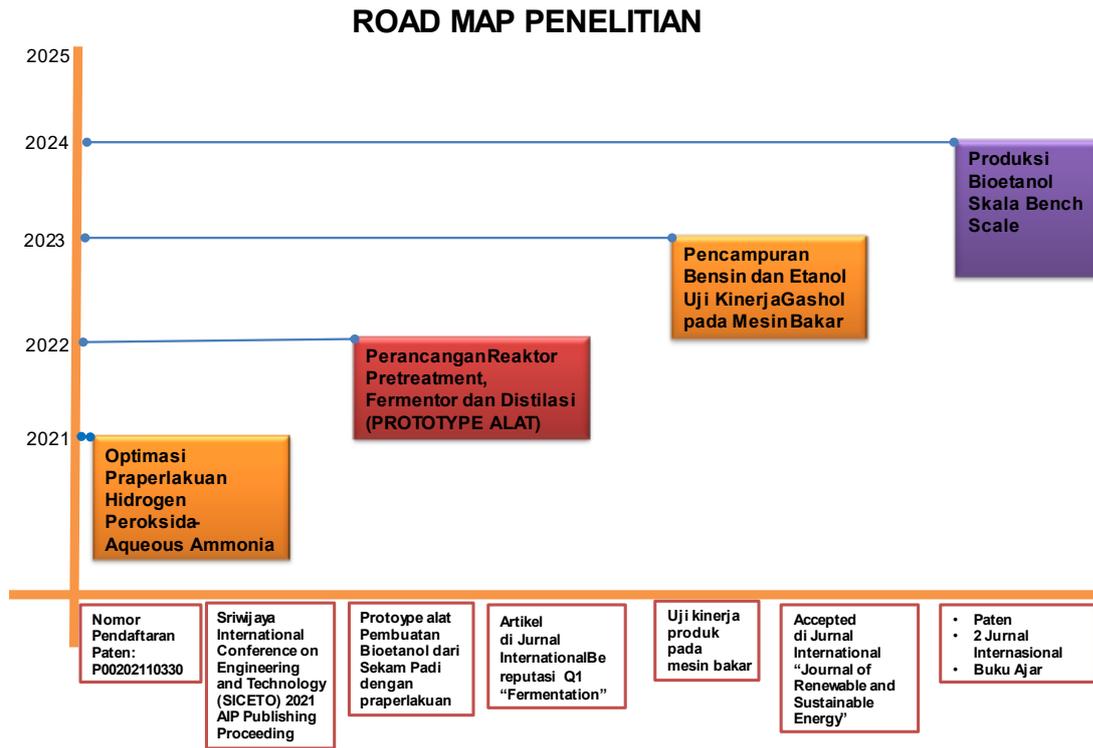
Mitra mensupport dalam pengadaan bahan penelitian dan beberapa pengujian.

F. KENDALA PELAKSANAAN PENELITIAN: Tuliskan kesulitan atau hambatan yang dihadapi selama melakukan penelitian dan mencapai luaran yang dijanjikan, termasuk penjelasan jika pelaksanaan penelitian dan luaran penelitian tidak sesuai dengan yang direncanakan atau dijanjikan.

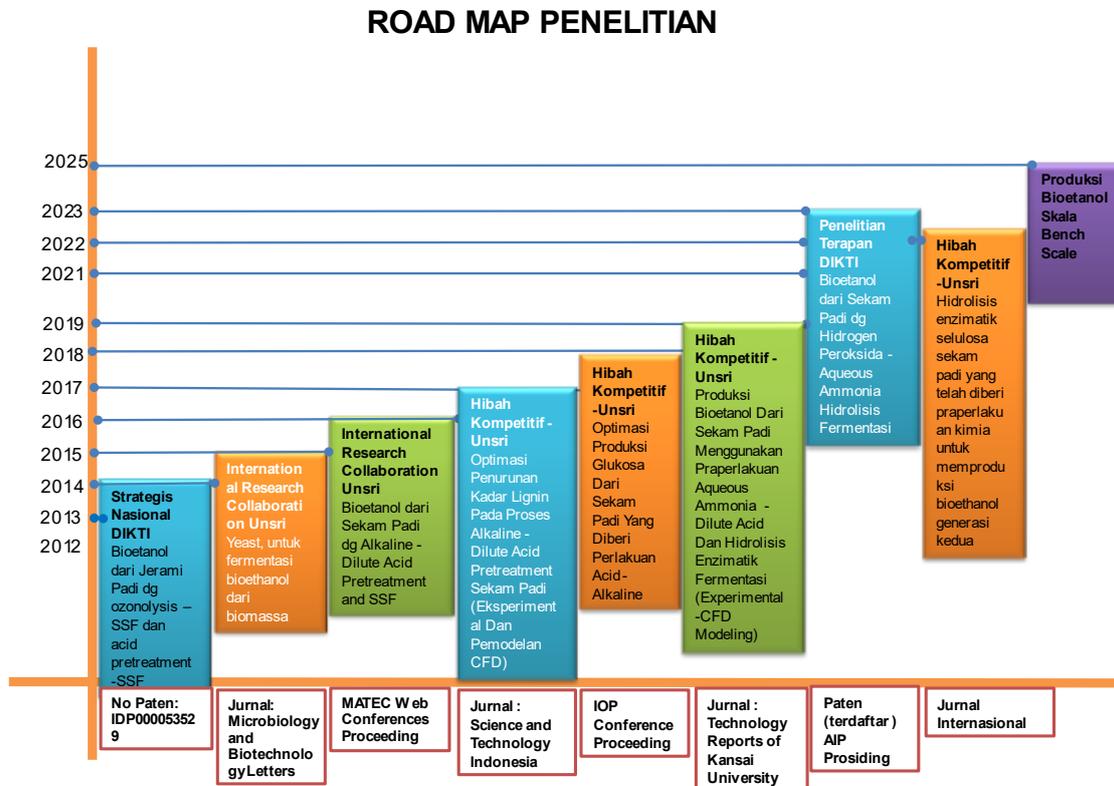
Beberapa kendala yang ditemui terutama akses ke pengujian karena beberapa laboratorium yang tutup pada kondisi pandemik ini.



Gambar G.1. Tahapan Kegiatan Penelitian Selama 3 Tahun



Gambar G.2 Road Map Penelitian Selama 3 Tahun



Gambar G.3. Road Map Penelitian Keseluruhan

METODE PENELITIAN

Bahan yang diperlukan:

Jenis Gasoline (bensin komersial) type pertalite (RON 88), pertamax (RON 90), dan pertamax turbo (RON 92) diperoleh dari perusahaan minyak PT. Pertamina Indonesia. Bahan bakar etanol tersebut dibeli dari perusahaan bioetanol Indonesia. Sifat fisikokimia dari sampel bensin dan etanol dikarakterisasi.

Formulasi campuran bahan bakar Gasolin-Alkohol (Gasohol)

Tiga jenis bahan bakar bensin dicampur dengan bahan bakar etanol pada konsentrasi volumetrik 10% (E10), 20% (E20), 30% (E30), 40% (E40), 50% (E50), 60% (E60), 70% (E70), 80% (E80), dan 90% (E90). Campuran disiapkan dengan mendinginkan bensin dan etanol pada 4°C untuk meminimalkan penguapan sampel [41]. Setelah itu, sampel dicampur pada berbagai konsentrasi etanol yang diistilahkan dengan campuran bensin-etanol (gasoline-alkohol).

Pengukuran sifat bahan bakar

Tekanan uap campuran bahan bakar Gasohol diukur sesuai dengan metode uji Standar ASTM D5191 untuk tekanan uap produk minyak bumi dan bahan bakar cair menggunakan penganalisis tekanan uap (HVP972 PAC). Kurva distilasi diukur sesuai dengan metode uji Standar ASTM D86 untuk distilasi produk minyak bumi dan bahan bakar cair pada tekanan atmosfer, menggunakan peralatan distilasi otomatis (Tanaka AD7). Metode distilasi ini mencakup karakteristik rentang perebusan kuantitatif yang ditentukan oleh unit distilasi batch laboratorium. RON diukur dengan metode uji Standar ASTM D2699 untuk penelitian jumlah oktan bahan bakar mesin pengapian percikan. Bahan bakar sampel diuji menggunakan silinder tunggal standar, siklus empat langkah, rasio kompresi variabel, karburator, menggunakan mesin CFR. Kepadatan campuran bahan bakar Gasohol diukur sesuai dengan metode uji Standar ASTM D4052 untuk kepadatan, kerapatan relatif, dan gravitasi API cairan dengan meteran kerapatan digital menggunakan meteran kerapatan otomatis (DMA 4200 M Anton Paar). Selain itu, kandungan oksigen diukur dengan Portable FTIR Gasoline Analyzer (IROX 2000), yang distandarisasi ke ASTM D5845 dan ASTM D6277. Untuk meminimalkan error, penelitian dilakukan setidaknya tiga kali untuk setiap sampel.

Eksperimen mesin

Dalam penelitian ini digunakan mesin T-GDI tiga silinder empat langkah 1-L. Mesin FFV yang kompatibel dengan bahan bakar campuran etanol-bensin. Sensor etanol digunakan untuk menentukan rasio campuran etanol bahan bakar. Sensor ini dipasang antara tangki bahan bakar dan mesin untuk mengukur rasio campuran etanol dari bahan bakar yang disuplai ke mesin secara real time. Untuk mengontrol mesin, ECU ETK yang dapat menyesuaikan waktu pengapian yang digunakan. Mesin terhubung ke dinamometer arus eddy untuk mengukur tenaga mesin. Flow meter dipasang di saluran bahan bakar untuk secara akurat mengukur jumlah bahan bakar yang dikonsumsi oleh mesin untuk rasio campuran etanol yang berbeda.

H. DAFTAR PUSTAKA: Penyusunan Daftar Pustaka berdasarkan sistem nomor sesuai dengan urutan pengutipan. Hanya pustaka yang disitasi pada laporan kemajuan yang dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

1. W. Xing, G. Xu, J. Dong, R. Han, and Y. Ni, "Novel dihydrogen-bonding deep eutectic solvents: Pretreatment of rice straw for butanol fermentation featuring enzyme recycling and high solvent yield," *Chem. Eng. J.*, vol. 333, no. September 2017, pp. 712–720, 2018, doi: 10.1016/j.cej.2017.09.176.
2. L. Dong, X. Zhao, and D. Liu, "Kinetic modeling of atmospheric formic acid pretreatment of wheat straw with 'potential degree of reaction' models," *RSC Adv.*, vol. 5, no. 27, pp. 20992–21000, 2015, doi: 10.1039/c4ra14634d.
3. S. Baksi, U. Sarkar, S. Saha, A.K. Ball, J.C. Kuniyal, A. Wentzel, C. Birgen, H.A. Preisig, B. Wittgens, S. Markussen, "Studies on delignification and inhibitory enzyme kinetics of alkaline peroxide pre-treated pine and deodar saw dust," *Chem. Eng. Process. Process Intensif.*, vol. 143, no. July, p. 107607, 2019, doi: 10.1016/j.cep.2019.107607.
4. E. P. Dagnino, F. E. Felissia, E. Chamorro, and M. C. Area, "Studies on lignin extraction from rice husk by a soda-ethanol treatment: Kinetics, separation, and characterization of products," *Chem. Eng. Res. Des.*, vol. 129, pp. 209–216, 2018, doi: 10.1016/j.cherd.2017.10.026.

5. R. Datta, "Acidogenic fermentation of lignocellulose-acid yield and conversion of components," *Biotechnol. Bioeng.*, vol. 23, no. 9, pp. 2167–2170, 1981, doi: 10.1002/bit.260230921.
6. P. Rapado, L. Faba, and S. Ordóñez, "Influence of delignification and reaction conditions in the aqueous phase transformation of lignocellulosic biomass to platform molecules," *Bioresour. Technol.*, vol. 321, no. December 2020, p. 124500, 2021, doi: 10.1016/j.biortech.2020.124500.
7. K. X. Liu, H. Q. Li, J. Zhang, Z. G. Zhang, and J. Xu, "The effect of non-structural components and lignin on hemicellulose extraction," *Bioresour. Technol.*, vol. 214, pp. 755–760, 2016, doi: 10.1016/j.biortech.2016.05.036.
8. W. B. Betts, R. K. Dart, A. S. Ball, and S. L. Pedlar, "Biosynthesis and Structure of Lignocellulose," in *Biodegradation: Natural and Synthetic Materials*, no. August 2016, © Springer-Verlag London, 1991, pp. 139–155.
9. J. Gao, X. Yang, J. Wan, Y. He, C. Chang, X. Ma, J. Bai, "Delignification Kinetics of Corn Stover with Aqueous Ammonia Soaking Pretreatment," *BioResources*, vol. 11, no. 1, pp. 2403–2416, 2016, doi: 10.15376/biores.11.1.2403-2416.
10. X. Chang, Y. Bai, R. Wu, D. Liu, and X. Zhao, "Heterogeneity of lignocellulose must be considered for kinetic study: A case on formic acid fractionation of sugarcane bagasse with different pseudo-homogeneous kinetic models," *Renew. Energy*, vol. 162, no. October, pp. 2246–2258, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2020.10.029.
11. C. L. Yiin, S. Yusup, A. T. Quitain, Y. Uemura, M. Sasaki, and T. Kida, "Delignification kinetics of empty fruit bunch (EFB): a sustainable and green pretreatment approach using malic acid-based solvents," *Clean Technol. Environ. Policy*, vol. 20, no. 9, pp. 1987–2000, 2018, doi: 10.1007/s10098-018-1592-5.
12. T. H. Kim, F. Taylor, and K. B. Hicks, "Bioethanol production from barley hull using SAA (soaking in aqueous ammonia) pretreatment q," vol. 99, pp. 5694–5702, 2008, doi: 10.1016/j.biortech.2007.10.055.
13. M. E. Russo, A. Procentese, F. Montagnaro, and A. Marzocchella, "Effect of enzymes adsorption on enzymatic hydrolysis of coffee silverskin: kinetic characterization and validation," *Biochem. Eng. J.*, vol. 180, no. September 2021, p. 108364, 2022, doi: 10.1016/j.bej.2022.108364.
14. S. Niglio, A. Procentese, M. E. Russo, A. Piscitelli, and A. Marzocchella, "Integrated enzymatic pretreatment and hydrolysis of apple pomace in a bubble column bioreactor," *Biochem. Eng. J.*, vol. 150, no. June, p. 107306, 2019, doi: 10.1016/j.bej.2019.107306.
15. T. N. Ang, G. C. Ngoh, and A. S. M. Chua, "Comparative study of various pretreatment reagents on rice husk and structural changes assessment of the optimized pretreated rice husk," *Bioresour. Technol.*, vol. 135, no. September, pp. 116–119, 2013, doi: 10.1016/j.biortech.2012.09.045.
16. M. Ebrahimi, A. R. Caparanga, E. E. Ordone, O. B. Villaflores, and M. Pouriman, "Effect of ammonium carbonate pretreatment on the enzymatic digestibility, structural characteristics of rice husk and bioethanol production via simultaneous saccharification and fermentation process with *Saccharomyces cerevisiae* Hansen 2055," *Ind. Crops Prod.*, vol. 101, pp. 84–91, 2017, doi: 10.1016/j.indcrop.2017.03.006.
17. Q. Ji, X. Yu, A. E. A. Yagoub, L. Chen, and C. Zhou, "Efficient removal of lignin from vegetable wastes by ultrasonic and microwave-assisted treatment with ternary deep eutectic solvent," *Ind. Crop. Prod.*, vol. 149, no. March 2020, p. 112357, 2020, doi: 10.1016/j.indcrop.2020.112357.
18. S. Al-Mardeai, E. Elnajjar, R. Hashaikeh, B. Kruczek, and S. Al-Zuhair, "Dynamic model of simultaneous enzymatic cellulose hydrolysis and product separation in a membrane bioreactor," *Biochem. Eng. J.*, vol. 174, no. June, p. 108107, 2021, doi: 10.1016/j.bej.2021.108107.
19. G. Olivieri, R. H. Wijffels, A. Marzocchella, and M. E. Russo, "Bioreactor and bioprocess design issues in enzymatic hydrolysis of lignocellulosic biomass," *Catalysts*, vol. 11, no. 6, pp. 1–19, 2021, doi: 10.3390/catal11060680.
20. Y. Zhang, Y. Zhang, M. Song, E. Topakas, Q. Yu, Z. Yuan, Z. Wang, Y. Guo, "Combining Michaelis-Menten theory and enzyme deactivation reactions for the kinetic study of enzymatic hydrolysis by different pretreated sugarcane bagasse," *Process Biochem.*, vol. 105, no. January, pp. 72–78, 2021, doi: 10.1016/j.procbio.2021.03.023.
21. X. J. Shen, J. L. Wen, Q. Q. Mei, X. Chen, D. Sun, T. Q. Yuan, R. C. Sun, "Facile fractionation of lignocelluloses by biomass-derived deep eutectic solvent (DES) pretreatment for cellulose enzymatic hydrolysis and lignin valorization," *Green Chem.*, vol. 21, no. 2, pp. 275–283, 2019, doi:

10.1039/c8gc03064b.

22. S. Madhania, T. Nurtono, A. B. Cahyani, Carolina, Y. Muharam, S. Winardi, W. W. Purwanto, "Mixing behaviour of miscible liquid-liquid multiphase flow in stirred tank with different marine propeller installment by computational fluid dynamics method," *Chem. Eng. Trans.*, vol. 56, pp. 1057–1062, 2017, doi: 10.3303/CET1756177.
23. H. Singh, D. F. Fletcher, and J. J. Nijdam, "An assessment of different turbulence models for predicting flow in a baffled tank stirred with a Rushton turbine," *Chem. Eng. Sci.*, vol. 66, no. 23, pp. 5976–5988, Dec. 2011, doi: 10.1016/J.CES.2011.08.018.
24. H. K. Versteeg and W. Malalasekera, *An Introduction to Computational Fluid Dynamics, Second.*, no. 2. Pearson Education Limited, 2007.
25. L. M. Da Rosa, L. Pederiva, G. Z. Maurina, L. L. Beal, A. P. Torres, and M. Sousa, "CFD Analysis of the effect of baffle plates on the fluid flow in an anaerobic sequencing batch reactor," *Chem. Eng. Trans.*, vol. 38, pp. 133–138, 2014, doi: 10.3303/CET1438023.
26. L. L. Soares, C. Biserni, R. da Rosa Costa, J. A. A. Oliveira Júnior, E. D. Dos Santos, and M. M. Galarça, "Numerical Study and Geometric Investigation of the Influence of Rectangular Baffles over the Mixture of Turbulent Flows into Stirred Tanks," *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 10, 2022, doi: 10.3390/app12104827.
27. D. Rajavathsavai, "Study of Hydrodynamic and Mixing Behaviour of Continuous Stirred Tank Reactor Using CFD Tools," no. January, 2012.
28. A. G. Mustafa, M. F. Majnis, and N. A. A. Muttalib, "CFD study on impeller effect on mixing in miniature stirred tank reactor," *CFD Lett.*, vol. 12, no. 10, pp. 15–26, 2020, doi: 10.37934/cfdl.12.10.1526.
29. D. Kreitmayer, S. R. Gopireddy, T. Matsuura, Y. Aki, Y. Katayama, T. Nakano, T. Eguchi, H. Kakihara, K. Nonaka, T. Profitlich, N. A. Urbanetz, E. Gutheil, "CFD-Based and Experimental Hydrodynamic Characterization of the Single-Use Bioreactor Xcellerex™ XDR-10," *Bioengineering*, vol. 9, no. 1, pp. 1–19, 2022, doi: 10.3390/bioengineering9010022.
30. S. Zhou, Q. Yang, L. Lu, D. Xia, W. Zhang, and H. Yan, "CFD Analysis of Sine Baffles on Flow Mixing and Power Consumption in Stirred Tank," *Appl. Sci.*, vol. 12, no. 11, p. 5743, 2022, doi: 10.3390/app12115743.
31. S. J. Ling, J. Sanny, and W. Moebs, *University Physics Volume 1*. Houston: OpenStax Rice University, 2016.
32. P. M. Doran, "Mixing," *Bioprocess Eng. Princ.*, pp. 255–332, Jan. 2013, doi: 10.1016/B978-0-12-220851-5.00008-3.
33. A. W. Nienow, "Reactor engineering in large scale animal cell culture," *Cytotechnology*, vol. 50, no. 1–3, pp. 9–33, Mar. 2006, doi: 10.1007/S10616-006-9005-8.
34. M. Ebrahimi, M. Tamer, R. M. Villegas, A. Chiappetta, and F. Ein-Mozaffari, "Application of CFD to Analyze the Hydrodynamic Behaviour of a Bioreactor with a Double Impeller," *Process*. 2019, Vol. 7, Page 694, vol. 7, no. 10, p. 694, Oct. 2019, doi: 10.3390/PR7100694.
35. Y. Liu, Z. J. Wang, J. Y. Xia, C. Haringa, Y. P. Liu, J. Chu, Y. P. Zhuang, S. L. Zhang, "Application of Euler–Lagrange CFD for quantitative evaluating the effect of shear force on *Carthamus tinctorius* L. cell in a stirred tank bioreactor," *Biochem. Eng. J.*, vol. 114, pp. 209–217, 2016, doi: 10.1016/j.bej.2016.07.006.
36. G. E. Kaiser, *Biol 230 Lab Manual, Lab 1*. Baltimore: Community College of Baltimore County, 2021.
37. H. Lange, P. Taillandier, and J. P. Riba, "Effect of high shear stress on microbial viability," *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, vol. 76, no. 5, pp. 501–505, May 2001, doi: 10.1002/JCTB.401.
38. F. Conti, L. Wiedemann, M. Sonnleitner, A. Saidi, and M. Goldbrunner, "Monitoring the mixing of an artificial model substrate in a scale-down laboratory digester," *Renew. Energy*, vol. 132, pp. 351–362, 2019, doi: 10.1016/j.renene.2018.08.013.
39. G. Pogal and R. O. Kehn, "Mixers: Don't Let Baffles Baffle You | Chemical Processing," 2018.
40. Y. Kamla, M. Bouzit, H. Ameer, M. I. Arab, and A. Hadjeb, "Effect of the Inclination of Baffles on the Power Consumption and Fluid Flows in a Vessel Stirred by a Rushton Turbine," *Chinese J. Mech. Eng. (English Ed.)*, vol. 30, no. 4, pp. 1008–1016, Jul. 2017, doi: 10.1007/S10033-017-0158-5/FIGURES/14.
41. Y. L. Calvin, P. A. T. Hariyanto, A. I. Usman, M. Masuku, C. S. Wibowo, Maymuchar, R. Anggarani, N. A. Fathurrahman, B. Sugiarto, "Volatility and physicochemical properties of gasoline-ethanol blends with gasoline RON-based 88, 90, and 92," *Fuel*, vol. 307, no. September 2021, p. 121850, 2022, doi:

10.1016/j.fuel.2021.121850.

LAMPIRAN

Luran wajib yang dijanjikan di tahun 2: Prototype alat (Dokumen hasil uji substansi)

1. Paten telah selesai didaftarkan dengan nomor permohonan pendaftaran paten: P00202110330. Adapun formulir permohonan pendaftaran paten dan deskripsi paten terlampir.
2. Prototype Fermentor telah tersedia. Dokumen hasil uji substansi terlampir.

Luran tambahan yang dijanjikan di tahun 2: Artikel pada Conference/Seminar Internasional di Pengindeks

1. Artikel telah **terbit** di Jurnal Internasional Terindeks Scopus Q1 "Fermentation". Bukti artikel yang telah terbit terlampir.
2. Seminar Internasional yang diikuti pada tahun 2: the 4th International Seminar on Fundamental and Application of Chemical Engineering (ISFACHE) 2022, yang diselenggarakan oleh ITS pada tanggal 26-27 Oktober 2022. Bukti Terlampir.