

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL BAHASA INDONESIA</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN JUDUL BAHASA INGGRIS</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI</b>	<b>iv</b>
<b>NASKAH SOAL TUGAS AKHIR</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>vi</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN</b>	<b>xv</b>
<b>INTISARI</b>	<b>xvii</b>
<b><i>ABSTRACT</i></b>	<b>xviii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>4</b>
2.1 Pemodelan dan validasi elektrolisis air alkali	4
2.2 Pemodelan <i>multiphase flow</i> pada <i>electrolyzer</i> air alkali	7
<b>BAB III LANDASAN TEORI</b>	<b>12</b>
3.1 Hidrogen	12
3.2 <i>Alkaline Water Electrolysis (AWE)</i>	13

3.3	<i>Computational Fluid Dynamics (CFD)</i>	15
3.3.1	<i>Pre-processing</i>	16
3.3.2	<i>Processing</i>	18
3.3.3	<i>Post-processing</i>	19
3.4	<i>Euler-Euler Multiphase Model</i>	19
3.5	Governing Equation	20
3.5.1	Hukum Kekekalan Massa	20
3.5.2	Hukum Kekekalan Momentum	20
3.6	Pemodelan Turbulensi Aliran pada Pendekatan Numerik	21
3.7	<i>Discrete Population Balance Model</i>	23
3.7.1	<i>Population Balance Equation</i>	24
<b>BAB IV METODE PENELITIAN</b>		<b>25</b>
4.1	Diagram Alir Penelitian	25
4.2	Bahan Penelitian	26
4.3	Alat Penelitian	26
4.3.1	Perangkat Keras	26
4.3.2	Perangkat Lunak	26
4.4	Sel Elektrolisis	30
4.5	<i>Pre-processing</i>	31
4.6	<i>Processing</i>	34
4.7	<i>Post-processing</i>	35
<b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN</b>		<b>36</b>
<b>BAB VI PENUTUP</b>		<b>51</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		<b>52</b>
<b>LAMPIRAN</b>		<b>54</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Geometri sel elektrolisis (a) penelitian eksperimental (b) domain komputasi penelitian numerik (c) <i>meshing</i> domain penelitian numerik	4
<b>Gambar 2.2</b>	<i>Test-bench</i> eksperimental	5
<b>Gambar 2.3</b>	Kontur fraksi gas ada <i>current density</i> yang berbeda-beda	6
<b>Gambar 2.4</b>	Distribusi fraksi hidrogen pada <i>current density</i> yang berbeda pada aksis-X	6
<b>Gambar 2.5</b>	<i>Boundary condition</i> dari domain komputasi	7
<b>Gambar 2.6</b>	Fraksi volume gas pada <i>current density</i> yang berbeda-beda (a) 500 A/m <sup>2</sup> (b) 1500 A/m <sup>2</sup> (c) 3250 A/m <sup>2</sup> (d) 6250 A/m <sup>2</sup>	8
<b>Gambar 2.7</b>	Ketebalan <i>bubble curtain</i> terhadap ketinggian katoda pada <i>current density</i> yang berbeda	9
<b>Gambar 2.8</b>	Kontur fraksi volume gas pada <i>current density</i> masing-masing $i = 500$ , $i = 1500$ , $i = 3250$ , dan $i = 6250$ A/m <sup>2</sup>	10
<b>Gambar 3.1</b>	Hidrogen	11
<b>Gambar 3.2</b>	Ilustrasi skema <i>alkaline water electrolysis</i> (AWE)	13
<b>Gambar 4.1</b>	Diagram alir penelitian	23
<b>Gambar 4.2</b>	<i>Interface</i> Autodesk Inventor 2018	25
<b>Gambar 4.3</b>	<i>Interface</i> ANSYS Meshing 2020 R2	26
<b>Gambar 4.4</b>	<i>Interface</i> ANSYS Fluent 2020 R2	26
<b>Gambar 4.5</b>	<i>Interface</i> ANSYS CFD-Post 2020 R2	27
<b>Gambar 4.6</b>	<i>Interface</i> Microsoft Excel 365	27
<b>Gambar 4.7</b>	<i>Test-bench</i> penelitian eksperimental (a) sel elektrolisis (b) sistem keseluruhan	28
<b>Gambar 4.8</b>	Geometri model 2D	30
<b>Gambar 4.9</b>	<i>Meshing</i> domain komputasi	30
<b>Gambar 4.10</b>	<i>Volume fraction</i> terhadap posisi hasil <i>mesh independency test</i> pada konfigurasi <i>meshing</i> coarse, medium, dan <i>fine</i>	31
<b>Gambar 5.1</b>	<i>Bubble rise velocity</i> terhadap posisi pada axis-X dengan <i>inlet flowrate</i> 1 lpm ditinjau pada ketinggian (a) $y = 0,105$ m, (b)	35

$y = 0,145$  m, dan (c)  $y = 0,185$  m

- Gambar 5.2** *Bubble rise velocity* terhadap posisi pada axis-X dengan *inlet flowrate* 1,5 lpm ditinjau pada ketinggian (a)  $y = 0,105$  m, (b)  $y = 0,145$  m, dan (c)  $y = 0,185$  m 37
- Gambar 5.3** Kecepatan elektrolit terhadap posisi pada axis-X dengan *inlet flowrate* 1 lpm ditinjau pada ketinggian (a)  $y = 0,105$  m, (b)  $y = 0,145$  m, dan (c)  $y = 0,185$  m 39
- Gambar 5.4** Kecepatan elektrolit terhadap posisi pada axis-X dengan *inlet flowrate* 1,5 lpm ditinjau pada ketinggian (a)  $y = 0,105$  m, (b)  $y = 0,145$  m, dan (c)  $y = 0,185$  m 41
- Gambar 5.5** Fraksi volume hidrogen terhadap posisi pada axis-X dengan *inlet flowrate* 1 lpm ditinjau pada ketinggian (a)  $y = 0,105$  m, (b)  $y = 0,145$  m, dan (c)  $y = 0,185$  m 43
- Gambar 5.6** Fraksi volume hidrogen terhadap posisi pada axis-X dengan *inlet flowrate* 1,5 lpm ditinjau pada ketinggian (a)  $y = 0,105$  m, (b)  $y = 0,145$  m, dan (c)  $y = 0,185$  m 45
- Gambar 5.7** Fraksi volume hidrogen terhadap posisi pada axis-X dengan *inlet flowrate* berbeda ditinjau pada pengoperasian *current density* 436,67 A/m<sup>2</sup> dan 456,67 A/m<sup>2</sup> 46
- Gambar 5.8** Kontur fraksi volume gas hidrogen dengan *flowrate* 1 lpm pada *current density* secara berurutan (*clockwise* dari kiri atas) 160 A/m<sup>2</sup>, 436,67 A/m<sup>2</sup>, 1.003,33 A/m<sup>2</sup>, dan 2.056,67 A/m<sup>2</sup> 47
- Gambar 5.9** Kontur fraksi volume gas hidrogen dengan *flowrate* 1,5 lpm pada *current density* secara berurutan (*clockwise* dari kiri atas) 143,33 A/m<sup>2</sup>, 456,67 A/m<sup>2</sup>, 1.013,33 A/m<sup>2</sup>, dan 2.106,67 A/m<sup>2</sup> 47
- Gambar 5.10** *Probability Density Function* terhadap *bubble diameter* pada pengoperasian *flowrate* 1,5 lpm (tidak terarsir) dan 1 lpm (terarsir) dengan variasi *current density* 48

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Spesifikasi sel elektrolisis penelitian eksperimental (Rodriguez dan Amores, 2020).....	5
<b>Tabel 2. 2</b> Parameter komputasi simulasi CFD (Zarghami et al, 2020) .....	8
<b>Tabel 3. 1</b> Properti dari gas hidrogen (Dincer dan Zamfirescu, 2016) .....	11
<b>Tabel 3. 2</b> Perbedaan metode produksi hidrogen (Dincer dan Zamfirescu, 2016) .....	12
<b>Tabel 4. 1</b> Karakteristik elektrolit air + 5wt% KOH (Akerlof dan Bender, 1941) .....	24
<b>Tabel 4. 2</b> Karakteristik gas hidrogen (ANSYS Fluent Database) .....	24
<b>Tabel 4. 3</b> Spesifikasi komputer .....	24
<b>Tabel 4. 4</b> Spesifikasi sel elektrolisis eksperimental (Mubarok, 2024) .....	28
<b>Tabel 4. 5</b> Spesifikasi domain komputasi .....	28
<b>Tabel 4. 6</b> Parameter kualitas mesh .....	30
<b>Tabel 4. 7</b> Parameter setup komputasi .....	32

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1</b> Tabel <i>bubble rise velocity</i> terhadap posisi aksis-X ditinjau pada $y=0,105$ m .....	52
<b>Lampiran 2</b> Tabel <i>bubble rise velocity</i> terhadap posisi aksis-X ditinjau pada $y=0,145$ m .....	54
<b>Lampiran 3</b> Tabel <i>bubble rise velocity</i> terhadap posisi pada aksis X ditinjau pada $y=0,185$ m .....	56
<b>Lampiran 4</b> Tabel kecepatan elektrolit terhadap posisi pada aksis X ditinjau saat $y=0,105$ m .....	58
<b>Lampiran 5</b> Tabel kecepatan elektrolit terhadap posisi pada aksis X ditinjau saat $y=0,145$ m .....	61
<b>Lampiran 6</b> Tabel kecepatan elektrolit terhadap posisi pada aksis X ditinjau saat $y=0,185$ m .....	63
<b>Lampiran 7</b> Tabel fraksi volume hidrogen terhadap posisi pada aksis X ditinjau saat $y=0,105$ m .....	65
<b>Lampiran 8</b> Tabel fraksi volume hidrogen terhadap posisi pada aksis X ditinjau saat $y=0,145$ m .....	67
<b>Lampiran 9</b> Tabel fraksi volume hidrogen terhadap posisi pada aksis X ditinjau saat $y=0,185$ m .....	70
<b>Lampiran 10</b> Tabel <i>probability density function</i> terhadap <i>bubble diameter</i> pada pengoperasian <i>inlet flowrate</i> 1 lpm .....	72
<b>Lampiran 11</b> Tabel <i>probability density function</i> terhadap <i>bubble diameter</i> pada pengoperasian <i>inlet flowrate</i> 1,5 lpm .....	73

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

AWE	: <i>alkaline water electrolysis</i>
$\alpha_q$	: fraksi volume fase q
$B_{ag}$	: <i>birth rate due to aggregation</i>
$B_{br}$	: <i>birth rate due to breakage</i>
C	: rasio fraksi gas yang terbentuk dengan fraksi hidrogen
CAD	: <i>computer aided design</i>
CFD	: <i>computational fluid dynamics</i>
$D_{ag}$	: <i>death rate due to aggregation</i>
$D_{br}$	: <i>death rate due to breakage</i>
$d_{e-m}$	: jarak elektroda-diafragma
$\varepsilon$	: laju disipasi
F	: konstanta Faraday
$\vec{F}_{lift,q}$	: gaya angkat
$\vec{F}_q$	: gaya eksternal
$\vec{F}_{td,q}$	: gaya <i>turbulent dispersion</i>
$\vec{F}_{vm,q}$	: gaya <i>virtual mass</i>
$\vec{F}_{wl,q}$	: gaya <i>wall lubrication</i>
$\vec{g}$	: percepatan gravitasi
$G_b$	: energi kinetik turbulen akibat <i>buoyancy</i>
$G_k$	: energi kinetik turbulen akibat <i>mean velocity gradients</i>
$G_v$	: <i>particle growth rate</i>
i	: <i>current density</i>
$K_{pq}$	: koefisien pertukaran momentum antar fase
k	: energi kinetik
$L_c$	: panjang <i>chamber</i>
$L_e$	: panjang elektroda

$\lambda_q$	: <i>bulk viscosity</i>
$M$	: <i>molecular weight</i>
$\dot{m}_{pq}$	: <i>mass flow rate</i>
$\mu_q$	: <i>shear viscosity</i>
$n(V)$	: jumlah partikel
$p$	: tekanan
$\rho_q$	: densitas
$\vec{R}_{pq}$	: gaya interaksi antar fase
$\sigma_{V,g}$	: <i>volumetric source term</i>
$\bar{\tau}_q$	: <i>stress-strain tensor</i>
$V$	: volume partikel
$\vec{v}_q$	: kecepatan
$w$	: ketebalan dari <i>volumetric mass source</i>
$Y_M$	: kontribusi dari <i>fluctuating dilatation</i> dalam turbulensi kompresibel terhadap laju disipasi
$z$	: jumlah elektron